

UNIVERSIDADE TÉCNICA DE LISBOA
INSTITUTO SUPERIOR DE ECONOMIA E GESTÃO

MESTRADO EM: MATEMÁTICA APLICADA À ECONOMIA E À GESTÃO

DESENHO OPTIMIZADO DE ITINERÁRIOS TURÍSTICOS
ALGUNS MÉTODOS HEURÍSTICOS

SUSANA ISABEL GUEIFÃO COLAÇO

Orientação: Prof.^a Doutora Margarida Vaz Pato

Júri:

Presidente: Doutora Margarida Maria Gonçalves Vaz Pato, professora associada do Instituto Superior de Economia e Gestão da Universidade Técnica de Lisboa;

Vogais: Doutor Paulo Jorge Gonçalves Bárcia, professor catedrático da Faculdade de Economia da Universidade Nova de Lisboa;
Doutora Maria Cândida Vergueiro Monteiro Cidade Mourão, professora auxiliar do Instituto Superior de Economia e Gestão da Universidade Técnica de Lisboa.

Março / 1999

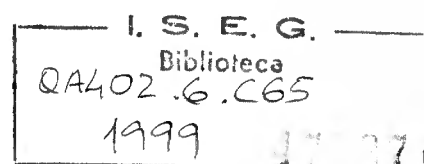
x 960854494



UNIVERSIDADE TÉCNICA DE LISBOA

INSTITUTO SUPERIOR DE ECONOMIA E GESTÃO

MESTRADO EM: MATEMÁTICA APLICADA À ECONOMIA E À GESTÃO



DESENHO OPTIMIZADO DE ITINERÁRIOS TURÍSTICOS

ALGUNS MÉTODOS HEURÍSTICOS

SUSANA ISABEL GUEIFÃO COLAÇO

Orientação: Prof.^a Doutora Margarida Vaz Pato

Júri:

Presidente: Doutora Margarida Maria Gonçalves Vaz Pato, professora associada do Instituto Superior de Economia e Gestão da Universidade Técnica de Lisboa;

Vogais: Doutor Paulo Jorge Gonçalves Bárcia, professor catedrático da Faculdade de Economia da Universidade Nova de Lisboa;
Doutora Maria Cândida Vergueiro Monteiro Cidade Mourão, professora auxiliar do Instituto Superior de Economia e Gestão da Universidade Técnica de Lisboa.

Março / 1999



GLOSSÁRIO DE ABREVIATURAS

DGT – Direcção Geral de Turismo

NERSANT – Associação Empresarial da Região de Santarém

PCV – Problema do Caixeiro Viajante

PCVJT – Problema do Caixeiro Viajante com Janelas Temporais

PDIT – Problema de Desenho Optimizado de Itinerários Turísticos

PEV – Problema de Escalonamento de Veículos

PREV – Problema de Rotas e Escalonamento de Veículos

PRJT – Problema de Rotas com Janelas Temporais

PRV – Problema de Rotas de Veículos

PT – Pesquisa Tabu

RESUMO

A problemática da concepção e controlo de estratégias de desenvolvimento turístico assume uma importância crescente no domínio das políticas de desenvolvimento sócio-económico das regiões, não só a um nível macro mas, também a um nível micro, onde são examinados, em grande profundidade, aspectos específicos das estratégias de desenvolvimento turístico. É pois, nesta segunda dimensão que se enquadra o Problema do Desenho Optimizado de Itinerários Turísticos (PDIT), que é o objecto de estudo desta dissertação.

Este problema destina-se a apoiar, não a construção de circuitos turísticos com um objectivo comercial dirigido a grupos de turistas mas, na perspectiva de um turista isolado que pretende um itinerário turístico com a duração de vários dias e de acordo com os seus interesses, numa determinada região. Esse itinerário poderá ser fornecido num Posto de Turismo de uma região ou em quiosques multimédia da Direcção Geral de Turismo, das Câmaras Municipais ou outras entidades.

O PDIT pode ser enquadrado, no âmbito dos quadros teóricos de referência na área de Investigação Operacional, como um Problema de Rotas de Veículos com Janelas Temporais. É realizada, uma análise do problema e conseqüente apresentação de formalizações para o mesmo, no contexto da optimização em redes e de programação binária mista.

O método que se propõe para resolver o PDIT baseia-se na decomposição em dois níveis; um primeiro nível que corresponde à determinação de itinerários com duração de um dia (subitinerários) e um segundo nível que constrói, a partir dos itinerários diários, um itinerário global com a duração pretendida pelo turista. Foram desenvolvidas para o primeiro nível duas heurísticas construtivas, uma heurística do vizinho mais próximo e uma de inserção e para segundo nível uma heurística construtiva e uma melhorativa com estratégias de diversificação e intensificação. Os correspondentes algoritmos foram implementados e testados computacionalmente, na construção de um itinerário turístico para a Região de Santarém.

PALAVRAS-CHAVE: Itinerários Turísticos; Optimização de Rotas com Janelas Temporais; Heurísticas Construtivas; Estratégias de Diversificação e Intensificação.

ABSTRACT

The issue of conceiving and controlling tourist development strategies is becoming increasingly important in socio-economic regional development policies, both from a macro, as well as from a micro standpoint. As the latter approach deals more deeply with specific aspects of tourist development, the author consider that the Problem of Optimized Development of Tourist Routes (PDIT) is more closely related to the micro perspective.

This issue, and our research, is not designed to build tourist circuits, for commercial purposes, to benefit tourist groups, but rather for the isolated tourist who wishes to enjoy a route lasting several days, in accordance with his particular interests, in a given region. This circuit could be available at a region's tourist office or any multimedia Portuguese Tourist Board reception office, local council tourist facilities, and other relevant information centres.

It is also felt from an Operations Research standpoint that our research topic has to do with vehicle routing problem with time windows. Once the issue has been analysed, a mathematical formulation is drawn up.

The methodology proposed is based on a breakdown of the problem into two levels: the first involves determining single day routes (sub-routes) whereas the second one, built from the daily routes, concerns a global route whose duration is decided by the tourist. For the first level, two constructive heuristics were developed, one a nearest neighbour heuristic and another an insertion heuristic. For the second level, a constructive heuristic was created along with an improvement heuristic with a diversification-intensification strategies, to obtain better results. The respective algorithms were computationally implemented and tested in building a tourist route for the Santarém region.

KEYWORDS: Touristic Itineraries; Vehicle Routing Optimization with Time Windows; Constructive Heuristics; Diversification and Intensification Strategies

DEDICATÓRIA

Dedico esta Dissertação

Aos meus Pais, ao Alexandre e ao meu Irmão

ÍNDICE

1. Introdução	
1.1 Motivação e contexto profissional do presente trabalho	10
1.2 Organização do documento	13
1.3 Enquadramento	
1.3.1 Importância da actividade turística como objecto de estudo	15
1.3.2 Técnicas de optimização aplicadas ao sector turístico	22
2. Desenho optimizado de itinerários turísticos	
2.1 Apresentação e contextualização do problema	23
2.2 O Problema do Desenho Optimizado de Itinerários Turísticos (PDIT)	
2.2.1 Descrição do problema	26
2.2.2 Formalizações do Problema de Desenho de Itinerários Turísticos	31
2.3 Problemas de rotas e escalonamento e o PDIT	45
3. Heurísticas para o Problema do Desenho Optimizado de Itinerários Turísticos	
3.1 Enquadramento Bibliográfico	48
3.2 Algumas considerações metodológicas	
3.2.1 Particularização dos problemas a resolver	54
3.2.2 Metodologia utilizada	55
3.3 Determinação de subitinerários	
3.3.1 Heurística do Vizinho Mais Próximo	61
3.3.2 Heurística de Inserção	67
3.4 Determinação do Itinerário Turístico	
3.4.1 Heurística Desenha Itinerário	73
3.4.2 Heurística de Diversificação e Intensificação	77
4. Aplicação a um caso real e testes computacionais	
4.1 Considerações sobre o caso em estudo	81
4.2 Recolha e tratamento dos dados	85
4.3 Implementação das heurísticas em suporte computacional	90
4.4 Testes e análise de resultados	93
5. Conclusões e pistas para investigações futuras	108
Referências Bibliográficas	113
ANEXOS TÉCNICOS	
Anexo 1 – Pseudo-códigos das heurísticas implementadas	117
Anexo 2 – Tabelas da base de dados utilizada nos testes computacionais	138

LISTA DE FIGURAS E QUADROS

FIGURAS

FIGURA N.º 1 – ALGUMAS COMPONENTES DO SISTEMA DE TURISMO	16
FIGURA N.º 2 – ELEMENTOS DA POLÍTICA DE TURISMO	17
FIGURA N.º 3 – EXEMPLO DE UM ITINERÁRIO TEMÁTICO DA ROTA DA VINHA E DO VINHO DO RIBATEJO	24
FIGURA N.º 4 – EXEMPLO DE DUAS JANELAS TEMPORAIS DEFINIDAS PARA UM PONTO TURÍSTICO i NUM DIA S	34
FIGURA N.º 5 – EXEMPLO ESQUEMÁTICO DE UM SUBITINERÁRIO E DE UMA <i>INTERTRIP</i>	36
FIGURA N.º 6 – FORMALIZAÇÃO DO PDIT EM PROGRAMAÇÃO BINÁRIA MISTA	44
FIGURA N.º 7 – LIGAÇÕES DIRECTAS DOS CLIENTES AO NÓ DEPÓSITO (HEURÍSTICA DAS POUPANÇAS)	50
FIGURA N.º 8 – FLUXOGRAMA DA HEURÍSTICA CONSTRUTIVA SEQUENCIAL	56
FIGURA N.º 9 – METODOLOGIA PARA OBTENÇÃO DE UMA SOLUÇÃO PARA O PDIT	58
FIGURA N.º 10 – FLUXOGRAMA DAS HEURÍSTICAS CONSTRUTIVAS DE SUBITINERÁRIOS	61
FIGURA N.º 11 – FLUXOGRAMA DA HEURÍSTICA DO VIZINHO MAIS PRÓXIMO	66
FIGURA N.º 12 – FLUXOGRAMA DA HEURÍSTICA DE INSERÇÃO	72
FIGURA N.º 13 – REPRESENTAÇÃO DE POSSÍVEIS SOLUÇÕES ADMISSÍVEIS PARA O PDIT NO CASO PARTICULAR EM QUE A DURAÇÃO É DE TRÊS DIAS	73
FIGURA N.º 14 – FLUXOGRAMA DA HEURÍSTICA DESENHA ITINERÁRIO	76
FIGURA N.º 15 – FLUXOGRAMA DA HEURÍSTICA DE DIVERSIFICAÇÃO E INTENSIFICAÇÃO	77
FIGURA N.º 16 – ÁREAS QUE POLARIZAM O TRANSPORTE E O TURISMO NA REGIÃO DE SANTARÉM	81
FIGURA N.º 17 – ALGUNS DADOS TURÍSTICOS SOBRE A REGIÃO – CAPACIDADE DE ALOJAMENTO	82
FIGURA N.º 18 – EVOLUÇÃO DAS DORMIDAS DE TURISTAS ESTRANGEIROS NA REGIÃO DE SANTARÉM	82
FIGURA N.º 19 – REPRESENTAÇÃO GEOGRÁFICA DA REGIÃO DE SANTARÉM	83
FIGURA N.º 20 – REPRESENTAÇÃO CONCEPTUAL DA IMPLEMENTAÇÃO COMPUTACIONAL	91
FIGURA N.º 21 – TESTES COMPUTACIONAIS – HEURÍSTICA DO VIZINHO MAIS PRÓXIMO	94
FIGURA N.º 22 – TESTES COMPUTACIONAIS – HEURÍSTICA DE INSERÇÃO	96
FIGURA N.º 23 – TESTES COMPUTACIONAIS – CONSTRUÇÃO DE SUBITINERÁRIOS COM A HEURÍSTICA DO VIZINHO MAIS PRÓXIMO E COM A HEURÍSTICA DE INSERÇÃO	98
FIGURA N.º 24 – TESTES COMPUTACIONAIS – HEURÍSTICA DE DIVERSIFICAÇÃO E INTENSIFICAÇÃO	102
FIGURA N.º 25 – REPRESENTAÇÃO GEOGRÁFICA DA SOLUÇÃO	107

QUADROS

QUADRO N.º 1 – VANTAGENS DA EXISTÊNCIA DE ITINERÁRIOS TURÍSTICOS OPTIMIZADOS	18
QUADRO N.º 2 – POTENCIAIS UTILIZADORES DE UM SISTEMA DE INFORMAÇÃO DE TURISMO	20
QUADRO N.º 3 – CLASSIFICAÇÃO DOS GRUPOS DE INTERESSE TURÍSTICO	29
QUADRO N.º 4 – DADOS DO PROBLEMA – NÓS ORIGINAIS RECURSOS TURÍSTICOS	85
QUADRO N.º 5 – DADOS DO PROBLEMA – NÓS CÓPIA COM JANELAS TEMPORAIS	87
QUADRO N.º 6 – DADOS DO PROBLEMA – NÓS DORMIDA	88
QUADRO N.º 7 – DADOS DO PROBLEMA – MATRIZ DAS DISTÂNCIAS	89
QUADRO N.º 8 – 1.º ITINERÁRIO CONSTRUÍDO COM BASE NOS SUBITINERÁRIOS OBTIDOS PELA HEURÍSTICA DO VIZINHO MAIS PRÓXIMO	95
QUADRO N.º 9 – 2.º E 3.º ITINERÁRIOS CONSTRUÍDOS COM BASE NOS SUBITINERÁRIOS OBTIDOS PELA HEURÍSTICA DO VIZINHO MAIS PRÓXIMO.	96
QUADRO N.º 10 – 4.º ITINERÁRIO CONSTRUÍDO COM BASE NOS SUBITINERÁRIOS OBTIDOS PELA HEURÍSTICA DE INSERÇÃO	97
QUADRO N.º 11 – 5.º ITINERÁRIO CONSTRUÍDO COM BASE NOS SUBITINERÁRIOS OBTIDOS PELA HEURÍSTICA DE INSERÇÃO	97
QUADRO N.º 12 – 6.º ITINERÁRIO CONSTRUÍDO COM BASE NOS SUBITINERÁRIOS OBTIDOS PELA HEURÍSTICA DE INSERÇÃO	98
QUADRO N.º 13 – 7.º ITINERÁRIO CONSTRUÍDO COM BASE NOS SUBITINERÁRIOS OBTIDOS PELAS DUAS HEURÍSTICAS CONSTRUTIVAS DE SUBITINERÁRIOS	99
QUADRO N.º 14 – 8.º ITINERÁRIO GLOBAL CONSTRUÍDO COM BASE NOS SUBITINERÁRIOS OBTIDOS PELAS DUAS HEURÍSTICAS CONSTRUTIVAS DE SUBITINERÁRIOS	99
QUADRO N.º 15 – 9.º ITINERÁRIO CONSTRUÍDO COM BASE NOS SUBITINERÁRIOS OBTIDOS PELAS DUAS HEURÍSTICAS CONSTRUTIVAS DE SUBITINERÁRIOS	100
QUADRO N.º 16 – ITINERÁRIO OBTIDO DA 1.ª APLICAÇÃO DA HEURÍSTICA DE DIVERSIFICAÇÃO-INTENSIFICAÇÃO	102
QUADRO N.º 17 – ITINERÁRIO OBTIDO DA 2.ª APLICAÇÃO DA HEURÍSTICA DE DIVERSIFICAÇÃO-INTENSIFICAÇÃO	103
QUADRO N.º 18 – DESCRIÇÃO DO ITINERÁRIO	103

AGRADECIMENTOS

Agradeço à minha orientadora Professora Doutora Margarida Vaz Pato, por todo o apoio e disponibilidade despendida ao longo da realização deste trabalho de investigação.

A todas as pessoas que se disponibilizaram a fornecer a informação necessária para este trabalho directa ou indirectamente, nomeadamente ao Sr. Vítor Varela, aos responsáveis das Regiões de Turismo dos Templários e do Ribatejo, em especial ao técnico de turismo António Belo e ao Dr. Armindo Pinhão, bem como ainda ao Dr. Renato Campos e à Dra. Maria José Campos.

O maior dos agradecimentos devo-o ao Alexandre, por todo o apoio, dedicação e incentivo demonstrado assim como toda a motivação e paciência que teve comigo ao longo deste último ano.

Aos meus pais pela sua compreensão e constante presença em todos os momentos, aos meus avós, irmão, tio e sogra pelo seu interesse e preocupação demonstrado.

A todos os meus outros amigos e familiares, agradeço o seu contributo e o seu apoio.

1. INTRODUÇÃO

1.1 MOTIVAÇÃO E CONTEXTO PROFISSIONAL DO PRESENTE TRABALHO

Por razões de ordem profissional, nos últimos anos, a autora desta dissertação tem participado em diversos estudos de desenvolvimento sócio-económico da Região de Santarém, estudos esses fundamentalmente de natureza descritiva, com uma componente explicativa bastante limitada. De qualquer forma, permitiram obter uma perspectiva global das diferenças a nível económico e da posição relativa do conjunto de concelhos que compõem esta Região.

Em termos académicos, desenvolveu um trabalho de Análise de Dados, tendo como objecto de estudo esta Região. O objectivo principal consistiu na identificação de “manchas”, em termos de desenvolvimento sócio-económico, a partir de um conjunto razoável de indicadores, tais como a capacidade e especialização produtiva, o nível de vida, as características demográficas, entre outros.

Utilizando técnicas de factorização, e uma metodologia que passou primeiro pela análise factorial dos dados iniciais para identificação dos factores explicativos das variáveis observáveis, seguida pela análise de *clusters*, identificaram-se “manchas” de desenvolvimento da Região. Efectuou-se também uma análise de *clusters* baseada nas variáveis originais de modo a testar a importância da aplicação prévia da análise factorial. Por fim, comparou-se os resultados obtidos com estas técnicas, com o conhecimento existente sobre a estrutura económica da Região.

Recentemente, a autora deste trabalho tem participado na concepção e implementação de suportes multimédia que têm como conteúdo as características da Região e que permitem obter uma perspectiva mais detalhada sobre as duas subregiões que a constituem, nomeadamente a Lezíria do Tejo e o Médio Tejo. Contudo, mais uma vez, a componente explicativa é extremamente limitada, sendo fundamentalmente adoptada uma abordagem descritiva da Região.

Os conhecimentos obtidos sobre algumas dimensões da Região de Santarém, permitiram detectar a relevância da actividade turística como uma das componentes estratégicas do seu desenvolvimento sócio-económico.

Por outro lado no âmbito do Mestrado em Matemática Aplicada à Economia e Gestão, foram apreendidos um conjunto de quadros de referência teórica no âmbito da área científica de Investigação Operacional, que proporcionaram o domínio de algumas técnicas e instrumentos indispensáveis à realização de investigações neste domínio.

Sendo assim existem factores, quer na perspectiva da necessidade de investigação neste domínio, quer ainda de disponibilização de técnicas de optimização a sectores específicos da actividade económica, que proporcionaram a condução deste trabalho de investigação.

Podemos considerar como factores condicionantes um conjunto de forças *demand-pull* ou orientadas pela procura, tais como:

- importância da actividade turística no quadro das economias nacionais;
- inexistência de uma política global de desenvolvimento turístico do conjunto da Região de Santarém;
- necessidade de articulação dos planos turísticos sectoriais de micro-implantação, em planos de acção integrados;
- racionalização da utilização de recursos turísticos;
- desenvolvimento de sistemas de informação simultaneamente descritivos dos recursos turísticos, e verdadeiros instrumentos de apoio à decisão.

Por sua vez, uma enumeração não exaustiva do conjunto de condições *technology-push*, ou orientadas pela oferta deverá considerar:

- grande dinamismo de trabalhos recentes sobre optimização do desenho de rotas nomeadamente no aprofundamento das investigações sobre optimização em redes, com inclusão nos modelos de restrições como as janelas temporais e outras;

- recurso à programação orientada por objectos, como metodologia de programação que garante as características de reutilização e eficácia na implementação computacional de heurísticas de optimização.

Da conjugação destes factores resultou este trabalho de investigação, seleccionando como caso de estudo, pelas condições acima referidas, a Região de Santarém. Reconhecendo desde o início as suas limitações, esta dissertação demonstra um interesse claro na condução de investigações posteriores neste domínio.

Poderei assim concluir que foi motivação fundamental para desenvolvimento desta investigação a conjugação dos conhecimentos factuais sobre a Região de Santarém com os quadros teóricos de referência no domínio da optimização.

1.2 ORGANIZAÇÃO DO DOCUMENTO

No âmbito da secção 1.1 foram exibidas as principais motivações para a realização desta dissertação, bem como enumerados alguns dos factores que conduziram ao seu desenvolvimento. Neste primeiro capítulo são ainda esquematizadas algumas das ideias fundamentais que relevam a importância da actividade turística e em particular a necessidade do desenho optimizado de itinerários turísticos.

No segundo capítulo, procede-se a uma apresentação e contextualização do Problema de Desenho Optimizado de Itinerários Turísticos (PDIT), bem como à sua formalização matemática, descrevendo-se as hipóteses consideradas na modelização. Ainda neste capítulo são apresentados alguns estudos anteriores no domínio da optimização de rotas de veículos com janelas temporais sendo feita uma comparação entre esses problemas e o PDIT.

O terceiro capítulo é dedicado por inteiro às técnicas heurísticas utilizadas para a obtenção de uma solução para o problema formalizado no capítulo dois. Após uma primeira fase de enquadramento teórico das potenciais heurísticas para o problema de rotas de veículos com janelas temporais, são explicitadas algumas considerações metodológicas relativas a este trabalho. É descrito o processo de decomposição do PDIT em dois níveis, um primeiro nível correspondente ao desenho de subitinerários (rotas diárias) e um segundo nível relativo ao desenho de um itinerário (global) para o período de visita.

Para a determinação de subitinerários, é apresentada e descrita uma heurística construtiva do vizinho mais próximo, bem como uma heurística construtiva de inserção. No âmbito da determinação do itinerário global é exibida uma heurística construtiva seguida de uma heurística melhorativa com estratégias de diversificação e intensificação.

No capítulo quatro, os algoritmos atrás referidos são testados computacionalmente num caso de estudo real, utilizando dados da Região de Santarém. Após uma breve descrição da instância em estudo, é mostrada de forma resumida a metodologia utilizada no processo de recolha e tratamento dos dados. São ainda exibidos os processos de implementação computacional das heurísticas, nomeadamente a criação e compilação

de código numa linguagem de alto-nível. São por fim comentados os resultados computacionais obtidos.

No quinto e último capítulo são comentados pela autora os resultados alcançados, as limitações da solução proposta, bem como ainda exibidas algumas pistas para investigações futuras neste domínio.

Para além das referências bibliográficas, podem ainda ser consultados os anexos técnicos onde são apresentadas as tabelas dos dados utilizados para teste computacional do modelo (que foram na íntegra resultado de recolha e tratamento pela autora), bem como o pseudo-código detalhado das heurísticas implementadas.

1.3 ENQUADRAMENTO

1.3.1 IMPORTÂNCIA DA ACTIVIDADE TURÍSTICA COMO OBJECTO DE ESTUDO

A actividade turística tem vindo a constituir-se cada vez mais como de extrema importância para o desenvolvimento estratégico das regiões. Naturalmente que cada economia nacional apresenta as suas próprias características de estrutura económica, pelo que o sector turístico pode representar um maior peso, em termos de criação de riqueza e geração de emprego, mais numas economias do que noutras. No entanto, o aproveitamento dos recursos turísticos, é inevitavelmente uma das acções indispensáveis às políticas de desenvolvimento sócio-económico.

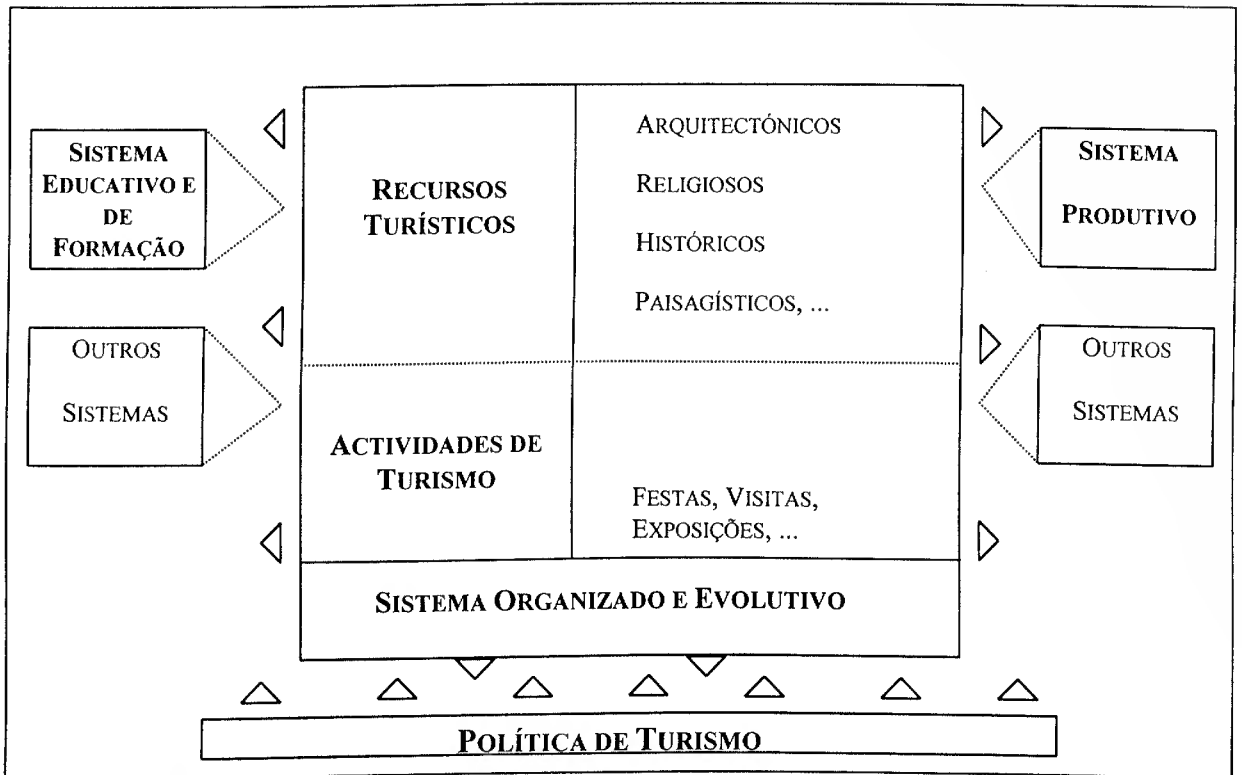
Uma outra característica interessante da actividade turística consiste no seu carácter expansivo e multiplicador no quadro da actividade económica. De facto, e dado que os recursos turísticos são de natureza diversa (histórica, religiosa, arquitectónica, paisagística, etc) as acções conduzidas no âmbito turístico têm repercussões multiplicadoras no conjunto das outras dimensões do sector económico e da sociedade em geral.

Na figura n.º 1 (apresentada na página seguinte) são representadas em esquema as interações do sistema de turismo com outros sistemas, bem como a arquitectura de funcionamento das várias componentes deste sistema com a política de turismo.

Estas características relevam a cada vez maior importância de existência de fontes de informação fiáveis e permanentemente actualizadas não só dos recursos turísticos em si, como também das actividades turísticas, enquanto acções pro-activas, e ainda informação dos resultados alcançados com políticas de turismo conduzidas no passado.

A autora desta dissertação foi informada pelos responsáveis das Regiões de Turismo do Ribatejo e dos Templários, de que está em curso a discussão de um Plano de Desenvolvimento Turístico, no âmbito dos concelhos da região, bem como está já em fase de implementação um Sistema de Informação Nacional de recursos turísticos, coordenado pela Direcção Geral de Turismo, e cuja entrada em funcionamento está prevista para muito em breve.

FIGURA N.º 1 – ALGUMAS COMPONENTES DO SISTEMA DE TURISMO



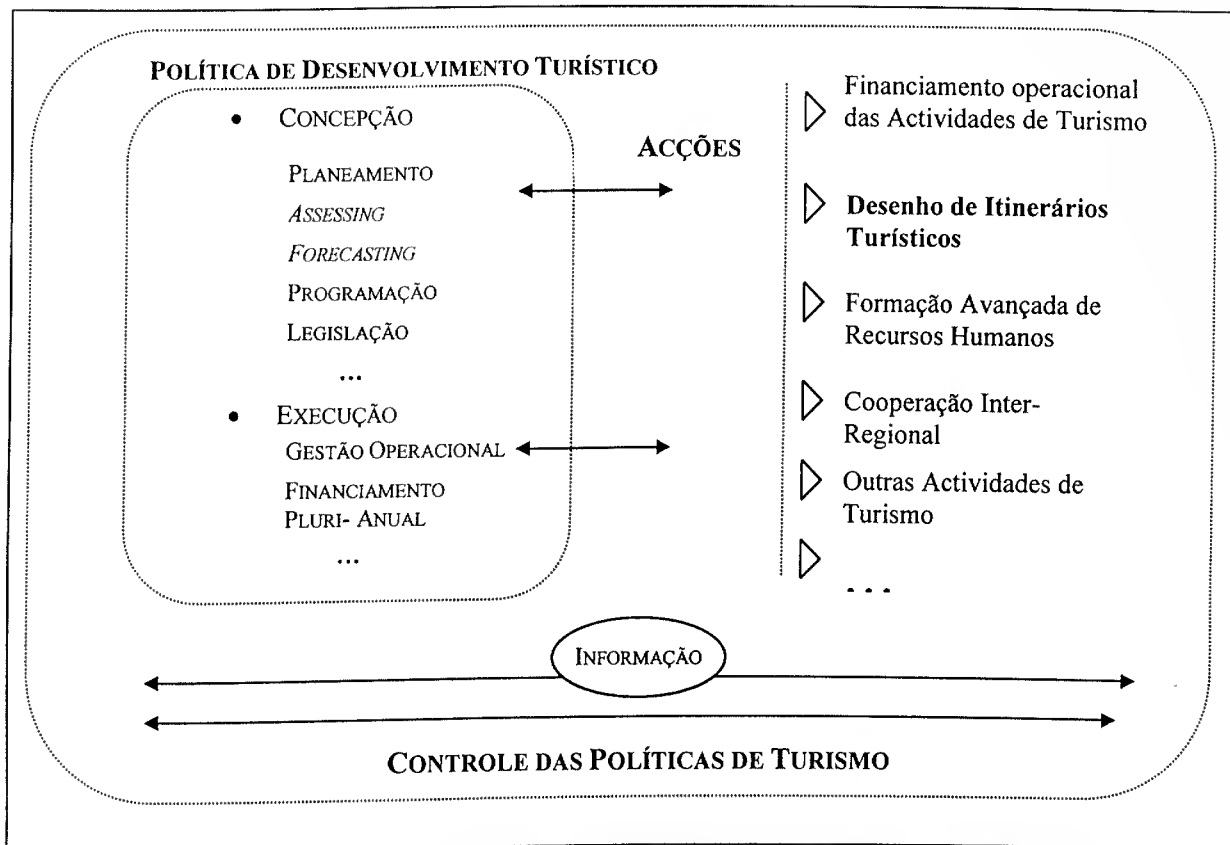
Fonte: Adaptado de Caldas [1997], tendo como informação de base as entrevistas realizadas com responsáveis das Regiões de Turismo do Ribatejo e dos Templários.

Mas, se a um nível macro assumem importância crescente as políticas de desenvolvimento turístico, torna-se ainda mais interessante compreender o processo de pormenorizar essas políticas gerais em acções concretas com um nível de detalhe muito superior isto é, compreender como é que podem ser geradas acções que valorizem os recursos turísticos, potenciando a sua crescente utilização.

Em traços muito gerais, podemos conceptualizar o conjunto das acções de turismo que visam valorizar os recursos turísticos como sendo a Política de Turismo de um dado espaço. Por sua vez, podemos logo à partida reconhecer duas abordagens distintas: por um lado, uma perspectiva macro, em que são consideradas as grandes acções de desenvolvimento da política de turismo (concepção, planeamento, controle, ...), e por outro, uma perspectiva micro, de grande detalhe, onde são avaliadas as acções concretas da política de turismo (financiamento operacional das actividades de turismo, formação avançada de recursos humanos para o turismo, concepção optimizada de itinerários turísticos, entre outras) – ver figura n.º 2, apresentada na página seguinte.

Neste conjunto integrado, um dos factores que assume maior relevância é a existência de bons suportes de informação que garantam a avaliação eficaz de todas estas componentes, permitindo a tomada de medidas rectificativas.

FIGURA N.º 2 - ELEMENTOS DA POLÍTICA DE TURISMO



Fonte: Adaptado de Caldas [1997], tendo como informação de base as entrevistas realizadas com responsáveis das Regiões de Turismo do Ribatejo e dos Templários.

Concretizando os conceitos acima referidos, e para o caso português, são exemplos duma visão macro da política de turismo as orientações estratégicas que visam promover um sector que representa cerca de 8% da capacidade de criação de riqueza nacional e que gera receitas no valor de cerca de mil milhões de contos – números de 1997, segundo o jornal diário “Público”, datado de 30 de Setembro de 1998. Uma demonstração dessas orientações estratégicas é a descentralização de competências, o combate à sazonalidade (dado que os produtos sol e mar constituem a principal oferta turística), a reestruturação da formação profissional e melhoria da qualidade da oferta turística. Por sua vez, são exemplos de uma visão micro da política de turismo, o desenvolvimento de acções que visem promover o turismo histórico-cultural, as acções de conservação de recursos arqueológicos, o fomento de feiras e outras actividades de carácter regional, e mesmo a preocupação com a definição antecipada de itinerários

turísticos que valorizem uma utilização integrada dos recursos turísticos de um ou mais espaços regionais.

O desenho optimizado de itinerários turísticos surge como uma das componentes da política de turismo, uma acção concreta de valorização dos recursos turísticos. Considerando que existem obviamente interesses diversos na utilização dos recursos turísticos, e que portanto é necessário ter em atenção a definição de uma correcta tipologia, ou seja uma categorização dos recursos (religiosos, monumentos, arquitectónicos, históricos, naturais ou paisagísticos, gastronómicos, entre outros tipos), é fundamental obter uma medição sistemática do grau da sua utilização, bem como da forma de encadear o seu uso numa acção comum. O itinerário turístico surge assim como uma acção simultaneamente dinamizadora e integradora da utilização dos recursos turísticos, pois a utilização dum sistema com estas características permite obter dados concretos relativos aos tipos de itinerários preferidos e os recursos turísticos mais procurados.

Numa forma esquematizada, poderemos considerar algumas vantagens na definição de itinerários turísticos de forma optimizada, apresentadas no quadro n.º 1.

QUADRO N.º 1 – VANTAGENS DA EXISTÊNCIA DE ITINERÁRIOS TURÍSTICOS OPTIMIZADOS

SITUAÇÃO SEM ITINERÁRIOS TURÍSTICOS	ITINERÁRIOS TURÍSTICOS OPTIMIZADOS
Utilização dispersa e pouco consistente dos recursos turísticos	Visão integrada na utilização dos recursos
Prazos muito curtos de utilização dos recursos	Prolongamento dos períodos de utilização dos recursos
Excessiva focalização em pequenos “nichos” ou espaços e fraca integração nas economias regionais	Aproveitamento de economias de escala e de aglomeração. Políticas supra-locais.
Poucos indicadores dos resultados da actividade turística	Obtenção de informação permanentemente actualizada sobre a utilização dos recursos turísticos

Por sua vez, é também relevante referir que a existência de itinerários turísticos é não só um importante instrumento de acção da política de turismo (e logo relevante para os decisores políticos e planeadores de turismo), como uma necessidade directa do turista

isolado que pretende visitar uma zona, bem como ainda de investigadores ou agentes de comunicação que utilizam os itinerários como uma forma de fazerem evoluir o seu conhecimento sobre a utilização dos recursos turísticos ou definição dos seus modelos de desenvolvimento regional, no caso dos primeiros, ou como uma forma integrada de descrição dos recursos turísticos no caso dos segundos. No quadro n.º 2, apresentado nas duas páginas seguintes, são tipificados os potenciais utilizadores de um sistema de informação turística onde está integrado o desenho optimizado de itinerários turísticos.

Desenho Optimizado de Itinerários Turísticos – Alguns Métodos Heurísticos

QUADRO N.º 2 - GRUPOS DE UTILIZADORES DE UM SISTEMA DE INFORMAÇÃO DE ITINERÁRIOS TURÍSTICOS

GRUPO	DECISORES POLÍTICOS	PLANEADORES DE TURISMO	INVESTIGADORES E COMUNIDADE CIENTÍFICA
<p>IDENTIFICAÇÃO DOS MEMBROS DO GRUPO</p>	<p>Fazem parte deste grupo de utilizadores todos os agentes políticos e outros que detêm poder de decisão sobre matérias relacionadas com a utilização integrada de recursos turísticos. Este grupo inclui não só a classe política governante, como também as demais organizações governamentais de âmbito supranacional.</p>	<p>São representativos deste grupo todos aqueles que embora não possuam poder de decisão são os responsáveis directos pelo planeamento e controlo da implementação de itinerários turísticos em particular e da política de turismo em geral. Normalmente são os responsáveis pelos órgãos descentralizados de condução da política de turismo.</p>	<p>Este grupo representa toda a classe académica e de investigação, ou outros que utilizam os recursos turísticos ou qualquer visão integrada destes como objecto de estudo que permita avançar o seu conhecimento sobre a realidade social.</p> <p>São estes também os principais motores das teorias de desenvolvimento turístico dada a sua visão científica deste fenómeno.</p>
<p>TIPO DE UTILIZAÇÃO PREVISTA</p>	<ul style="list-style-type: none"> - Utiliza os itinerários turísticos como acção detalhada de condução da política de turismo global; - Recolhe informação sobre itinerários turísticos existentes de modo a planear a médio e longo prazo as políticas de turismo; - Promove a concepção de itinerários turísticos supra-regionais e mesmo internacionais; - Promove a realização de estudos internacionais e acções multi-laterais; - Integração na política de desenvolvimento sócio-económico global; - Cria quadro legislativo adequado. 	<ul style="list-style-type: none"> - Desenvolve estudos de concepção de novos itinerários turísticos; - Recolhe informação sobre a utilização dos recursos turísticos e os resultados obtidos pelos itinerários; - Promove a divulgação e dinamização dos itinerários; - Desenvolve por via directa ou indirecta as acções concretas para valorizar os itinerários turísticos; - Coordena a execução das políticas de turismo sectoriais e sua influência nos itinerários turísticos existentes e potenciais; - Financia as actividades de turismo; - Divulga de forma sistemática informação sobre os recursos turísticos. 	<ul style="list-style-type: none"> - Realizam estudos de investigação fundamental sobre técnicas e instrumentos ou mesmo modelos de optimização da utilização dos recursos turísticos; - Promovem a investigação aplicada na valorização da utilização de recursos turísticos; - Utilizam a informação sobre recursos turísticos como dados importantes no futuro desenvolvimento de novas técnicas; - São os responsáveis pelo avanço do conhecimento no domínio da optimização de itinerários turísticos; - Preferencialmente deveria ser-lhes entregue todo o trabalho de carácter explicativo da utilização dos recursos turísticos, dada a sua perspectiva científica de encarar estes fenómenos; - Realizam estudos práticos e criam documentos orientadores nesta matéria.

QUADRO N.º 2 - GRUPOS DE UTILIZADORES DE UM SISTEMA DE INFORMAÇÃO DE TURISMO (CONTINUAÇÃO)

GRUPO	INOVADORES NO SECTOR TURÍSTICO	INTERMEDIÁRIOS DE INFORMAÇÃO	COMUNICAÇÃO SOCIAL	CIDADÃO COMUM
<p>IDENTIFICAÇÃO DOS MEMBROS DO GRUPO</p>	<p>São agentes inovadores do desenvolvimento turístico, de natureza pública ou privada que consideram a utilização dos recursos turísticos como uma actividade produtiva a desenvolver de forma inovadora. Inclui não só o tradicional agente de turismo, como outras formas inovadoras de produtores de acções de turismo.</p>	<p>São agentes que não utilizam os recursos turísticos como matéria-prima directa da sua produção, mas sim como fonte de informação para a intermediação de “produtos” relacionados com o turismo. São normalmente fornecedores de informação aos inovadores no sector turístico. *</p>	<p>Conjunto dos meios de comunicação social que utilizam os recursos turísticos como meio de divulgação de massas, ou comunicação com públicos-alvo especializados.</p>	<p>Turista que pretende visitar uma determinada região, de forma isolada ou acompanhado, e que aproveita os itinerários turísticos como um instrumento orientador da sua visita.</p>
<p>TIPO DE UTILIZAÇÃO PREVISTA</p>	<ul style="list-style-type: none"> - Reúnem os factores produtivos essenciais para a visita dos itinerários turísticos; - Implementam acções concretas da política de turismo; - Utilizam os itinerários turísticos como exemplos na criação dos seus circuitos turísticos orientados para uma vertente comercial; - Mantém uma atitude permanente de pesquisa de mercado com vista a posterior valorização dos recursos turísticos; - São inovadores e como tal, procuram sistematizar a informação produzida pelos outros utilizadores na condução da sua actividade económica. 	<ul style="list-style-type: none"> - Reúnem e sistematizam a informação existente sobre os recursos turísticos e os itinerários construídos; - Exploram comercialmente a informação existente; - São também realizadores de estudos prospectivos nesta matéria; - Servem de intermediários no plano da oferta e da procura de informação sobre itinerários turístico. - Por vezes, são os principais criadores de sistemas de informação sobre a actividade turística e riqueza documental. 	<ul style="list-style-type: none"> - Divulgam informação sobre os recursos turísticos, essencialmente para um público de massas; - Fazem a cobertura das actividades turísticas de relevo, chamando a atenção para fenómenos que possam captar as atenções; - São cada vez mais os principais criadores de suportes documentais sobre a utilização de recursos turísticos. 	<ul style="list-style-type: none"> - É o utilizador directo dos recursos turísticos; - Está interessado no máximo de informação sobre os recursos em si, mas essencialmente a sua exploração de forma optimizada; - Utiliza a informação sobre os itinerários turísticos como um bem essencial nas suas visitas; - Prefere cada vez mais ter autonomia na utilização dos recursos turísticos e personalizar as suas visitas de acordo com as suas preferências.

* Em Portugal, é relativamente recente a actuação deste tipo de organizações

1.3.2 TÉCNICAS DE OPTIMIZAÇÃO APLICADAS AO SECTOR TURÍSTICO

No âmbito das técnicas de optimização, são escassas as aplicações ao sector turístico. Mediante a pesquisa que foi feita nesse sentido verificou-se que as aplicações são, na sua maioria, destinadas à avaliação e análise de recursos turísticos e não propriamente com o objectivo de desenhar itinerários turísticos.

O trabalho de Schifferl [1998] é um bom exemplo disso. A autora, construiu uma aplicação interactiva que recorrendo a algoritmos genéticos, selecciona o produto turístico que melhor se adequa às necessidades do cliente, tendo em conta os vários atributos do produto, como o preço, a dimensão, a localização, etc. Este trabalho foi aplicado ao caso da selecção de casas de férias nos EUA.

Temos ainda o trabalho de Landany [1996] que tem por objectivo a optimização da segmentação do mercado dos quartos de hotel, com uma consequente escolha de preços e de tamanho para cada segmento, sob a hipótese de uma função de procura não linear.

O artigo de Hatzopoulos et al. [1993] parece estar mais próximo, em termos de objecto de estudo, do tema desta dissertação. A referida aplicação mostra-se, segundo os seus autores, de extrema importância principalmente quando utilizada em agências de turismo onde as demonstrações de recursos turísticos em aplicações multimédia se tornam mais aliciantes que as brochuras normais, dando a possibilidade ao utilizador de encontrar pontos turísticos nas várias áreas temáticas e possíveis itinerários turísticos. No entanto, os itinerários turísticos a que aqui se faz referência são circuitos turísticos, e assumem-se previamente definidos e construídos com objectivos de comercialização.

De qualquer forma este trabalho poderá sem dúvida servir de inspiração, para um projecto mais integrador de um Sistema de Informação Turístico, onde o Desenho de Itinerários Turísticos seria uma componente fundamental.

2. DESENHO OPTIMIZADO DE ITINERÁRIOS TURÍSTICOS

2.1 APRESENTAÇÃO E CONTEXTUALIZAÇÃO DO PROBLEMA

Começamos esta secção por distinguir os conceitos de circuito e itinerário turístico, que neste contexto têm definições distintas. A noção de **circuito turístico** pressupõe a organização de rotas turísticas para grupos num determinado meio de transporte colectivo com horários fixos e para comercialização; exemplos de circuitos são os pacotes organizados para grupos, pelas agências de viagem ou outros operadores turísticos. O **itinerário turístico** é já um percurso com características bem diferentes: destinado a um turista isolado, que normalmente se desloca no seu próprio meio de transporte, onde lhe são sugeridos vários pontos turísticos a visitar – não é comercializável.

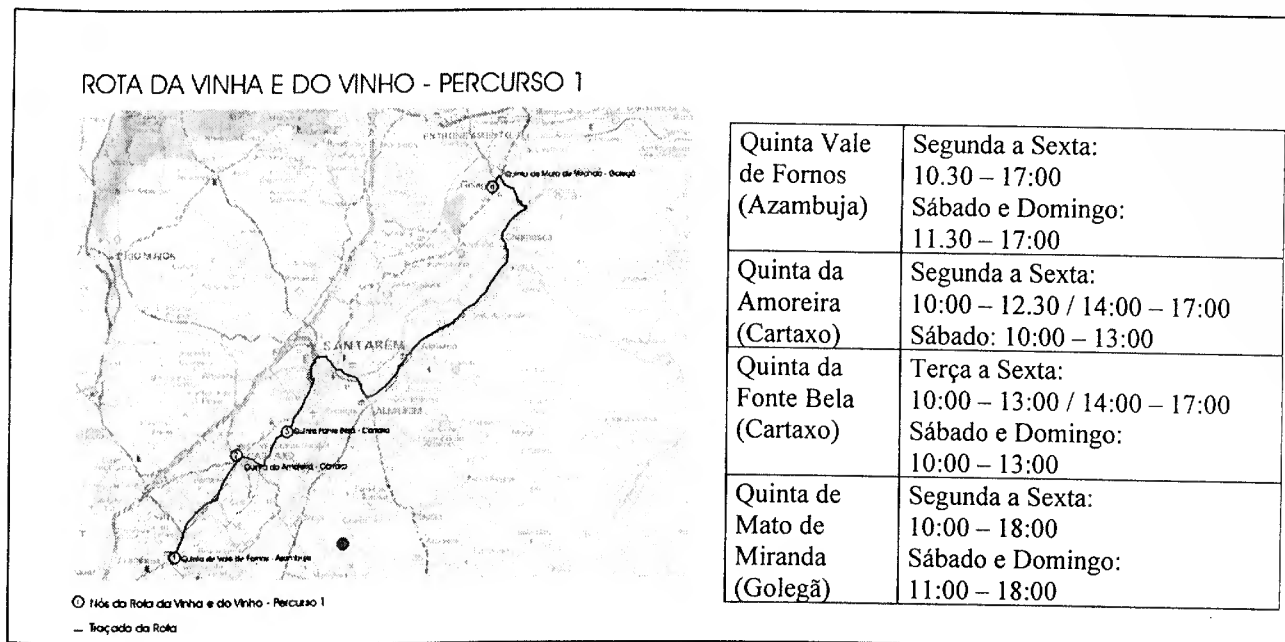
Frequentemente somos confrontados com pacotes turísticos disponíveis em agências de viagem, onde são apresentados um ou mais circuitos turísticos a realizar num número fixo de dias, numa data fixa e numa determinada região de interesse turístico.

O consumo desses pacotes com circuitos pode levar o turista isolado a experimentar situações menos agradáveis tais como, ter de acompanhar o grupo onde teve que se inserir a visitar determinados pontos turísticos de pouco valor para ele, tempos de espera, custos demasiado elevados, horários pouco flexíveis, etc. Além disso, existe um grande número de turistas que prefere viajar num meio de transporte próprio, durante um número de dias por ele fixado e com objectivos/gostos particulares, tornando-se este tipo de pacotes pouco adaptado às suas necessidades. Por isso, as entidades ligadas a este sector, nomeadamente as Regiões de Turismo, disponibilizam vários itinerários ao turista quando solicitados, ou em campanhas de promoção. Estes itinerários são constituídos por um conjunto de sugestões de visita a pontos turísticos contendo alguma informação sobre estes, nomeadamente, os horários de funcionamento, a sua localização, os dias em que é possível a visita, etc (ver figura n.º 3).

O objectivo desta dissertação reside no desenho optimizado de itinerários turísticos e não de circuitos turísticos, no entanto, os itinerários turísticos que se pretendem desenhar serão construídos com características mais ambiciosas do que aquilo que é praticado na maioria dos casos.

Sendo assim, o desenho destes itinerários será planeado com mais exatidão, como é feito para os circuitos, mas tendo em conta as necessidades e expectativas do utilizador a que se destina, não esquecendo que os pontos turísticos apresentados nas rotas são sugestões e como tal o utilizador não é obrigado a visitá-los todos.

FIGURA N.º 3 – EXEMPLO DE UM ITINERÁRIO TEMÁTICO DA ROTA DA VINHA E DO VINHO DO RIBATEJO



Fonte: Rota da Vinha e do Vinho do Ribatejo [1996].

O desenho de itinerários turísticos torna-se mais premente no caso de zonas onde a actividade turística, permite detectar nichos de mercado, ao invés de se poder falar de um turismo de massas. Esta situação é devida a um conjunto de factores: escassez de recursos turísticos, fraca diversidade dos recursos turísticos existentes, ruralidade da economia regional, debilidade infra-estrutural nos acessos, nas vias de comunicação, no alojamento e fraca divulgação dos recursos, entre outros.

Uma das principais características deste tipo de regiões consiste na curta duração das visitas turísticas (habitualmente um a dois dias), pelo que é imperativo fixar o turista na região, pretendendo prolongar a sua estadia.

Ainda neste âmbito, convém considerar que uma política de desenvolvimento turístico do conjunto dum dada zona terá de adoptar uma perspectiva integradora dos diversos tipos/actividades turísticas, complementando uma determinada acção turística (por

exemplo o itinerário da Rota do Vinho), com outras acções diversificadas (por exemplo, a realização de folclores, ou actividades desportivas).

O objectivo é obter um efeito multiplicador em todas as acções turísticas existentes, utilizando para isso uma tipologia diversificada de recursos turísticos a serem considerados neste problema, desde o património histórico, arquitectónico, religioso, paisagístico, o turismo de habitação, rotas sócio-económicas e outros.

Neste trabalho a ideia de criar por um lado itinerários temáticos mas onde se garante alguma diversidade e por outro, a existência de itinerários mais gerais, vem de algum modo contribuir para a obtenção do efeito multiplicador referido no parágrafo anterior.

Considerando que a actividade turística é um dos principais vectores estratégicos de desenvolvimento sócio-económico de qualquer região e que há um conjunto diversificado de recursos turísticos sub-aproveitados, não existindo uma rede de itinerários turísticos sistematizada e dimensionada de acordo com as potencialidades do espaço em estudo, torna-se pois importante o desenho de uma rede de itinerários turísticos para essas zonas. É neste contexto que se pode definir o Problema de Desenho de Itinerários Turísticos (PDIT) como sendo um problema que se destina a construir, a partir da recolha de informação contextualizada sobre a actividade turística numa região, um itinerário turístico optimizado nessa região para um período fixo, tendo em conta a minimização dos custos e a maximização do proveito para o turista, de acordo com o tipo de visita (turismo religioso, cultural, natureza e ambiente, geral, etc) que o turista pretende realizar.

Neste problema, não há exclusivamente uma preocupação de construção de rotas, isto é, quais os pontos turísticos a visitar e a sequência da sua visita, mas existe uma preocupação em construir itinerários escalonados, atendendo aos horários e dias de funcionamento dos pontos. É ainda feito um planeamento das refeições e dos locais onde pernoitar.

Na secção seguinte procede-se à modelização matemática do PDIT, sendo apresentadas formalizações para o referido problema.

2.2 O PROBLEMA DO DESENHO OPTIMIZADO DE ITINERÁRIOS TURÍSTICOS (PDIT)

2.2.1 DESCRIÇÃO DO PROBLEMA

Com este trabalho, como já foi referido, pretende-se que um turista¹ ao se deslocar a um posto de turismo ou quiosque multimédia numa dada região, obtenha um itinerário optimizado para visitar essa zona, de acordo com os seus interesses e com o tempo disponível para a visita.

A duração do itinerário (em dias), escolhida pelo utilizador, não poderá ser inferior a um dia nem superior a sete dias. Esta restrição imposta ao problema, está directamente relacionada com o tipo de regiões em estudo pois, como se observa na prática, o número habitual de dias que um turista permanece actualmente nessas zonas² varia entre um e dois dias e, embora se pretenda aumentar a estadia não faz sentido pensarmos num planeamento superior a uma semana completa. Noutro tipo de regiões as necessidades provavelmente seriam diferentes.

Considera-se que no planeamento do itinerário não existem dias de interrupção, isto é, um itinerário a iniciar-se a uma segunda-feira com uma duração de três dias terminará na quarta-feira dessa semana, que a duração será sempre dada em dias inteiros e que decorrerá numa semana específica do ano, **semana de planeamento**, assumindo que os dados relativos ao problema estão actualizados de acordo com os acontecimentos da semana. Um itinerário terá sempre início na segunda-feira da semana de planeamento, num ponto a determinar que será também o destino do itinerário, **local de partida/chegada**.

O itinerário construído não pode permitir a visita a um ponto turístico mais do que uma vez, à excepção dos restaurantes ou dos locais a pernoitar. As excepções aqui referidas devem-se por um lado ao facto destas infra-estruturas (restaurantes e dormidas) serem ainda em número reduzido e, por outro lado, não ser do ponto de vista turístico importante garantir diversidade nas visitas a estes locais, mas sim exigir qualidade. Os pontos turísticos poderão, no entanto, não ser todos visitados, num itinerário.

¹ Poderão existir diferentes utilizadores deste sistema, no âmbito deste trabalho vamos encarar como possível utilizador o cidadão comum.

² Zonas onde o turismo não é considerado um turismo de massas mas onde se podem detectar nichos de mercado.

No desenho de um itinerário turístico, ter-se-á sempre em conta o planeamento da refeição de almoço, que poderá ser iniciada entre as 12:30 e as 14:30, **período de funcionamento dos restaurantes**, será também feito o planeamento do local a pernoitar, onde se inclui a refeição de jantar (a realizar quer no próprio local, quer num restaurante relativamente próximo) e o pequeno-almoço do dia seguinte. A chegada a estes locais (que poderão ser pousadas, residenciais, hotéis, instalações de turismo de habitação) deverá ser feita no **período de funcionamento das dormidas**, período em que é permitida a chegada a estes locais, que se considera das 19:00 às 20:30.

Terá que se ter em linha de conta o horário de funcionamento de cada ponto turístico, que poderá variar dependendo do dia da semana a considerar. Por **período de funcionamento de um ponto turístico** entende-se o período durante o qual é permitido o início da visita ao local. A cada ponto turístico³, correspondem no máximo dois períodos de funcionamento, o período da manhã e o da tarde. Não sendo permitido a nenhum dos pontos turísticos o período de funcionamento entre as 12:30 e as 14:30 (período para almoço) e o período depois das 19:00 (período de jantar e dormida). Estas restrições temporais serão impostas ao nível dos dados das instâncias do problema, assumindo à partida que o período de funcionamento dos restaurantes é entre as 12:30 e as 14:30, e o período de funcionamento das dormidas é entre as 19:00 e as 20:30, estando as dormidas disponíveis todos os dias da semana. O período de funcionamento do local partida/chegada de um itinerário, embora não seja um ponto a visitar, é estabelecido entre as 8:00 e as 9:30, quando funciona como origem de um itinerário, isto é, no primeiro dia. Como chegada não existe restrições relativamente ao período de funcionamento deste local. O planeamento de diversões nocturnas não faz parte do âmbito deste trabalho.

A cada ponto turístico, ponto dormida ou restaurante i está associado um parâmetro dv_i , que corresponde à duração estimada para o visitar. Os restaurantes e os locais de dormida têm uma duração de visita igual para todos eles. No caso dos restaurantes corresponde a uma hora e meia e nos locais de dormida corresponde a doze horas.

³ Pontos turísticos são todos os locais de interesse turístico passíveis de visita.

Os pontos turísticos na região encontram-se ligados por vias rodoviárias, onde é possível transitar com um meio de transporte vulgar (por exemplo, sem haver necessidade de um veículo todo terreno). Existem outras vias de ligação de pontos turísticos, nomeadamente a via ferroviária, fluvial, ciclo-turística, etc.

No âmbito deste trabalho vamos considerar exclusivamente a rede rodoviária, embora esteja também contemplada a realização de outros percursos sem serem rodoviários, quando incluídos no próprio recurso turístico. Por exemplo, a visita ao Castelo de Almourol só pode ser realizada com uma travessia de barco do rio Tejo, logo é utilizada uma via fluvial que não fará parte da rede do problema e estará sim inserida nas características do ponto turístico, influenciando algumas das suas propriedades, nomeadamente a duração da visita e o horário de funcionamento.

Com relação às vias rodoviárias não vamos considerar para a modelização todas as vias existentes na realidade, pois além de umas vias serem mais atractivas turisticamente que outras, existem algumas restrições que tem de se ter em conta quando se constrói um itinerário:

- o tempo de duração de uma viagem sem paragens de um ponto turístico para outro não poderá ser superior a uma hora e meia, de modo a não a tornar muito fastidiosa;
- a visita de dois pontos turísticos com características muito semelhantes nunca deverá ser feita uma a seguir à outra, por exemplo, duas igrejas não deverão ser visitadas de seguida, pois o itinerário fica muito repetitivo.

O **custo de um itinerário** define-se exclusivamente como o somatório dos custos de viajar entre os pontos que o constituem, não estando abrangidos nesta definição os custos inerentes aos próprios pontos turísticos.

Como já foi mencionado, uma das principais características deste modelo é tentar aproximar os itinerários dos utilizadores e tentar de certa forma personalizar estes itinerários de acordo com os seus interesses. Possíveis utilizadores destes itinerários, são os turistas que preferem deslocar-se por meio de transporte próprio, sem estarem inseridos em grupos, e que gostam de coordenar as suas próprias actividades. Os seus interesses poderão ser classificados em vários grupos e, dependendo da escolha do grupo de interesse, será construído o itinerário.

QUADRO N.º 3 – CLASSIFICAÇÃO DOS GRUPOS DE INTERESSE TURÍSTICO

Recursos Naturais ou Natureza e Ambiente	Singularidades geográficas
	Termalismo
	Parques naturais/Paisagens florestais
	Jazidas paleontológicas
Artesanato e Danças tradicionais	Trabalhos em pele e couro
	Manufatura de redes
	Bordados diversos
	Bonecas de trapo
	Folclore e Fandango
Festas e Feiras	Festa Brava - touradas
	Feiras
	Festa do Cavalo
	Festa do Vinho
Desporto e Aventura	Passeios a cavalo – escolas de equitação
	Pesca desportiva
	Espeleologia
	Caça turística
	Aeródromo – pára-quedismo – ultraleve
Turismo Religioso	Igrejas
	Santuários
	Locais de culto
Turismo Cultural	Centros históricos
	Museus
	Monumentos
Geral	Pontos turísticos mais importantes nas diversas temáticas

Fonte: Dados obtidos das entrevistas com responsáveis das Regiões de Turismo do Ribatejo e dos Templários.

A **utilidade de um itinerário** é dada pela soma das utilidades de cada ponto turístico que é visitado nesse itinerário. A utilidade não está definida para os restaurantes, locais de dormida e locais partida/chegada pois são pontos obrigatórios e assumem-se da mesma categoria; podemos portanto dizer que a utilidade destes pontos é nula. Para os outros pontos a utilidade é calculada com base numa classificação feita pelos técnicos de turismo e do tipo de itinerário preferido pelo utilizador (ver quadro n.º 3). Este parâmetro varia numa escala de 1 a 5, sendo atribuído 1 no caso de pontos turísticos pouco ou nada interessantes para o utilizador e 5 em pontos considerados de visita quase obrigatória.

Em resumo, o que se pretende com o Problema de Desenho de Itinerários Turísticos (PDIT) é construir um itinerário de um ou mais dias a iniciar-se a uma segunda-feira de uma determinada semana, com o objectivo de maximizar a utilidade ou o proveito para o utilizador ao percorrer o itinerário e minimizar os custos da viagem, tendo em conta os recursos turísticos, os nós de apoio (apoios para alimentação e dormida) e os respectivos horários disponíveis nos dias da semana em que será realizado o itinerário.

2.2.2 FORMALIZAÇÕES DO PROBLEMA DE DESENHO DE ITINERÁRIOS TURÍSTICOS

O PDIT pode ser estudado no âmbito dos Problemas de Rotas com Janelas Temporais, embora com algumas características singulares que o diferenciam das concepções mais frequentes na literatura. As principais características são a não obrigatoriedade de visitar todos os nós da rede e a existência de um multi-objectivo, por um lado minimização de custos, por outro, maximização da utilidade da visita.

Nesta subsecção serão apresentadas alternativas de formalização do PDIT, em Optimização em Redes e em Programação Binária Mista.

Formalização do PDIT em Optimização em Redes

Consideremos uma rede orientada $G = (N, A)$ definida por um conjunto de nós N e um conjunto de arcos A . As redes $G^s = (N^s, A^s)$ são subredes de G e correspondem às redes disponíveis para cada dia s da semana de planeamento, $\forall s \in S$, sendo S um conjunto representativo dos dias da semana $S = \{1,2,3,4,5,6,7\}$. Assume-se que 1 representa a segunda-feira, 2 a terça-feira, etc. Cabe ao utilizador, como já foi referido atrás, fornecer o número de dias de duração do itinerário, representado pelo parâmetro $d \in S$.

Vamos agora proceder à caracterização dos nós da rede G . Considere-se N decomposto em quatro subconjuntos disjuntos:

$$N = N' \cup D \cup R \cup OR$$

onde N' é o conjunto representativo dos recursos turísticos a visitar, D dos locais de dormida, R dos restaurantes onde poderá ser tomado o almoço e o OR representa os possíveis pontos de partida e chegada do itinerário.

Cada elemento $i \in N'$ é visitado no máximo uma vez, e poderá nunca o ser num determinado itinerário. Em contrapartida um nó j tal que $j \in R$ ou $j \in D$ pode ser visitado mais do que uma vez e poderá também nunca ser visitado.

O conjunto dos nós OR é bastante diferente dos acima mencionados, pois representa um conjunto de pontos de partida/chegada ou **nós origem/destino do itinerário** e não de pontos turísticos a visitar. Como tal, num determinado itinerário só poderá existir um

elemento $o \in OR$ (nó origem/destino do itinerário). É também óbvio que os nós de OR só “funcionam” à segunda-feira e no dia $d+1$, pois qualquer itinerário só pode ter início à segunda e término no dia $d+1$.

Foi feita uma classificação dos nós de forma a poder identificar os dias da semana em que cada um funciona e o horário de funcionamento para cada um dos dias, porque o mesmo nó pode ter horários diferentes consoante o dia que estamos a considerar.

N^s ($s \neq 1$) é um conjunto de nós pertencentes a $N \setminus OR$ constituído por todos os nós que funcionam no dia s da semana em questão, isto é, inclui todos os locais de dormida, os restaurantes que funcionam no dia s e os recursos turísticos cuja visita é possível no dia s . N^1 define-se da mesma forma que os anteriores com excepção de que neste caso $OR \subset N^1$. Os conjuntos N^s não são disjuntos, porque o mesmo nó pode estar em simultâneo em vários conjuntos desde que funcione durante vários dias da semana. É de notar que o conjunto D está contido em qualquer N^s pois, por hipótese, todos os locais de dormida estão em funcionamento durante todos os dias da semana.

A cada nó $i \in N^s$ está associado um período de funcionamento definido como o período de tempo em que é permitido o início da visita ao nó, que neste contexto se define à custa de **janelas temporais**. Sendo assim, cada $i \in N^s$ tem uma ou várias janelas temporais, correspondentes aos horários de funcionamento do recurso turístico no dia s de uma semana. Seja $J_{i,s}$ o número de janelas temporais do nó i para o dia s .

Uma janela temporal é definida por um intervalo $(e_{i,s}^m, l_{i,s}^m)$ sendo os parâmetros

$$e_{i,s}^m \quad e \quad l_{i,s}^m$$

representantes dos limites temporais inferiores e superiores, respectivamente, da m -ésima janela temporal, entre os quais é possível iniciar a visita ao nó i no dia s , onde

$$e_{i,s}^m < l_{i,s}^m, \quad m = 1, 2, \dots, J_{i,s} \quad e \quad s \in S.$$

Logo, se a visita ao nó i no dia s se der na m -ésima janela, nunca poderá ser iniciada antes de $e_{i,s}^m$ nem depois de $l_{i,s}^m$.

No PDIT considerou-se que o número máximo de janelas temporais para qualquer nó da rede é 2, logo $J_{i,s} \leq 2$.

As janelas temporais associadas aos nós restaurantes e aos nós dormida são únicas e iguais para cada um deles, ou seja, os nós restaurantes funcionam todos entre os 750 mn (12:30) e os 870 mn (14:30) e os nós dormida funcionam todos entre os 1140 mn (19:00) e os 1230 mn (20:30). Foi imposto nos dados das instâncias do PDIT que mais nenhum nó pode funcionar isto é, pode começar a ser visitado, durante estes períodos. Para os outros nós têm-se no máximo duas janelas temporais, uma para o período da manhã e outra para o período da tarde, podendo existir casos que funcionem apenas de manhã ou de tarde. (ver a figura n.º 4). Os nós de *OR* têm também uma janela temporal, quando funcionam como origem, estando o período de funcionamento compreendido entre os 480 mn (8:00) e os 570mn (9:30).

Assume-se sem perda de generalidade que as janelas temporais associadas a cada um dos nós i em que $J_{i,s} = 2$ são disjuntas e estão ordenadas, isto é,

$$l_{i,s}^{m-1} < e_{i,s}^m.$$

Como se pode observar na figura n.º 4 as **janelas temporais são discretas**, pois podem envolver em cada dia períodos de tempo não contínuos, além de que os pontos turísticos têm a particularidade de poderem funcionar em mais do que um dia da semana o que também contribui para o argumento de se estar a trabalhar com janelas discretas.

As janelas temporais que aqui vão ser usadas permitem a existência de tempo de espera para a visita ao nó i , isto significa que se o tempo de chegada ao nó i for inferior a

$$e_{i,s}^m$$

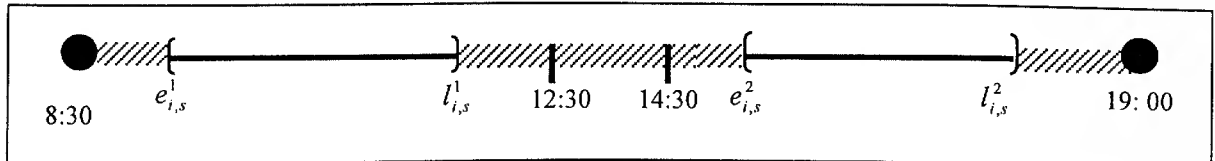
então é permitido esperar para visitar esse nó, mas caso o tempo de chegada seja superior a

$$l_{i,s}^m$$

então já não é permitido visitar esse nó nesse espaço de tempo, designando-se este tipo de janelas por **hard time windows** (Ball et al. [1995]). Em contrapartida existe um outro tipo de janelas, que aqui não vão ser consideradas, **soft time windows** um pouco mais flexíveis, pois permitem a visita a um nó mesmo que o tempo de chegada ultrapasse o limite superior, com um determinado custo pela violação da janela.

Em termos de formalização não é estabelecido um tempo máximo de espera para iniciar a visita a um determinado nó, mas esse período nunca poderá ultrapassar meio-dia, devido à obrigatoriedade de almoço e de pernoitar.

FIGURA N.º 4 – EXEMPLO DE DUAS JANELAS TEMPORAIS DEFINIDAS PARA UM PONTO TURÍSTICO i NUM DIA s .



Fonte: Adaptado de Rochat e Semet [1994].

Como se referiu na secção anterior, para cada nó $i \in MOR$ existe um parâmetro, dv_i , que corresponde à duração estimada da visita ao nó i .

O parâmetro u_i , para $i \in N'$, quantifica a utilidade ou o proveito que o turista atribui ao ponto i . Como já foi referido este parâmetro considera-se nulo para os elementos de R e D , pois são elementos de visita diária obrigatória e se assumem da mesma categoria. Por último, também nos nós do conjunto OR este parâmetro é considerado como nulo.

De seguida vamos apresentar os arcos desta rede. Os arcos A representam os caminhos ou vias rodoviárias que ligam os diversos pares de pontos turísticos, bem como as possíveis sequências de visitas. Qualquer arco (i,j) pertence ao conjunto A se o tempo que se demora a percorrê-lo (atendendo que a velocidade média estabelecida no problema é de 70km/h) for inferior a uma hora e meia e se i e j não são nós com características muito semelhantes pois, como já havia sido referido, são impostas estas restrições ao nível dos arcos de modo a impedirem ligações pouco viáveis em termos turísticos. Nesta regra de construção dos arcos está também incluída a impossibilidade de ligação directa entre restaurantes, entre dormidas e entre nós de OR . Todos os nós dormida encontram-se ligados aos nós de OR , pelo facto dos elementos deste conjunto poderem ser também nós destino de um qualquer itinerário. Nesta ligação a nós de OR não existe a limitação temporal de uma hora e meia.

As subredes atrás mencionadas destinam-se a um dado dia s da semana. Sendo assim, define-se $A^s \subseteq N^s \times (N^s \cup OR)$ constituído pelos arcos permitidos para o dia da semana s . Logo, um arco $(i,j) \in A^s$ só se $i \in N^s$ e $j \in N^s \cup OR$. Como vemos um arco define-se

para um dia s se liga dois nós que funcionem no dia s e inclui ainda o caso em que se liga um nó dormida aos possíveis nós origem/destino do itinerário, que corresponde ao **arco de saída**, ou seja,

$$(i,j) \in ((N^s \times (N^s \cup OR)) \cap A).$$

Associada a esta rede encontra-se uma matriz de custos c_{ij} , $\forall (i,j) \in A$. O parâmetro c_{ij} representa o custo de viajar do nó i para o nó j . Por hipótese assume-se que este custo é directamente proporcional à distância, d_{ij} , entre os dois pontos, com excepção do caso em que $i \in D$ e $j \in OR$ (arco de saída), sendo nesse caso $c_{ij} = 0$.

Para cada arco $(i,j) \in A$ existe também o parâmetro tempo, t_{ij} , que se define como sendo o tempo de duração da viagem de i para j , como já foi mencionado atrás, t_{ij} é directamente proporcional a d_{ij} .

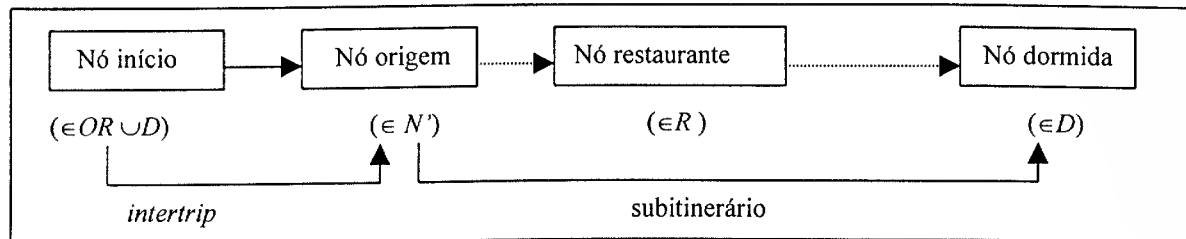
Neste problema considera-se pois que tanto o tempo, como o custo, de viajar de um nó i para um nó j são directamente proporcionais à distância percorrida e embora, a matriz de distâncias tanto possa ser simétrica como não simétrica, apresenta-se frequentemente simétrica em zonas essencialmente rurais. Nestas zonas o recurso a vias rápidas ou auto-estradas parece ser menos viável, nomeadamente do ponto de vista turístico são vias pouco ou nada interessantes e a existência de algum trânsito reduz-se aos centros de algumas cidades, sendo escassas, nestas zonas, as vias de sentido único.

Tal como já referido anteriormente, para além destes parâmetros existe ainda um outro parâmetro, d , que é definido à partida pelo utilizador e que corresponde à duração total em dias do itinerário, $d \in \{1, 2, 3, 4, 5, 6, 7\}$.

No contexto desta rede, podemos começar por definir o conceito de **subitinerário** como percurso diário, ou seja, uma sequência de nós turísticos e nós de apoio que o turista irá visitar, tendo a duração de um dia inteiro e respeitando todas as janelas temporais e os dias de funcionamento dos nós. Este percurso deverá ter ponto de partida num **nó origem** – ponto turístico arbitrário correspondendo ao primeiro nó a ser visitado – com almoço num nó de R e fim num **nó destino** – local de jantar e dormida.

A viagem realizada entre o **nó início** – no caso de segunda-feira um nó de OR e nos outros dias um nó de D – e o nó origem do subitinerário designa-se por *intertrip*.

FIGURA N.º 5 – EXEMPLO ESQUEMÁTICO DE UM SUBITINERÁRIO E DE UMA *INTERTRIP*



Para cada subitinerário estabelece-se o **custo do subitinerário** como o somatório dos custos de viagem entre os nós que o constituem tendo em atenção que não se contabiliza os custos inerentes aos pontos turísticos (por exemplo entradas). Podemos também apresentar a **utilidade do subitinerário** como o somatório das utilidades dos pontos turísticos deste.

Associado a um itinerário determinam-se de acordo com a secção 2.2.1 dois valores, o custo e a utilidade do itinerário. O custo de um itinerário é a soma dos custos de cada um dos subitinerários que o constituem com os custos de viagem associados às *intertrips*, isto é às viagens que são realizadas do nó início para o nó origem de um subitinerário. A utilidade de um itinerário é dada pelo somatório da utilidade de cada um dos subitinerários.

Um **itinerário de d dias** corresponde a um conjunto de d subitinerários e respectivas *intertrips* em que o primeiro está ligado a um nó origem/destino do itinerário, $o \in OR$, e regressando no final, depois da dormida do dia d , isto é, depois de terminar o d -ésimo subitinerário, ao mesmo nó o com um custo nulo.

Podemos agora definir o PDIT como o problema com o qual se pretende, com base na rede $G = (N, A)$ e com os dados e as condições expostas, construir um circuito não elementar, um itinerário, que comece e acabe num nó de OR , que demore d dias, maximizando a utilidade e minimizando o custo.

Formulação do PDIT em Programação Binária Mista

O problema PDIT apresentado no contexto de uma rede pode ser formulado em Programação Binária Mista, nesta formulação vai-se recorrer à mesma nomenclatura da anterior.

Começamos primeiro por definir os dois tipos de variáveis aqui utilizadas. Por um lado temos variáveis binárias:

$$X_{ij}^s = \begin{cases} 1 & \text{se o arco } (i,j) \text{ é utilizado no dia } s \\ 0 & \text{caso contrário} \end{cases} \quad (i,j) \in A^s, s \in \{1, 2, \dots, d\}$$

Consideram-se também as variáveis binárias

$$X_{io}^{d+1} \quad (i \in D \text{ e } o \in OR)$$

que definem o regresso ao ponto de origem/destino de um itinerário, depois da dormida do d -ésimo dia.

Por outro lado temos variáveis temporais,

$$T_i^s \quad (i \in N \setminus OR, s \in \{2, \dots, d\} \vee i \in N, s = 1)$$

que representam o instante em minutos em que é iniciada a visita ao nó i no dia s da semana de planeamento. Estas variáveis só vão ser interpretadas quando o nó i é visitado no dia s .

Apresenta-se de seguida o conjunto de restrições do problema de Programação Binária Mista, assim como a sua função objectivo.

Note-se que as variáveis X_{ij}^s só estão definidas para os arcos $(i,j) \in A^s$ e para os arcos de saída, (i,o) com $i \in D \wedge o \in OR$, os somatórios que se vão usar na formalização só dizem respeito aos índices para os quais as variáveis estão definidas, apesar de isso não estar indicado nas fórmulas para não sobrecarregar as expressões.



A restrição (2.1) assegura que todos os pontos turísticos de N' são incluídos no máximo uma vez num itinerário, podendo mesmo não ser visitados. Os restaurantes e os locais de dormida não estão aqui incluídos pois podem ser usados mais do que uma vez no mesmo itinerário. Da mesma forma, os nós $o \in OR$ também não estão aqui contemplados pois apenas um pode ser visitado durante um itinerário como ponto de partida e ponto de chegada.

$$(2.1) \quad \sum_{s=1}^d \sum_{j \in N' \cup R \cup D} X_{ij}^s \leq 1 \quad \forall i \in N'$$

A restrição (2.2) relaciona o número de dias do itinerário a construir, d , com o número de locais de dormida usados, independentemente de existirem repetições ou não, isto é, o número de locais de dormida de um itinerário tem que ser igual ao número de dias de duração do mesmo. É de realçar que é esta restrição que assegura o cumprimento do número de dias, d , fixado pelo turista.

$$(2.2) \quad \sum_{s=1}^d \sum_{i \in N' \cup R} \sum_{j \in D} X_{ij}^s = d$$

As equações (2.3) traduzem também, agora para os restaurantes, a obrigatoriedade de usar d restaurantes no itinerário. Esta condição é, no entanto, mais restritiva que a anterior, pois obriga que em cada dia seja visitado exactamente um restaurante.

$$(2.3) \quad \sum_{i \in N'} \sum_{j \in R} X_{ij}^s = 1 \quad \forall s \in \{1, \dots, d\}$$

A utilização de uma condição mais “fraca” para os nós dormida comparativamente com (2.3), sendo a imposição idêntica relativamente a R e a D , é explicada pelo facto da equação (2.2) conjuntamente com as janelas temporais, com os tempos de permanência nos nós dormida e a restrição de continuidade do itinerário (tudo condições que irão ser apresentadas) garantirem sempre a visita a um único nó dormida em cada dia do itinerário. Isto porque, os nós dormida são os únicos onde se podem iniciar visitas após os 1140 mn (19:00) de cada dia e deve lá chegar-se antes dos 1230mn (20:30), logo necessariamente terá que se visitar um após essa hora.

Para os restaurantes, uma equação idêntica à (2.2) não basta pois, embora os restaurantes sejam também os únicos nós a funcionarem no período dos 750 mn (12:30) aos 870 mn (14:30), pode acontecer que se tenha iniciado a visita a um nó turístico aos 732 mn (12:20) e que a duração da mesma seja de 70 mn, se não existisse esta restrição, seria permitido visitar um outro nó a seguir a este que estivesse a 60 mn de distância ($750 + 70 + 60 = 870$). Neste caso não era necessário sequer, ter de esperar para iniciar a visita pois este poderia entrar em funcionamento aos 870 mn (14:30).

A existência de um dia sem almoço podia ser compensada com a visita a dois restaurantes no mesmo dia, sem se ir directamente de um para outro. Bastava iniciar o almoço aos 750 mn (12:30) terminando aos 840 mn (14:00), seguido depois de uma visita a um ponto relativamente próximo e com uma duração de visita pequena de modo a permitir novamente uma ida ao mesmo restaurante antes de fechar 870 mn (14:30). Logo, conclui-se que as equações (2.3) terão que se manter.

A seguinte equação (2.4) diz respeito à origem do itinerário. Como já foi referido atrás poderão existir vários locais a partir dos quais se pode iniciar o itinerário (OR), no entanto, apenas um é utilizado para um determinado itinerário, solução do PDIT. Por outro lado, foi também fixado que o início do itinerário será sempre a uma segunda-feira logo, no início de um itinerário terá que ser “visitado” um nó $o \in OR$, não podendo ser visitado mais nenhum nó de OR num outro dia d da semana, restrição que é imposta ao nível da definição das subredes pois $OR \not\subset N^s, \forall s \in \{2, 3, \dots, d\}$ ($OR \subset N^1$) e se repercute na definição de variáveis binárias, X_{ij}^s para $s \neq 1$.

$$(2.4) \quad \sum_{o \in OR} \sum_{j \in N^1} X_{oj}^1 = 1$$

Assume-se que um itinerário termina regressando ao nó origem/destino, embora com um custo nulo como já havia sido referido. As equações em (2.5) traduz esse regresso ao ponto de partida no dia $d + 1$.

$$(2.5) \quad \sum_{j \in N^1} X_{oj}^1 = \sum_{i \in D} X_{io}^{d+1} \quad \forall o \in OR$$

O grupo seguinte descreve a continuidade do itinerário, garantindo que todos os nós visitados são nós de passagem, incluindo os nós destino de cada um dos subitinerários,

pois no dia seguinte após o pequeno-almoço existe obrigatoriamente uma saída do nó. Mesmo no último dia do itinerário, existe uma saída do nó dormida (que corresponde ao destino do subitinerário) para voltar ao nó origem/destino do itinerário com um custo nulo. As equações (2.6) traduzem a continuidade para todos os nós turísticos e restaurante. As equações (2.7) traduzem a continuidade para os nós dormida, que terá de ser diferente pois a visita começa em s e termina em $s+1$.

$$(2.6) \quad \sum_{i \in N} X_{ij}^s - \sum_{k \in N} X_{jk}^s = 0 \quad \forall j \in N' \cup R, \forall s \in \{1, \dots, d\}$$

$$(2.7) \quad \sum_{i \in N} X_{ij}^s - \sum_{k \in N} X_{jk}^{s+1} = 0 \quad \forall j \in D, \forall s \in \{1, \dots, d\}$$

O grupo de restrições, (2.8), (2.9) e (2.10), está directamente relacionado com as janelas temporais deste problema.

Com já foi referido, as janelas temporais representam um intervalo de tempo durante o qual é permitido o início da visita ao nó em causa. Cada nó tem associado no máximo duas janelas temporais por dia que podem ser diferentes dependendo do dia da semana.

A condição (2.8) traduz a admissibilidade temporal, impondo que o início da visita ao nó i no dia da semana s , dado pela variável T_i^s , seja feito sempre entre os limites das janelas temporais. Para simplificar a expressão considera-se que:

$$e_{i,s}^2 = e_{i,s}^1 \quad e \quad l_{i,s}^2 = l_{i,s}^1$$

no caso em que um nó tem uma única janela temporal no dia s .

$$(2.8) \quad e_{i,s}^1 \leq T_i^s \leq l_{i,s}^1 \quad \vee \quad e_{i,s}^2 \leq T_i^s \leq l_{i,s}^2 \quad \forall i \in N \setminus OR, \forall s \in \{2, \dots, d\} \vee \forall i \in N, s = 1$$

As duas condições acima são verificadas em simultâneo se as duas janelas temporais são iguais. Caso a visita ao nó i não se faça no dia s , o valor da variável T_i^s não é passível de interpretação.

As inequações (2.9) traduzem a admissibilidade do escalonamento temporal do itinerário desenhado, onde se garante que o tempo de início de visita a um nó j por via (i,j) nunca poderá ser inferior à soma do tempo de início de visita ao nó i com a duração da visita a esse nó mais o tempo que demora a chegar ao nó j vindo do nó i .

$$(2.9) \quad X_{ij}^s (T_i^s + dv_i + t_{ij}^s - T_j^s) \leq 0 \quad \forall (i, j) \in A^s, (i \in N' \cup R, \forall s \in \{2, \dots, d\} \vee i \in N \setminus D, s = 1)$$

É de notar que os únicos arcos que não estão nesta situação são os que traduzem a viagem do nó dormida do dia anterior para o nó origem do dia seguinte. De facto, as inequações acima deixam de ser válidas para estes casos, tendo que ser utilizada a condição (2.10).

$$(2.10) \quad X_{ij}^s (T_i^{s-1} + 720 - 1440 + t_{ij}^s - T_j^s) \leq 0 \quad \forall (i, j) \in A^s, i \in D, \forall s \in \{2, \dots, d\}$$

O valor 1440 mn apresentado nesta inequação equivale às 24:00, e traduz a inicialização da variável temporal atrás mencionada. Para uma melhor compreensão das inequações (2.10), podemos pensar num exemplo ilustrativo da construção de um itinerário, tal que no final do planeamento de um dia d , é escolhida uma pousada para pernoitar, estando prevista a chegada aos 1200 mn (20:00). No dia seguinte é iniciada aos 570 mn (9:30) a visita a um castelo que dista dessa pousada cerca de 35 mn. De acordo com a descrição do problema esta visita ao castelo é considerada admissível, no entanto se substituíssemos estes valores na inequação (2.9) admitindo que o tempo de permanência na pousada é de 720 mn (12:00) esta visita não seria considerada válida em termos de admissibilidade de escalonamento, pois

$$1200 + 720 + 35 - 570 \geq 0.$$

Se agora substituirmos estes mesmos valores em (2.10), verificamos a admissibilidade de escalonamento:

$$1200 + 720 - 1440 + 35 - 570 \leq 0$$

isto porque à meia-noite a contabilização do tempo volta a ser inicializada.

O último grupo de restrições caracteriza as variáveis de itinerário como sendo variáveis binárias e impõe a não negatividade às variáveis temporais.

$$(2.11) \quad X_{ij}^s \in \{0,1\} \quad \forall s \in \{1, \dots, d\}, \forall (i, j) \in A^s$$

$$(2.12) \quad X_{io}^{d+1} \in \{0,1\} \quad \forall i \in D, \forall o \in OR$$

$$(2.13) \quad T_i^s \geq 0 \quad \forall s \in \{2, \dots, d\}, \forall i \in N \setminus OR \vee \forall i \in N, s = 1$$

Por último, para completar a formalização, só nos resta discutir a função objectivo do PDIT que se assumiu ter por objectivo a maximização do proveito ou utilidade do itinerário para o turista e a minimização dos custos de viagem.

Como já foi referido anteriormente, existe um parâmetro associado a cada ponto turístico, u_i , correspondente à utilidade ou satisfação que a visita do nó i pode trazer ao turista. Considera-se que este parâmetro assume um valor inteiro numa escala de 1 a 5, dependendo de vários factores, tais como a frequência de visitantes, o interesse turístico desse nó, assim como os próprios interesses do turista, o custo da visita, etc. O u_i para $i \in D \cup R \cup OR$ está definido com valor “0”.

Os custos da viagem aqui apresentados são directamente proporcionais às distâncias percorridas durante o itinerário, por isso é indiferente neste problema falar em custo de viagem ou em distâncias percorridas.

Como o objectivo do problema é encontrar uma solução que concilie a minimização do custo com a maximização da utilidade (multiobjectivo portanto), optou-se por uma função objectivo linear e escalar, onde estes dois factores caracterizadores possam entrar em simultâneo. Assim, temos uma função que pondera a minimização do custo do itinerário com o simétrico da utilidade do itinerário:

$$(2.14) \quad \text{Min} \quad \sum_{s=1}^d \left(\alpha \sum_{(i,j) \in A^s} c_{ij} X_{ij}^s - \beta \sum_{(i,j) \in A^s} u_j X_{ij}^s \right)$$

sendo α e β ponderadores das duas componentes de modo a reduzir a diferença de escalas entre os dois valores.

Apesar desta função privilegiar os itinerários com grandes utilidades, este modelo garante a determinação de uma solução de um itinerário que visita, pelo menos um ponto turístico de manhã, um restaurante e uma dormida.

Esta formalização em Programação Binária Mista é não linear, devido às restrições (2.8), (2.9) e (2.10). Vamos de seguida proceder à sua **linearização**.

A condição (2.8) traduz a admissibilidade da visita de um ponto num dia s , num dado instante tendo em conta as suas janelas temporais. A expressão que figura em (2.8) é uma disjunção de duas condições, vamos pois proceder à sua reformulação no contexto de um modelo com restrições traduzidas por um sistema de condições lineares.

Consideremos B um parâmetro inteiro positivo muito grande e para cada nó i visitado no dia s duas variáveis binárias definidas da seguinte forma:

$$Y_{1i}^s = \begin{cases} 0 & \text{se é satisfeita a 1.ª janela temporal do no nó } i \text{ no dia } s \\ 1 & \text{caso contrário} \end{cases}$$

Y_{2i}^s define-se do mesmo modo mas agora para a 2.ª janela temporal. No caso do ponto i não ser visitado no dia s , a estas variáveis assim como às T_i^s , não é atribuído significado. A expressão (2.8) para cada i e cada s é substituída pelas seguintes:

$$(2.8^i) \quad e_{i,s}^1 \leq T_i^s + BY_{1i}^s \qquad (2.8^{ii}) \quad T_i^s \leq l_{i,s}^1 + BY_{1i}^s$$

$$(2.8^{iii}) \quad e_{i,s}^2 \leq T_i^s + BY_{2i}^s \qquad (2.8^{iv}) \quad T_i^s \leq l_{i,s}^2 + BY_{2i}^s$$

$$(2.8^v) \quad Y_{1i}^s + Y_{2i}^s = 1$$

As inequações (2.9) e (2.10) podem ser substituídas pelas seguintes inequações lineares

$$(2.9^i) \quad T_i^s + dv_i + t_{ij}^s - T_j^s \leq (1 - X_{ij}^s)B \quad \forall (i, j) \in A^s$$

$$\text{com, } i \in N \cup R, \forall s \in \{2, \dots, d\} \vee i \in N \setminus OR, s = 1$$

$$(2.10^i) \quad T_i^{s-1} + 720 - 1440 + t_{ij}^s - T_j^s \leq (1 - X_{ij}^s)B \quad \forall (i, j) \in A^s, i \in D, \forall s \in \{2, \dots, d\}$$

Na figura n.º 6 (ver página seguinte), apresenta-se a formalização do PDIT.

FIGURA N.º 6 – FORMALIZAÇÃO DO PDIT EM PROGRAMAÇÃO BINÁRIA MISTA

$$\begin{aligned}
 & \text{Min} \sum_{s=1}^d \left(\alpha \sum_{(i,j) \in A^s} c_{ij} X_{ij}^s - \beta \sum_{(i,j) \in A^s} u_j X_{ij}^s \right) \\
 & \sum_{s=1}^d \sum_{j \in N' \cup R \cup D} X_{ij}^s \leq 1 \quad \forall i \in N' \\
 & \sum_{s=1}^d \sum_{i \in N' \cup R} \sum_{j \in D} X_{ij}^s = d \\
 & \sum_{i \in N'} \sum_{j \in R} X_{ij}^s = 1 \quad \forall s \in \{1, \dots, d\} \\
 & \sum_{o \in OR} \sum_{j \in N'} X_{oj}^1 = 1 \\
 & \sum_{j \in N'} X_{oj}^1 = \sum_{i \in D} X_{io}^{d+1} \quad \forall o \in OR \\
 & \sum_{i \in N} X_{ij}^s - \sum_{k \in N} X_{jk}^s = 0 \quad \forall j \in N' \cup R, \forall s \in \{1, \dots, d\} \\
 & \sum_{i \in N} X_{ij}^s - \sum_{k \in N} X_{jk}^{s+1} = 0 \quad \forall j \in D, \forall s \in \{1, \dots, d\} \\
 & e_{i,s}^1 \leq T_i^s \leq BY_{1i}^s \quad \forall i \in N \setminus OR, \forall s \in \{2, \dots, d\} \vee i \in N, s = 1 \\
 & e_{i,s}^1 \leq T_i^s \leq BY_{1i}^s \quad \forall i \in N \setminus OR, \forall s \in \{2, \dots, d\} \vee i \in N, s = 1 \\
 & T_i^s \leq l_{i,s}^1 + BY_{1i}^s \quad \forall i \in N \setminus OR, \forall s \in \{2, \dots, d\} \vee i \in N, s = 1 \\
 & e_{i,s}^2 \leq T_i^s \leq BY_{2i}^s \quad \forall i \in N \setminus OR, \forall s \in \{2, \dots, d\} \vee i \in N, s = 1 \\
 & T_i^s \leq l_{i,s}^2 + BY_{2i}^s \quad \forall i \in N \setminus OR, \forall s \in \{2, \dots, d\} \vee i \in N, s = 1 \\
 & Y_{1s}^i + Y_{2s}^i = 1 \quad \forall i \in N \setminus OR, \forall s \in \{2, \dots, d\} \vee i \in N, s = 1 \\
 & T_i^s + dv_i + t_{ij}^s - T_j^s \leq (1 - X_{ij}^s)B \quad \forall (i, j) \in A^s, i \in N' \cup R, \forall s \in \{2, \dots, d\} \vee i \in N \setminus OR, s = 1 \\
 & (T_i^{s-1} + 720 - 1440 + t_{ij}^s - T_j^s) \leq (1 - X_{ij}^s)B \quad \forall (i, j) \in A^s, i \in D, \forall s \in \{2, \dots, d\} \\
 & X_{ij}^s \in \{0, 1\} \quad \forall s \in \{1, \dots, d\}, \forall (i, j) \in A^s \\
 & X_{io}^{d+1} \in \{0, 1\} \quad \forall i \in D, \forall o \in OR \\
 & T_i^s \geq 0 \quad \forall s \in \{2, \dots, d\}, \forall i \in N \setminus OR \vee \forall i \in N, s = 1 \\
 & Y_{1s}^i, Y_{2s}^i \in \{0, 1\} \quad \forall i \in N \setminus OR, \forall s \in \{2, \dots, d\} \vee \forall i \in N, s = 1
 \end{aligned}$$

2.3 PROBLEMAS DE ROTAS E ESCALONAMENTO E O PDIT

Nesta secção é feito um breve enquadramento teórico, onde serão apresentadas várias classes de problemas de rotas com considerações temporais, de forma a proporcionar uma perspectiva globalizante do desenvolvimento da investigação que tem sido realizada nesta área.

Estamos na presença de um Problema de Rotas de Veículos (PRV) quando se pretende determinar um conjunto de rotas para k veículos de modo a satisfazer as procuras localizadas nos clientes, minimizando uma dada f.o., com restrições de natureza diversa, não se considerando restrições temporais e onde o tempo de chegada aos nós não é especificado. Quando num problema de determinação de rotas de veículos existe uma forte componente temporal, por exemplo, embora não existindo tempo fixo à partida para as visitas aos nós temos janelas temporais ou restrições de precedência, nestes casos dizemos que estamos na presença de um Problema de Rotas e Escalonamento de Veículos (PREV), Bodin e Golden [1981].

O Problema de determinação de Rotas com Janelas Temporais (PRJT) é um caso particular do PREV, e pode-se descrever de uma forma muito geral, como um problema de determinação de um conjunto de rotas para uma frota de veículos de modo a minimizar uma dada função objectivo e respeitando as restrições temporais na chegada aos clientes a visitar, assim como as restrições de capacidade da frota ou dos próprios veículos, caso existam.

O artigo de Solomon e Desrosiers [1988], o trabalho de Bodin et al. [1983] e o capítulo 2 (de Desrosiers et al.), no livro editado por Ball et al. [1995], são referências importantes, respeitantes a esta classe de problemas.

No problema em estudo, PDIT, pretende-se determinar um itinerário turístico, passando por um número mínimo de pontos, os quais se caracterizam por terem janelas temporais, com destino no ponto de partida e estando envolvido apenas um veículo, associado ao meio de transporte próprio do turista, sem restrição de capacidade. A formalização do PDIT como um PRJT apresenta algumas características singulares.

As principais diferenças entre a maioria das modelizações atrás mencionadas e as propostas para o PDIT na secção 2.2 residem em vários pontos:

- a construção de uma rota (itinerário) com uma duração de d dias;
- a não obrigatoriedade de visitar todos os pontos da rede, e a possibilidade de visitar alguns locais mais do que uma vez, nomeadamente os restaurantes e as dormidas;
- o objectivo duplo de minimização do custo (que é o tradicional) e de maximização da utilidade;
- a obrigatoriedade de visitar um número mínimo de pontos.

A formalização do PDIT em Programação Binária Mista apresenta características inspiradas nas formalizações do artigo de Kohl e Madsen [1995], do trabalho de Rochat e Semet [1994] e ainda no artigo de Christofides et al. [1981]. No entanto, foram feitas, como seria de esperar, algumas adaptações para o PDIT.

Por exemplo, relativamente à restrição que garante a continuidade do itinerário nos pontos de dormida houve uma modificação da restrição (clássica) de continuidade, isto para garantir a continuidade de um dia para outro, visto neste trabalho ter-se optado por contabilizar o tempo diariamente isto é inicializar a zero a variável temporal quando se passa do dia s para o dia $s+1$. Tomou-se esta opção de contabilização do tempo por estar mais próximo daquilo que se passa na realidade.

Tal como refere Solomon [1987] o Problema de Rotas com Janelas Temporais é NP-difícil, visto o PRV ser um seu caso particular e ser ele próprio NP-difícil. Savelsbergh [1984] demonstrou ainda que, encontrar uma solução admissível para o PRJT quando o número de veículos é fixo é também um problema NP-difícil. Como tal, é extremamente improvável encontrar algoritmos exactos para esta classe de problemas, tais que o tempo computacional seja polinomial na dimensão. É por isso fundamental neste tipo de problemas a utilização de métodos aproximados, como os heurísticos, destinados a encontrar soluções admissíveis de boa qualidade (Desrosiers et al. [1984]).

Tanto quanto é do nosso conhecimento não foi ainda provada a complexidade computacional do PDIT, no entanto visto, ser um problema de optimização de rotas com janelas temporais é natural que se proceda à determinação de soluções por métodos não exactos.

3. HEURÍSTICAS PARA O PROBLEMA DO DESENHO DE ITINERÁRIOS TURÍSTICOS

3.1 ENQUADRAMENTO BIBLIOGRÁFICO

Um dos primeiros artigos que faz referência a problemas de rotas com restrições temporais foi o de Dantzig e Fulkerson [1954]. Na década de 60 e 70 apareceram muitos outros trabalhos a tratar deste tema, nomeadamente Ford e Fulkerson [1962], Appelgren [1969,1971] entre outros. Ao longo do tempo tem-se verificado que os algoritmos para o PRJT resultam frequentemente de adaptações de algoritmos para os PRVs.

Desrosiers et al. no capítulo 2 de Ball et al. [1995] faz uma apresentação de alguns algoritmos para o PRJT, dando ênfase em particular aos algoritmos baseados em formulações matemáticas. Por sua vez Solomon e Desrosiers [1988] apresentam uma perspectiva globalizante dos métodos utilizados para este problema.

Nesta secção não se pretende discutir de uma forma pormenorizada os métodos desenvolvidos para o PRJT e as correspondentes categorias a que pertencem, mas sim analisar de uma forma resumida alguns desses e em especial os que irão ser utilizados neste trabalho.

A primeira categoria de métodos que vamos começar por abordar corresponde às heurísticas construtivas. Uma **heurística construtiva** determina uma solução admissível para o problema (sequência de arcos que definem as rotas para os vários veículos satisfazendo as restrições), escolhendo para inserir na solução corrente, em cada passo, um arco ou vários arcos (eventualmente eliminando alguns) que optimizem uma dada função. Nos passos intermédios do algoritmo trabalha-se com soluções não admissíveis.

Solomon [1987] apresenta algumas heurísticas construtivas adaptadas para um PRJT, nomeadamente a heurística do vizinho mais próximo e a heurística de inserção.

A **heurística do vizinho mais próximo**, segundo Solomon [1987], é uma heurística construtiva sequencial que consiste em encontrar um cliente ainda não visitado, admissível em termos de restrições temporais, e mais próximo do último cliente que foi inserido na rota em construção. A definição da proximidade entre os clientes pode ser dada à custa de vários parâmetros, quer geográficos quer temporais.

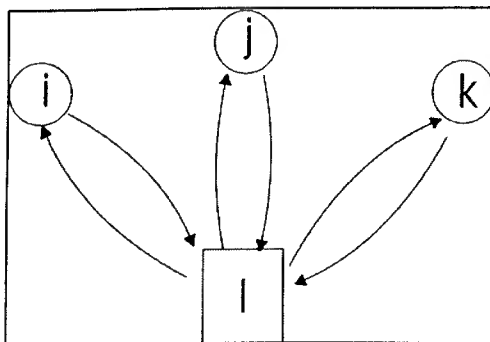
A **heurística de inserção sequencial**, segundo Solomon [1987], permite a inserção de um cliente, ainda não visitado, numa qualquer posição (mais favorável) da rota em construção desde que seja admissível em termos de restrições temporais. No referido estudo os resultados obtidos foram superiores aos da heurística anterior.

As duas heurísticas referidas acima foram adaptadas para serem utilizadas no PDIT para construção de subitinerários.

Potvin e Rousseau [1993], apresentaram uma heurística de inserção para PRJT baseada na heurística de inserção sequencial de Solomon [1987], com a particularidade de a construção de rotas não ser feita **sequencialmente**, mas em **paralelo**. Isto é, começa-se por inicializar k rotas e em cada passo do algoritmo são calculados os custos de inserção, baseados nos custos apresentados em Solomon [1987]. A diferença reside na escolha do melhor local de inserção para um dado cliente, pois enquanto na heurística de inserção sequencial o melhor local de inserção é escolhido de entre todas as posições admissíveis para uma dada rota em construção, nesta segunda heurística, a melhor posição é escolhida de entre todas as posições admissíveis das k rotas a serem construídas em simultâneo.

Embora com resultados superiores em alguns problemas, quando comparada com a heurística de inserção sequencial, esta construção de rotas em paralelo apresenta uma dificuldade, relacionada com a determinação do número de rotas a serem inicializadas para um dado problema, e apresenta um tempo computacional superior à primeira.

Como já foi referido anteriormente, grande parte dos algoritmos para o PRJT resultam de adaptações de algoritmos para o PRV. Um bom exemplo disso é a heurística construtiva de Clarke e Wright [1964]. Wren [1998] refere que o primeiro método prático para a resolução de problemas de rotas foi provavelmente esta heurística, mais conhecida por **heurística das poupanças** (*savings*). A heurística, tem início com n rotas distintas, sendo n o número de clientes a visitar, em que cada um dos n clientes é servido por uma rota específica que o liga directamente ao depósito (ver figura n.º 7).

FIGURA N.º 7 – LIGAÇÕES DIRECTAS DOS CLIENTES AO NÓ DEPÓSITO
(HEURÍSTICA DAS POUPANÇAS)

A construção de uma rota a partir de uma rota singular (com apenas um cliente i e o depósito l) é feita calculando para cada cliente $j \neq i$ um parâmetro s_{ij} que corresponde à **poupança** de o incluir nessa rota. O cliente escolhido para ser inserido, corresponde ao que originar uma maior poupança (s_{ij}), desde que não viole as restrições de capacidade dessa rota. Este processo, na versão sequencial, continua enquanto for possível fundir rotas em construção que impliquem uma diminuição dos custos, tomando sempre dois clientes i e j incluídos em rotas distintas e de forma a que cada um deles está directamente ligado ao depósito. As fusões de rotas são sempre feitas por ligação de dois clientes extremos, isto é, clientes ligados ao depósito, de duas rotas distintas.

Este processo pode ser implementado sequencialmente, tal como foi descrito acima, ou em paralelo, isto é, várias rotas a serem construídas em simultâneo.

Solomon [1987] sugeriu algumas adaptações à heurística de Clarke e Wright de forma a resolver problemas de rotas com janelas temporais. Usou a versão que constrói várias rotas em simultâneo (rotas em paralelo) e devido à existência de janelas temporais houve um cuidado acrescido na ligação de duas rotas em construção.

Uma outra categoria de heurísticas construtivas diferente das atrás mencionadas, é a das **heurísticas de duas fases**. Como exemplo temos o método – *cluster first, route second* – que na primeira fase associa os clientes aos veículos e depois numa segunda fase constrói as rotas para cada um dos veículos.

Um exemplo típico destas heurísticas foi originalmente desenvolvido por Gillet e Miller [1974] para PRVs designada por *sweep heuristic*. Este método dá bons resultados em problemas planares com os clientes representados num sistema de coordenadas polares. Numa primeira fase um cliente é escolhido aleatoriamente e o raio construído da origem para esse cliente vai “varrer”, por exemplo no sentido dos ponteiros do relógio, os clientes e associá-los a um determinado veículo até a sua capacidade estar completa. Esta primeira fase fica concluída quando todos os clientes são afectos a um veículo. Numa segunda fase, procede-se à construção de rotas para cada um dos veículos utilizando para isso um algoritmo do caixeiro viajante. Solomon [1987] propõe esta mesma heurística adaptada para o PRJT verificando-se, no entanto, que devido às restrições temporais alguns clientes não são inseridos em nenhuma rota.

O algoritmo apresentado em Koskosidis et al. [1992] é um também um algoritmo de duas fases para o problema de rotas e escalonamento de veículos com janelas temporais.

Um outro grupo de heurísticas que será mencionado é o das **heurísticas melhorativas**.

Nas **heurísticas melhorativas de pesquisa local** de uma forma muito geral, podemos dizer que o objectivo é obter, a partir de uma solução admissível e através de uma troca de arcos que pertencem à solução por outro conjunto de arcos que não pertencem, uma solução ainda admissível mas com custo inferior à primeira. Este procedimento prossegue até não se conseguir nenhuma troca com diminuição de custo. Uma heurística deste tipo começou por ser desenvolvida por Lin [1965] e melhorada por Lin e Kernighan [1973] para o problema do caixeiro viajante.

A **optimização interactiva** é uma metodologia também melhorativa, mas com um funcionamento diferente das heurísticas melhorativas usuais e descritas acima. O que a distingue é essencialmente a existência de uma interacção entre o factor humano e o algoritmo implementado para resolver o problema. Segundo Bodin e Golden [1981] nesta metodologia é o próprio utilizador do sistema a estabelecer e rever parâmetros, “injectando” condições subjectivas no modelo de optimização baseadas no seu conhecimento e intuição. O algoritmo INTIME apresentado por Derigs e Grabenbauer [1993] é um exemplo de um método de optimização interactiva, para o PRJT. Neste

sistema, o utilizador pode, interactivamente, alterar a solução de acordo com objectivos adicionais não incorporados no modelo de optimização.

Podemos também fazer referência a heurísticas de pesquisa local melhorativas que se socorrem de técnicas de inteligência artificial, nomeadamente fazendo recurso a memórias. A **pesquisa tabu** (PT) é um conhecido exemplo e foi utilizada para os problemas do PRV e do PRJT (Gendreau et al. [1993], Brandão [1997] e Rochat e Semet [1994]).

Rochat e Taillard [1995] apresentaram um método de pesquisa melhorativa para o PRJT, considerado pelos autores, bastante poderoso. Este **método de diversificação e intensificação** começa com um conjunto de soluções admissíveis e em cada iteração são aplicadas duas fases, uma de diversificação probabilística e outra de intensificação.

Este método será adaptado na próxima secção como uma heurística melhorativa aplicada ao PDIT.

Com base em formulações matemáticas de problemas, têm sido apresentados vários métodos exactos ou aproximados.

Os trabalhos apresentados em Kolen et al. [1987] foram os primeiros a descrever e a apresentar resultados computacionais para um método aproximado, baseado na **relaxação do espaço de estados**, aplicado ao PRJT. Este método foi parcialmente inspirado no trabalho de Christofides et al. [1981a] para o PRV.

Kohl e Madsen [1995] apresentam um método de optimização para o PRJT baseado na **relaxação lagrangeana** da restrição que exige que cada cliente tem de ser visitado. Neste método é considerado, por um lado, um *master problem* que tem por objectivo encontrar os multiplicadores de lagrange óptimos e por outro um subproblema que é um problema de caminho mais curto com janelas temporais e restrições de capacidade.

Um outro método, também baseado na formulação matemática de um problema, é o que insere a **técnica de geração de colunas** descrita em Desrosiers et al. [1984] para o problema do caixeiro viajante múltiplo com janelas temporais⁴. O método começa por resolver um problema reduzido contendo apenas um subconjunto de todas as possíveis colunas (variáveis). A relaxação linear deste problema reduzido produz um vector dual óptimo. As colunas vão sendo geradas, pelo menor custo marginal por um algoritmo para o problema do caminho mais curto com restrições temporais nos nós. Como o problema admite unicamente soluções inteiras este procedimento tem que ser utilizado conjuntamente com um *branch and bound*. Mais tarde Desrochers et al. [1992] apresentam uma generalização para o PRJT.

⁴ O problema do caixeiro viajante múltiplo com janelas temporais é um caso particular do PRJT, onde não há restrições de capacidade.

3.2 ALGUMAS CONSIDERAÇÕES METODOLÓGICAS

3.2.1 PARTICULARIZAÇÃO DOS PROBLEMAS A RESOLVER

Relativamente ao PDIT foram colocadas algumas hipóteses simplificativas das instâncias do problema que têm vindo a ser referidas ao longo do texto. Com esta secção pretende-se enumerá-las e introduzir mais algumas.

Ao ser construído um itinerário turístico assumiu-se, que cada ponto turístico tem no máximo duas janelas temporais em cada dia, não estando contemplado em nenhuma instância deste problema um ponto turístico com mais do que duas janelas temporais, assim como não são planeadas visitas, a pontos turísticos, com início depois das 19:00. Os únicos locais abertos a partir desta hora são os nós dormida.

É também feita uma pausa para almoço que terá que ser iniciada entre as 12:30 e as 14:30, estando os restantes locais fechados, isto é, não permitem início de visita.

As soluções vão ser tais que a visita ao nó origem de cada subitinerário nunca poderá ser depois das 10:00, não estando contemplada, em qualquer solução dada pelas heurísticas para este problema, uma manhã livre. Estas imposições destinam-se a encontrar soluções de razoável qualidade do ponto de vista da utilidade do itinerário.

Considerou-se também um único local de início de qualquer itinerário ($\exists^1 o \in OR$) que será sempre na segunda-feira da semana em estudo.

Com relação ao cálculo dos custos de viagem entre dois locais i e j , c_{ij} , e ao tempo de viagem, t_{ij} , estes são feitos com base nas distâncias entre eles, d_{ij} , tendo em conta que tanto c_{ij} como t_{ij} são directamente proporcionais a d_{ij} . Sendo assim define-se:

$$\left\{ \begin{array}{l} c_{ij} = 9 \times d_{ij} \text{ (considerando um custo de 9 esc/Km)} \\ t_{ij} = d_{ij} \times 70/60 \text{ (considerando uma velocidade média de 70 Km/h)} \end{array} \right.$$

3.2.2 METODOLOGIA UTILIZADA

Numa primeira abordagem, pensou-se implementar uma **heurística construtiva sequencial** que permitisse obter uma solução admissível para o PDIT.

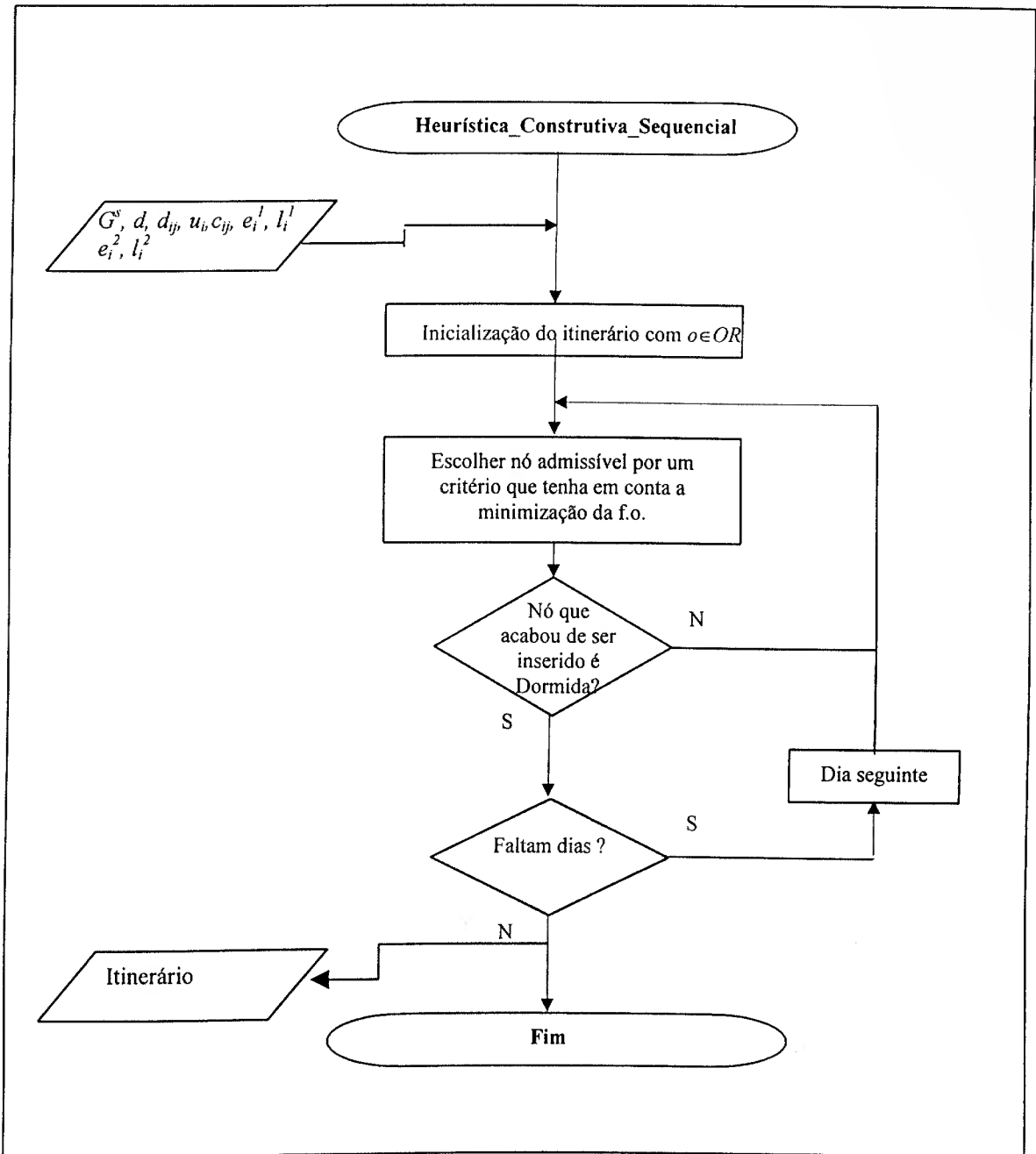
Esta heurística começaria por inicializar o itinerário para uma segunda-feira colocando como primeiro nó do itinerário um nó do conjunto *OR*, que já vimos neste caso ser único. Depois de inicializado ir-se-ia progressivamente inserindo um elemento no final do itinerário corrente escolhido com base em vários factores:

- admissibilidade de visita: ainda não foi visitado, a não ser que seja um restaurante ou uma dormida;
- admissibilidade temporal e aqui estão inerentes três condições: a primeira é verificar se o nó funciona no dia corrente, a segunda é verificar se ainda é possível visitá-lo dentro do seu horário de funcionamento, tendo em conta que são permitidos tempos de espera e a terceira é garantir que a visita a esse nó não impossibilita as visitas obrigatórias aos restaurante e às dormidas;
- minimização dos custos de viagem e maximização da utilidade.

A construção terminaria quando fosse inserido um nó dormida no último dia e voltar-se-ia ao nó origem/destino do itinerário com um custo de viagem nulo. Sempre que fosse inserido no itinerário um nó dormida e sem atingir o limite de dias de duração do mesmo, proceder-se-ia à inicialização de um novo dia.

Este algoritmo encontra-se esquematizado na página seguinte, na figura n.º 8, onde é apresentado o respectivo fluxograma.

FIGURA N.º 8 – FLUXOGRAMA DA HEURÍSTICA CONSTRUTIVA SEQUENCIAL



Embora esta heurística fosse de fácil implementação, a qualidade das soluções não seria boa. Isto porque, o itinerário desenhado por esta heurística apresentaria nos primeiros dias, a visita a pontos turísticos não muito afastados e de uma extrema importância e interesse, e nos últimos dias seriam visitados pontos mais pobres. Esta heurística não chegou assim a ser implementada.

Para garantir uma solução mais equilibrada em termos de visitas em todos os dias, optou-se por uma outra metodologia de resolução, também não exacta, do problema.

Considerou-se a resolução deste problema em dois níveis. O primeiro nível consiste em obter através de heurísticas construtivas uma grande diversidade de subitinerários para cada um dos dias da semana, de tal modo que a reunião dos subitinerários para um determinado dia abranja, quase na sua totalidade, os pontos turísticos do problema em funcionamento nesse dia. Neste nível a rede é ampliada de modo que cada nó tenha um número de cópias dependendo do número de dias da semana que se encontra em funcionamento.

Todos os subitinerários têm um nó origem e um nó destino, é no entanto necessário fazer uma distinção entre os subitinerários construídos para uma segunda-feira e os que são construídos para os outros dias da semana. Um subitinerário construído para uma segunda-feira inclui a *intertrip* realizada de um nó início (nó de *OR*), para um nó origem escolhido do conjunto N , um subitinerário construído para um outro dia da semana ($s \neq 1$) não inclui as *intertrips*, que nestes casos serão as viagens realizadas entre um nó destino do dia anterior e nó origem escolhido do conjunto de N . Resumindo, a diferença entre os subitinerários de segunda-feira e os dos outros dias da semana, reside no facto dos primeiros serem construídos com um nó início seguido pelo nó origem (*intertrip*) e dos outros serem construídos apenas com o nó origem, ficando a determinação da *intertrip* para o segundo nível desta resolução, pois depende do subitinerário do dia anterior.

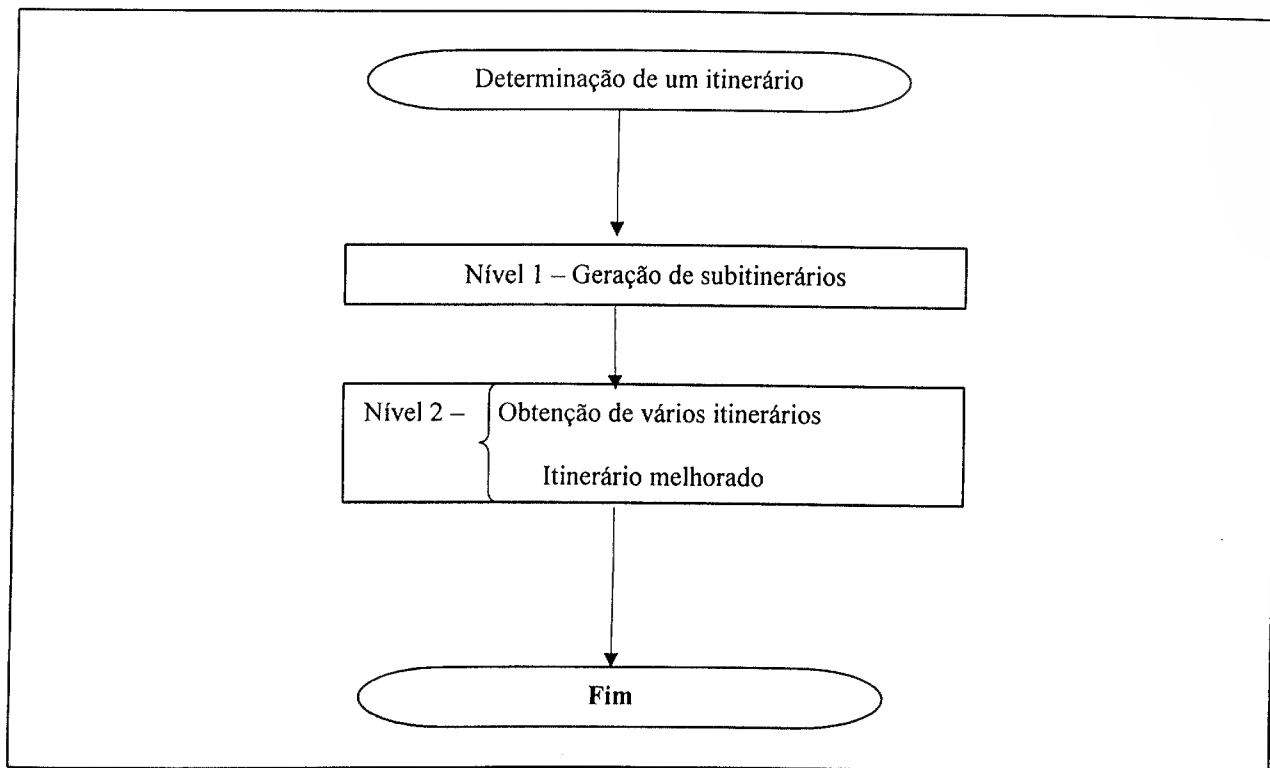
Podemos então dizer, que neste primeiro nível se pretende construir um conjunto diversificado de subitinerários para todos os dias, de modo a permitir uma cobertura quase completa dos pontos turísticos em funcionamento num dado dia da semana. Esta construção tem por objectivo a minimização dos custos de viagem, mas obriga os subitinerários a apresentarem um valor não muito baixo de utilidade e a verificarem sempre todas as restrições temporais.

Na construção de subitinerários para os vários dias de uma semana, utilizam-se duas heurísticas construtivas sequenciais desenvolvidas à semelhança das apresentadas por Solomon [1987] para o PRJT. Uma primeira é a **Heurística do Vizinho Mais Próximo**, e a segunda é a **Heurística de Inserção**.

Num segundo nível pretende-se obter a partir dos subitinerários gerados no nível anterior uma solução admissível para o PDIT isto é, um itinerário.

Na figura n.º 9, apresentada abaixo, podem ser identificados os dois níveis que constituem a metodologia aqui apresentada para a resolução do PDIT.

FIGURA N.º 9 – METODOLOGIA PARA OBTENÇÃO DE UMA SOLUÇÃO PARA O PDIT



No segundo nível, constroem-se vários itinerários diferentes com duração de d dias, com base nos subitinerários da fase anterior. A construção dos itinerários é feita por uma heurística construtiva, que introduz um factor aleatório de modo a garantir alguma diversidade. Seguidamente, utiliza-se uma heurística melhorativa, apresentada por Rochat e Taillard para o PRJT – **Heurística de Diversificação e Intensificação** – com a qual se pretende obter, a partir dos vários itinerários gerados para o PDIT, uma solução melhorada.

3.3 DETERMINAÇÃO DE SUBITINERÁRIOS

Pretende-se determinar itinerários turísticos com a duração de um dia – subitinerários – para todos os dias da semana, cada um deles com um custo baixo e permitindo ao utilizador uma visita a um número elevado de pontos turísticos, proporcionando alguma utilidade ou satisfação, e respeitando as restrições temporais. Não se entra explicitamente em linha de conta com a maximização da utilidade na construção dos subitinerários, apenas se força, como veremos mais adiante, o preenchimento de manhãs, nunca começando a primeira visita depois das 10:00, de modo a que a utilidade seja no mínimo satisfatória.

Foi mencionado atrás a presença de janelas temporais discretas no PDIT, pois por um lado existem certos pontos turísticos e restaurantes que não funcionam em alguns dias da semana e por outro a maioria dos pontos turísticos apresentam janelas temporais diárias não contínuas nomeadamente uma janela antes de almoço e outra após almoço. É de notar também que os seus horários dependem do dia em que estamos a considerar o planeamento. Por exemplo, a Igreja de Santa Maria de Marvila está aberta todos os dias com excepção da segunda-feira de cada semana, apresentando o seguinte horário: de terça-feira a sexta-feira 9:30/12:30 e 14:00/18:00, e de sábado a domingo 9:30/12:30 e 14:00/17:30.

A decomposição em subitinerários diários vem contornar parcialmente este problema porque o planeamento se faz dia a dia. As heurísticas para determinação de subitinerários exigem a criação para cada nó de múltiplas cópias, dependendo do número de dias de funcionamento desse nó e tal que cada cópia funcione apenas num determinado dia da semana. Esta ideia de replicação dos nós foi utilizada por Russel e Igo [1979] para a resolução de um problema de rotas que envolve a afectação dos clientes a visitar aos dias da semana, tendo em conta que um dado cliente da rede terá que ser visitado com uma frequência de n ($n \leq 7$) vezes por semana. Não é esse o propósito do PDIT, pois cada nó $i \in N'$ só poderá ser visitado no máximo uma vez durante o itinerário, no entanto a ideia de replicação dos nós ficou.

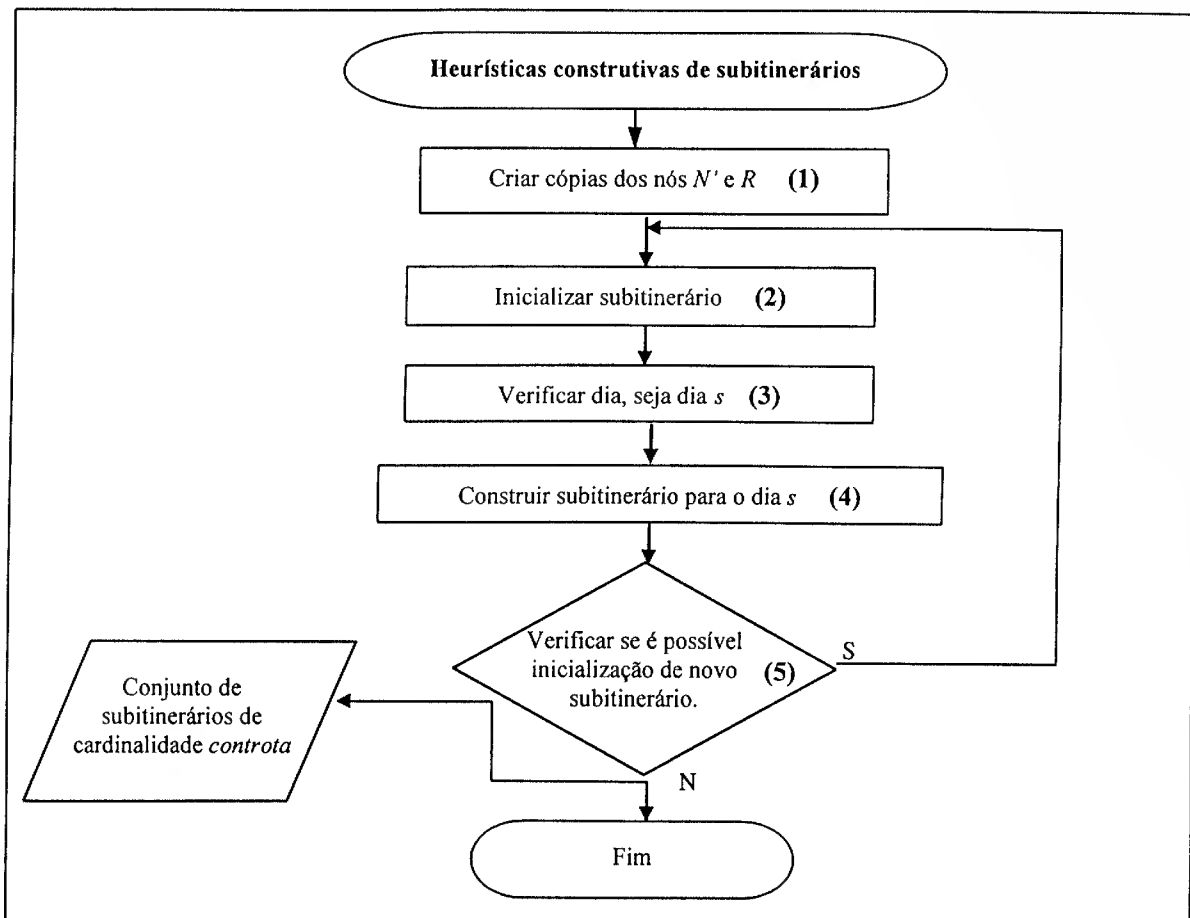
Em resumo, a rede disponível será ampliada para a construção de subitinerários contendo vários nós que são cópias de um mesmo nó, logo com as mesmas características, nomeadamente a utilidade, a identificação, a localização e o tipo de nó. Contudo há diferenças ao nível de restrições temporais, pois cada cópia funciona a um determinado dia da semana, podendo existir horários de funcionamento diferentes para cópias do mesmo nó. Voltando ao exemplo mencionado atrás da Igreja de Santa Maria de Marvila, serão criadas seis cópias desse nó cada uma para um dado dia da semana, com excepção da segunda-feira, que é o dia em que a igreja não se encontra aberta, apresentando todas as mesmas características, com excepção dos horários de funcionamento pois, por exemplo, a cópia de terça-feira pode ser visitada até às 18:00 enquanto a cópia de sábado só pode ser visitada até às 17:30.

Neste caso, o conjunto N' é ampliado, dando lugar ao conjunto N'' , representante das cópias dos recursos turísticos a visitar para cada dia da semana, o mesmo acontecendo com o conjunto R que dá lugar ao conjunto R' . Relativamente ao conjunto D não é feita qualquer cópia dos nós pois assume-se que os nós dormida estão em funcionamento todos os dias da semana e com o mesmo horário (ver referência (1) na figura n.º10).

A determinação de subitinerários será feita utilizando heurísticas para o problema de rotas com janelas temporais com algumas adaptações para este caso, nomeadamente a admissibilidade de visita a um nó não será exclusivamente temporal, como veremos adiante.

No seguinte fluxograma encontra-se esquematizado de uma forma geral o funcionamento das heurísticas construtivas dos subitinerários.

FIGURA N.º 10 – FLUXOGRAMA DAS HEURÍSTICAS CONSTRUTIVAS DE SUBITINERÁRIOS



3.3.1 HEURÍSTICA DO VIZINHO MAIS PRÓXIMO

A heurística aqui apresentada como a Heurística do Vizinho Mais Próximo, resulta de uma adaptação de uma heurística sequencial, explorada por Solomon [1987] e designada como a heurística do vizinho mais próximo orientada para restrições temporais.

No contexto do PDIT cada subitinerário k não diz respeito a uma rota para um determinado veículo, como é usualmente apresentado nas heurísticas para o PRJT, mas sim a um percurso para um determinado dia da semana, sendo construídos vários subitinerários disjuntos para o mesmo dia da semana. A construção de subitinerários disjuntos não é uma imposição deste problema mas sim do PRJT com vários veículos, no entanto, como as heurísticas aqui utilizadas são uma adaptação das heurísticas para o PRJT os subitinerários aqui obtidos serão também disjuntos, sendo até vantajoso pois, permite garantir alguma diversidade nos subitinerários construídos.

A heurística começa por seleccionar o nó origem $o(k)$ para um determinado subitinerário k e verificar o dia s de funcionamento desse nó (ver referência (3) na figura n.º11). Este nó é escolhido aleatoriamente no conjunto de pontos turísticos pertencentes a N'' , ainda não visitados em outros subitinerários e admissíveis para origem ($o(k) \notin \text{NadOrig}$)⁵. As condições de admissibilidade para origem estão relacionadas com as janelas temporais dos candidatos a nó origem do subitinerário, pois o início da visita à origem terá que ser entre as 8:30 e as 10:00 da manhã.

Resumindo $o(k) \in N''$ é admissível para nó origem de um subitinerário se e só se, $[e_{o(k)s}^l, l_{o(k)s}^l] \cap [510, 600] \neq \emptyset$ e ainda não foi visitado noutra subitinerário. No entanto, para um nó (cópia) que funciona a uma segunda-feira, terá que se verificar uma restrição adicional, relativa à *intertrip*. Como já foi referido anteriormente, o ponto de partida de cada itinerário terá lugar num ponto de *OR*, e será sempre a uma segunda-feira de uma determinada semana, como tal o nó origem $o(k)$ de um subitinerário para segunda-feira não poderá estar muito distante deste ponto – nó início. A condição imposta no algoritmo de forma a garantir esta restrição, será aceitar como origem para uma segunda-feira apenas os nós, que verificando a condição acima, a sua distância ao ponto de *OR*, não seja superior a 70 km, de modo a garantir que o primeiro nó a ser visitado, não o seja depois das 10:00 da manhã, arbitrando que o início da partida num ponto $o \in OR$ ($o \neq o(k)$) será às 9:00 da manhã e que a velocidade média é de 70 Km/h, sendo assim, o tempo de início da visita ao nó origem $o(k)$ é dado pela seguinte expressão – $\max \{540 + t_{oo(k)}, e_{o(k)s}^l\}$.

A escolha aleatória de um nó $o(k)$ para origem, deverá ter em conta que os nós com maior número de cópias, são os mais fáceis de escalonar. Logo, para uniformizar a escolha de um nó de $o(k) \in N''$ vai ser atribuído um peso probabilístico; com base neste peso atribuído a cada nó, é seleccionado um determinado nó para origem.

$$P_{o(k)} = \frac{1}{\#N''} \times \frac{1}{\text{n}^\circ \text{ de cópias do original de } o(k)}$$

O tempo de início do subitinerário k para o dia $s \neq 1$ é dado pelo $\max\{510, e_{o(k)s}^l\}$ e corresponde ao tempo de início da visita ao nó origem $o(k)$.

⁵ Os nós não admissíveis para origem são colocados no conjunto *NadOrig*

Como foi referido anteriormente, após a escolha do nó origem de um subitinerário terá que se identificar qual o dia da semana s que o nó $o(k)$ (nó origem) corresponde, pois este é cópia de um nó de N' para um dia específico s . A partir daqui, e até terminar o subitinerário k , os nós passíveis de visita são apenas aqueles que funcionam no dia s .

Depois de inicializado o subitinerário para o dia s , k^s , isto é, realizada a escolha aleatória de um nó admissível para origem, inicialização da rota com esse nó, actualização do conjunto $N''(N''=N' \setminus \{o(k)\})$ e inicialização do tempo corrente, de acordo com as condições acima discutidas (ver referência (5) na figura n.º11), esta heurística vai em cada iteração pesquisar qual o nó adjacente admissível, dos passíveis de serem visitados, mais próximo relativamente ao último ponto que foi adicionado ao subitinerário e que não pertença ainda a nenhum subitinerário para o dia s . Neste contexto, convém referir que o conjunto dos nós adjacentes de um nó i , $Adj(i)$, é o conjunto de todos os nós j em funcionamento no dia s e tal que exista um arco na rede N^s do nó original correspondente a i ao nó original correspondente a j .⁶

A expressão de m_{ij} , aqui utilizada para definir a proximidade entre os nós, foi sugerida por Solomon [1987] para definir o vizinho mais próximo de um dado ponto i , e apresenta a particularidade, tal como o próprio autor refere, de conjugar duas variáveis fulcrais neste tipo de problema: a **variável geográfica** e a **variável temporal**. O m_{ij} (sendo i um nó do subitinerário e j um candidato a entrar no subitinerário) é calculado com base, na distância entre i e j (d_{ij}), no carácter de urgência do ponto j (u_{ij}), se vier do ponto i , e no tempo de espera num nó j (T_{ij}), se vier do ponto i . Assim, define-se para todos os pontos j que podem ser visitados a partir do nó i :

$$(3.1) \quad u_{ij} = l_j - (T_i + dv_i + t_{ij}),$$

onde l_j representa o limite superior da janela temporal em causa, e T_i o instante do início da visita a i , o nó será tanto mais urgente quanto menor é u_{ij} ;

$$(3.2) \quad T_{ij} = T_j - (T_i + dv_i + t_{ij}),$$

que representa a diferença entre o início da visita ao nó j e o instante de chegada a esse nó (convém distinguir T_{ij} , que corresponde ao tempo de espera no nó j , de t_{ij} , tempo de duração da viagem do nó i para o nó j).

⁶ Os nós i e j são cópias dos nós originais.

O valor de m_{ij} é definido formalmente como uma combinação linear da distância, da urgência e do tempo de espera, o que significa que o vizinho mais próximo do nó i será aquele que apresentar uma combinação menor. No entanto os ponderadores δ_1 , δ_2 e δ_3 permitem dar um peso diferente a estes valores, consoante os objectivos propostos:

$$(3.3) \quad m_{ij} = \delta_1 d_{ij} + \delta_2 u_{ij} + \delta_3 T_{ij}$$

sendo δ_1 , δ_2 , δ_3 os pesos de cada uma das componentes, tais que $\delta_1 + \delta_2 + \delta_3 = 1$, $\delta_1 \geq 0$, $\delta_2 \geq 0$, $\delta_3 \geq 0$.

Neste trabalho, a definição de m_{ij} é utilizada com uma ligeira modificação que consiste em considerar mais um factor, quando o nó i corresponde a um restaurante, dado pelo número de nós adjacentes do restaurante. Pois sendo o nó restaurante obrigatório e podendo ser visitado mais do que uma vez, o factor número de nós adjacentes é particularmente importante nestes casos, dado que a escolha de um restaurante torna-se mais atractiva quanto maior é a oferta de pontos turísticos que podem ser visitados a partir deste.

Assim, para os casos em que i é um restaurante m_{ij} fica definido pela seguinte expressão:

$$(3.4) \quad m_{ij} = \delta_1 d_{ij} + \delta_2 u_{ij} + 2/3 \delta_3 T_{ij} + 1/3 \delta_3 \#Adj(i)$$

e para os outros casos continua a ser utilizada a expressão (3.3).

Depois de escolhido o nó mais próximo do último nó inserido no subitinerário resta averiguar a sua admissibilidade. Quanto à **admissibilidade de ligação de um nó adjacente**, seja o i , exige a verificação de várias condições:

- **Admissibilidade temporal** – O tempo de chegada ao nó i , terá que ser inferior ou igual a pelo menos um dos limites superiores das janelas temporais do nó, ou de outra forma, o T_i – variável que representa o instante do início da visita ao nó i – terá que pertencer a pelo menos uma das janelas temporais (manhã ou tarde) desse nó.
- **Admissibilidade de Almoço** – Significa que a visita ao nó i não vai inviabilizar a visita obrigatória a um restaurante, para almoço. Esta condição pode ser traduzida da seguinte forma:

Se $(T_i + dv_i \geq 750)$ e $(i \notin R')$ e (não existe restaurante no subitinerário) Então

{Verificar se é admissível de almoço}

Se Existe $r \in R'$ adjacente de i e $(T_i + dv_i + t_{ir} \leq 870)$ Então

Admissível de Almoço = Sim

Senão

Admissível de Almoço = Não

Senão

Não é necessário verificar a admissibilidade de almoço

Fim

- **Admissibilidade de Dormida** – Significa que a visita ao nó i não vai inviabilizar o término obrigatório do subitinerário k num ponto $d(k) \in D$. Esta condição pode ser traduzida da seguinte forma:

Se $(T_i + dv_i \geq 1140)$ e $(i \notin D)$ Então

{Verificar se é admissível de dormida}

Se Existe $d(k) \in D$ nos adjacentes de i e $(T_i + dv_i + t_{id(k)} \leq 1230)$ Então

Admissível de Dormida = Sim

Senão

Admissível de Dormida = Não

Senão

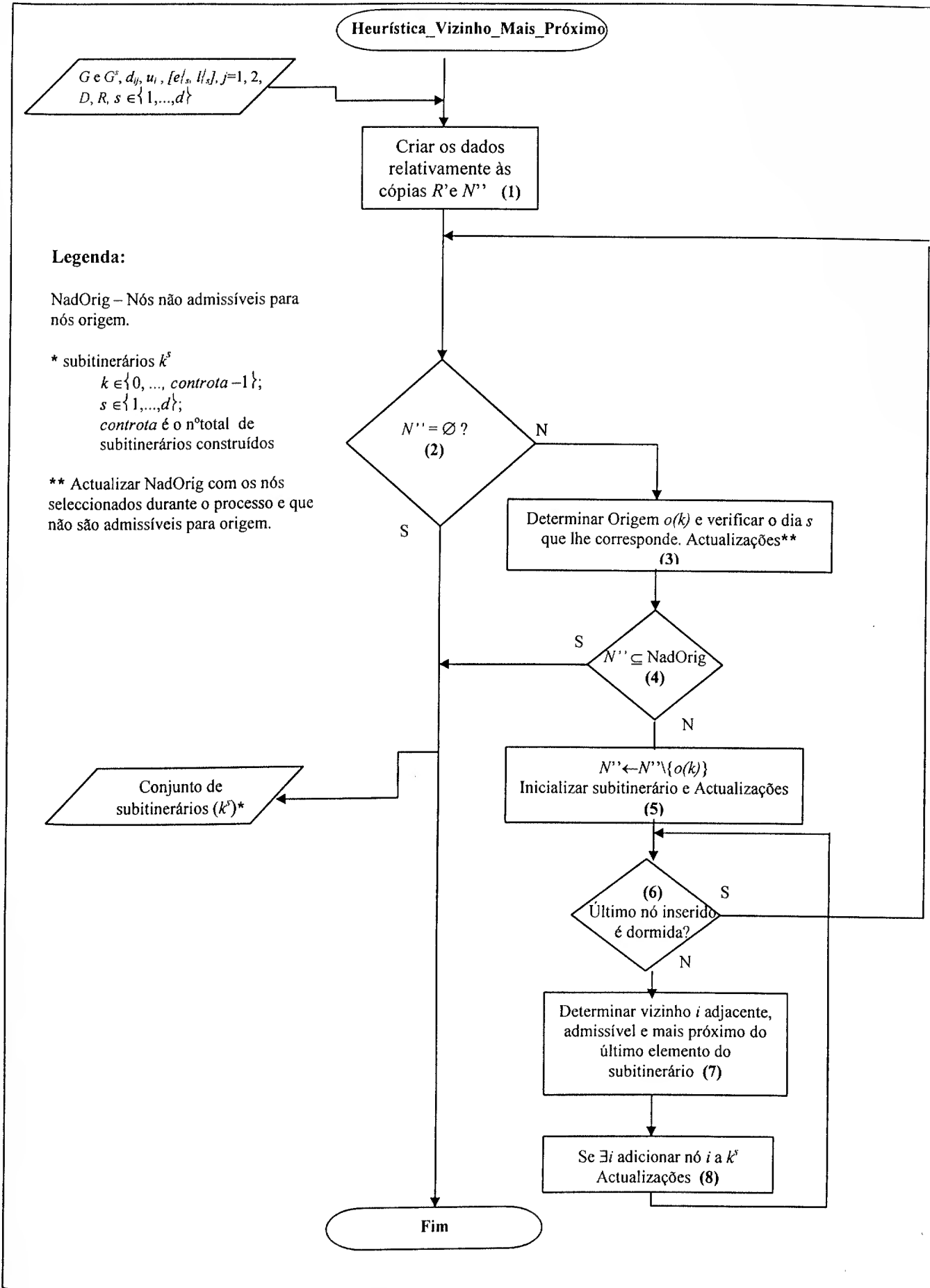
Não é necessário verificar a admissibilidade de dormida

Fim

Caso o nó escolhido seja admissível então é inserido na última posição do subitinerário corrente senão escolhe-se um outro nó. Este algoritmo termina a construção de um subitinerário logo após ter sido inserido um nó destino do subitinerário, ou seja uma dormida (ver referência (6) na figura n.º11).

Um novo subitinerário é iniciado cada vez que o último elemento inserido seja um nó dormida, a não ser que não haja mais nós em N'' para visitar, $N'' = \emptyset$ (ver referência (2) na figura n.º11), ou que não haja nós em N'' admissíveis para inicializar um novo subitinerário, que corresponde a verificar a condição $N'' \subseteq \text{NadOrig}$ (ver referência (4) na figura n.º11), nesse caso terminamos, tendo como *output* vários subitinerários para todos os dias da semana e que cobrem quase todos os pontos de N'' . Os subitinerários obtidos para o mesmo dia da semana são disjuntos entre si, com relação aos pontos turísticos a visitar.

FIGURA N.º 11 – FLUXOGRAMA DA HEURÍSTICA DO VIZINHO MAIS PRÓXIMO



3.3.2 HEURÍSTICA DE INSERÇÃO

A Heurística de Inserção tem por objectivo maximizar o benefício de inserir um nó, ainda não visitado, num subitinerário em construção em vez de ter um subitinerário de ligação directa desse nó à origem.⁷

Tal como no caso anterior os subitinerários serão construídos sequencialmente, mas agora, com a possibilidade de inserção do nó escolhido em qualquer posição do subitinerário, e não exclusivamente no fim. Sendo assim, depois de realizada a inicialização do subitinerário, que será apresentada abaixo, este método vai calcular, em cada iteração, para todos os nós ainda não visitados dois valores, c_1 e c_2 .

Um subitinerário k para o dia s é inicializado com um nó origem (no caso de ser para uma segunda-feira terá ainda o nó origem/destino do itinerário) com um restaurante e com uma dormida. Este processo é descrito de seguida de uma forma muito sucinta, podendo também ser consultado o pseudo-código mais detalhado no anexo 1.

Inicialização de um subitinerário k (ver referência (3) na figura n.º12)

Os Passos 1 e 2 apresentados a seguir são uma repetição do processo de inicialização descrito na heurística anterior.

Passo1 – Seleccionar aleatoriamente um nó $o(k)$ da rede, do mesmo modo que é realizado na heurística anterior, ainda não visitado e que pertença à lista dos nós admissíveis para origem

Passo2 – Se o nó escolhido pertencer a N^l (funciona a uma segunda-feira) Então

Se é admissível para origem de segunda-feira⁸ Então

Inicializar subitinerário k com $o \in OR$

Inserir $o(k)$ no subitinerário k

Senão Voltar ao Passo1 e adicionar $o(k)$ à lista dos nós não admissíveis para origem (NadOrig)

Senão

⁷ Ideia muito semelhante à heurística de Clarke & Wright apresentada na secção 3.1.

⁸ A admissibilidade para origem é muito mais restritiva no caso em que o dia da semana é uma segunda-feira, como já havia sido mencionado na heurística anterior.

Se é admissível para origem Então

Inserir $o(k)$ no subitinerário k

Senão Voltar ao Passo1 e adicionar $o(k)$ à lista dos nós não admissíveis para origem (NadOrig)

Passo3 – Escolher um nó restaurante r adjacente a $o(k)$ que funcione no dia s usando o critério do restaurante mais afastado do nó origem do subitinerário com algumas limitações (a distância a $o(k)$ não pode ser superior a 60 km)

Inserir r no subitinerário k

Passo 4 – Escolher um nó destino $d(k)$ adjacente a $o(k)$ e a r , e o mais próximo do nó origem

Inserir $d(k)$ no fim do subitinerário k

Fim

Depois de inicializado o subitinerário k para o dia s , segundo a descrição anterior, são inseridos pontos turísticos de acordo com c_1 e c_2 .

O melhor local de inserção de um nó, está relacionado com o valor c_1 , é calculado com base na minimização da distância adicional – c_{11} – (ver equação 3.7) e o tempo adicional – c_{12} – (ver equação 3.8) necessário para incluir esse nó no subitinerário, c_1 utiliza então estes dois factores distintos para calcular o melhor local de inserção de um nó u no subitinerário corrente (tal como se vê em 3.5 e 3.6).

O primeiro valor, c_1 , tem pois por objectivo fornecer para cada nó o melhor local de inserção deste no subitinerário em construção. O melhor local é seleccionado entre todas as posições de inserção admissíveis, como sendo aquele a que corresponde o menor valor de c_1 (ver referência (6) na figura n.º12). Considerando $(i_0, i_1, i_2, \dots, i_m)$ o subitinerário corrente, o melhor local de inserção de um nó u é dado por

$$(3.5) \quad c_1(i(u), u, j(u)) = \min_{p=1, \dots, m} \{c_1(i_{p-1}, u, i_p)\}$$

tal que,

$$(3.6) \quad c_1(i_{p-1}, u, i_p) = \gamma_1 c_{11}(i_{p-1}, u, i_p) + \gamma_2 c_{12}(i_{p-1}, u, i_p), \quad \gamma_1 + \gamma_2 = 1 \quad \gamma_1 \geq 0, \gamma_2 \geq 0$$

fazendo $i_{p-1} = i$ e $i_p = j$, define-se

$$(3.7) \quad c_{11}(i, u, j) = d_{iu} + d_{uj} - \mu d_{ij}$$

$$(3.8) \quad c_{12}(i, u, j) = T_{j_u} - T_j$$

onde T_{j_u} representa o novo tempo de início da visita ao nó j depois da inserção do nó u sendo, $\mu \geq 0$ o peso associado à estabilidade, de não incluir o nó u no subitinerário em construção.

A **admissibilidade de inserção** do nó u entre o nó i e o nó j num subitinerário k para o dia s , a que foi feita referência no parágrafo anterior, é encarada em duas vertentes por um lado terão que existir ligações admissíveis (i, u) e (u, j) (iguais às que foram apresentadas para os arcos de G^s) e por outro terá que se verificar uma admissibilidade temporal desta inserção. Esta última é muito mais complexa quando comparada com os testes de admissibilidade temporal da heurística anterior. Isto porque a inserção de um nó quando feita em posições, que não a última, pode implicar alterações nos tempos de início das visitas nos nós que sucedem à posição de inserção, podendo mesmo inviabilizar essas visitas.

Em Solomon [1987] é apresentada uma **condição necessária e suficiente** para garantir a **admissibilidade temporal** de inserção de um dado cliente u numa determinada posição da rota corrente, que passamos agora a apresentar.

Consideremos o subitinerário corrente $(0, 1, 2, \dots, m)$, sendo T_i o tempo de início da visita ao nó i , $\forall i \in \{0, 1, \dots, m\}$. Supondo que se pretende inserir o cliente u entre os clientes $p-1$ e p , $1 \leq p \leq m$ no subitinerário corrente acima mencionado. Considere-se $T_{p_{new}}$ o novo tempo de início da visita ao nó p depois da inserção do nó u entre $p-1$ e p e w_r o tempo de espera em r para todo o r tal que $p \leq r \leq m$. Assumindo que se verifica a desigualdade triangular para os tempos e para as distâncias, a partir desta inserção define-se uma variável **PF - Push Forward** - tal que,

$$(3.9) \quad PF_p = T_{p_{new}} - T_p \quad \text{e} \quad PF_{r+1} = \max\{0, PF_r - w_{r+1}\}, \quad p \leq r \leq m.$$

É fácil de perceber que se $PF_p > 0$, alguns dos clientes r , $p \leq r \leq m$, da rota corrente poderão tornar-se não admissíveis. Como tal, depois de inserir um cliente no subitinerário, é necessário analisar a admissibilidade de todos os clientes que o sucedem

até que, o $PF_r \leq 0$ para $r < m$ ou que r seja não admissível, ou ainda, no pior caso em termos de testes computacionais, todos os clientes da rota em construção tenham sido examinados.

Solomon [1987] provou assim o seguinte lema que traduz uma condição necessária e suficiente para inserção de um cliente numa rota em construção.

Lema 3.1: Uma condição necessária e suficiente para garantir admissibilidade temporal de inserção de um cliente u entre os clientes i_{p-1} e i_p , $1 \leq p \leq m$, numa rota em construção $(i_0, i_1, i_2, \dots, i_m)$, $i_0 = i_m = 0$ é dada por

$$T_u \leq l_u \text{ e } T_{i_r} + PF_{i_r} \leq l_{i_r}, p \leq r \leq m.$$

Nesta condição não aparece o limite inferior da janela temporal do nó u pois é permitido esperar para iniciar a visita a um nó.

A heurística adaptada para o PDIT baseia-se nos resultados acima apresentados embora não use o parâmetro w_r , e como tal não utiliza exactamente as variáveis PF .

A seguir é apresentado de uma forma sucinta o funcionamento da admissibilidade temporal nesta heurística:

- **Admissibilidade Temporal** – Tem por objectivo verificar a admissibilidade temporal para o nó u , e depois verificar, a admissibilidade para os restantes nós da rota a seguir ao u , parar esta verificação se:

1. encontrou um nó não admissível temporalmente, logo a inserção não é válida;
2. não existe alteração do tempo da visita a um nó i , isto é,

$$T_{i_{new}} = T_i$$

então parar porque a inserção é admissível, o que corresponde a ter $PF = 0$; $r \geq i$

3. chegou ao fim do subitinerário, logo a inserção é válida.

O pior dos casos (caso 3), como já foi referido atrás, corresponde a ter de verificar a admissibilidade temporal para todos os nós do subitinerário.

O valor de c_2 , obtém-se calculando a diferença entre os custos de ter um subitinerário com apenas o nó u e os custos de inserir o nó u no mesmo subitinerário de i e j . Os custos estão associados a uma componente geográfica e a uma componente temporal sendo portanto, calculados em termos da distância adicional e do tempo adicional dado esta inserção.

Sendo assim c_2 , determina o melhor cliente u a ser inserido na rota em construção, escolhendo-se u como o cliente que maximiza o valor de c_2 dado por:

$$(3.10) \quad c_2(i(u^*), u^*, j(u^*)) = \max_u \{c_2(i(u), u, j(u))\},$$

o máximo é calculado para todo o u ainda não visitado e admissível e c_2 define-se como sendo

$$(3.11) \quad c_2(i(u), u, j(u)) = \lambda d_{o(k)u} - c_1(i(u), u, j(u)),$$

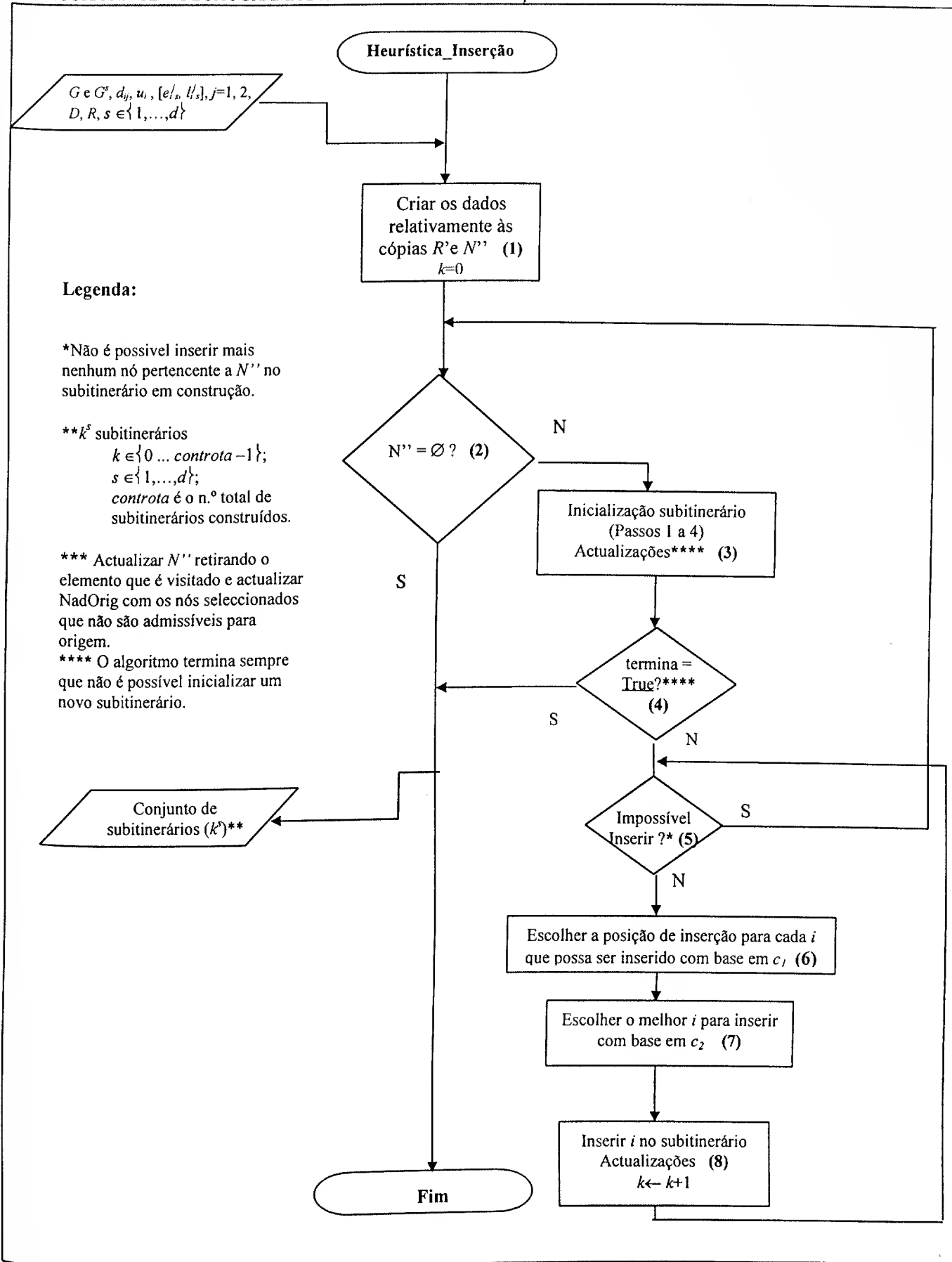
sendo $\lambda \geq 0$ representante do peso atribuído ao custo (em termos de distância) de ter um subitinerário onde o nó u e a origem se encontram directamente ligados, $d_{o(k)u}$ representa a distância entre o nó origem, $o(k)$, do subitinerário corrente e o nó u (ver referência (7) na figura n.º12).

Em resumo nesta heurística de inserção, o melhor local para inserir um nó u , ainda não visitado é aquele que minimiza a combinação da distância adicional e do tempo adicional ao ser inserido no subitinerário.

Depois de terem sido apresentados os critérios que levam à inserção de um ponto turístico⁹ num subitinerário em construção este processo é repetido até não ser possível encontrar mais nenhuma posição admissível no subitinerário k para os pontos turísticos ainda não inseridos (ver referência (5) na figura n.º12). Nesse caso, volta-se a inicializar um novo subitinerário, repetindo todos os passos acima mencionados. Pode, no entanto, acontecer que não existam mais pontos turísticos por visitar (referência (2) da figura n.º12), ou que não seja possível iniciar um novo subitinerário porque os nós ainda não visitados pertencem à lista dos nós não admissíveis para origem, nesta situação o algoritmo termina (referência (4) da figura n.º12).

⁹ Nesta heurística não são inseridos restaurantes nem nós dormidas, pois os subitinerários são inicializados já com estes nós.

FIGURA N.º 12 – FLUXOGRAMA DA HEURÍSTICA DE INSERÇÃO



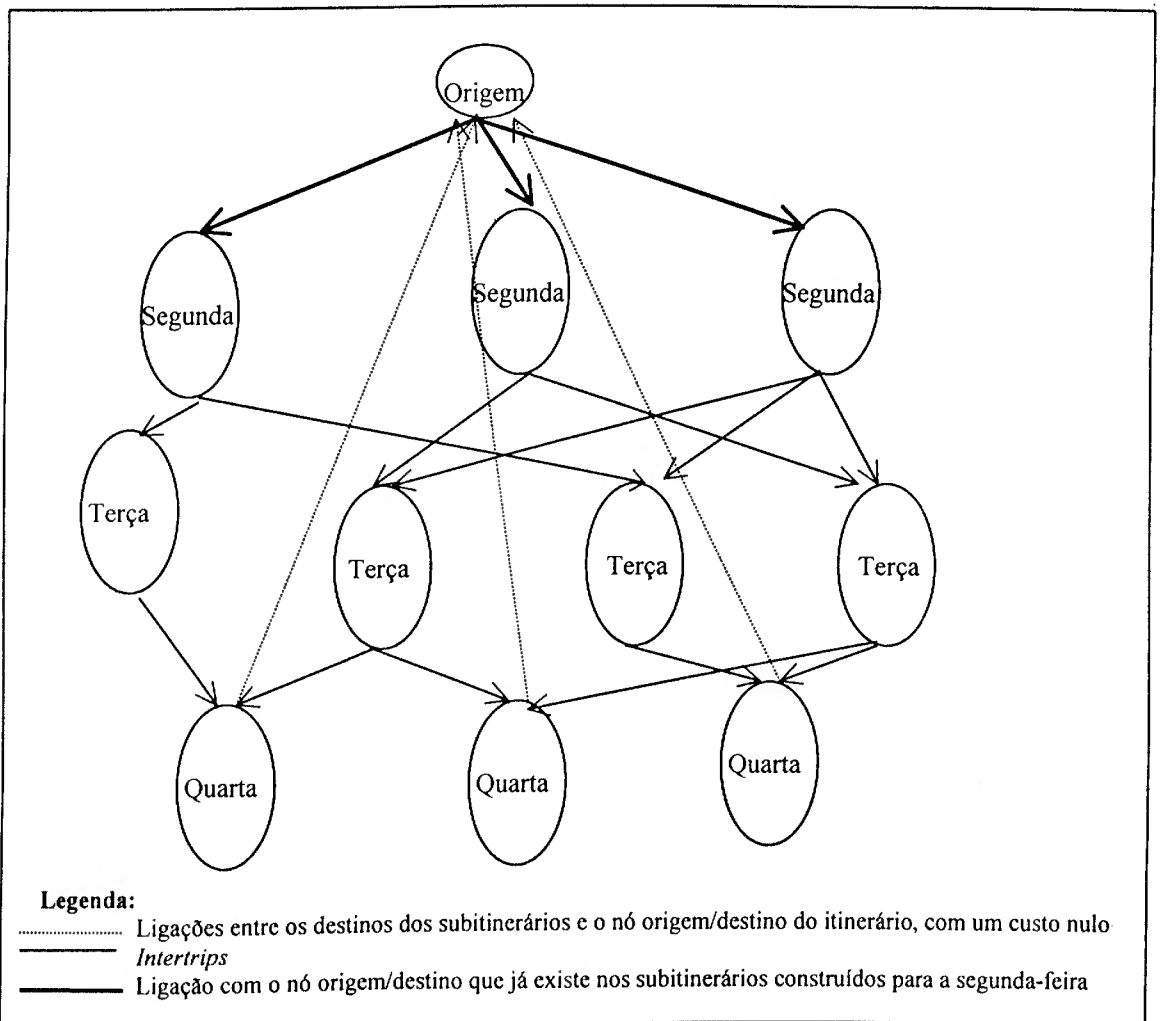
3.4 DETERMINAÇÃO DO ITINERÁRIO TURÍSTICO

3.4.1 HEURÍSTICA DESENHA ITINERÁRIO

A heurística construtiva do itinerário turístico, **Desenha Itinerário**, tem por objectivo construir a partir de diversos subitinerários um itinerário com uma duração de d dias que deverá ser admissível e apresentar baixos custos e utilidades elevadas. Esta heurística foi inspirada nas heurísticas utilizadas para os problemas de escalonamento de veículos apresentadas em Bodin et al. [1983], não sendo no entanto tão complexa como estas.

A rede utilizada para a determinação de um itinerário turístico é constituída por um conjunto de nós que podem ser classificados em dois níveis diferentes. Por um lado, nós representativos dos subitinerários já construídos pelas heurísticas anteriores e por outro, nó origem/destino do itinerário que corresponde ao ponto de partida do itinerário. Os arcos desta rede correspondem às ligações admissíveis entre os subitinerários e entre o nó origem/destino e os subitinerários (ver figura n.º 13).

FIGURA N.º 13 – REPRESENTAÇÃO DE POSSÍVEIS SOLUÇÕES ADMISSÍVEIS PARA O PDIT NO CASO PARTICULAR EM QUE A DURAÇÃO É DE TRÊS DIAS



Vamos agora definir os **arcos** desta rede.

A ligação entre o subitinerário i e o subitinerário j é um arco desta rede se e só se forem verificadas as seguintes condições:

- se o subitinerário i funciona no dia s e o subitinerário j funciona no dia $s+1$;
- a distância entre o nó destino do subitinerário i e o nó origem do subitinerário j permite o início da visita ao nó origem de j à hora estabelecida e de modo que o turista não tenha de sair do local onde pernitou antes das 8:00 (a.m.).

Além destas ligações existe uma ligação de qualquer subitinerário i que funcione no dia d (assumindo que o itinerário tem d dias de duração) ao nó origem/destino do itinerário com um custo nulo de modo a permitir o regresso do turista ao ponto de partida (ver figura n.º 13 onde $d=3$).

Esta heurística começa primeiro por seleccionar um subitinerário para o primeiro dia do itinerário global, que corresponde a uma segunda-feira, de uma dada semana. A escolha da segunda-feira pode ser feita, de duas formas.

A primeira, e talvez a mais natural, é escolher a segunda-feira que melhor contribua para a minimização da f.o. (ver referência (2) da figura n.º14). No entanto este procedimento é um procedimento *greedy*, podendo levar a soluções pouco interessantes do ponto de vista turístico. Como tal foi introduzida uma segunda alternativa que consiste em escolher aleatoriamente uma possível segunda-feira (ver referência (3) da figura n.º14). Esta segunda alternativa é também utilizada com o objectivo de garantir uma diversidade nos itinerários construídos.

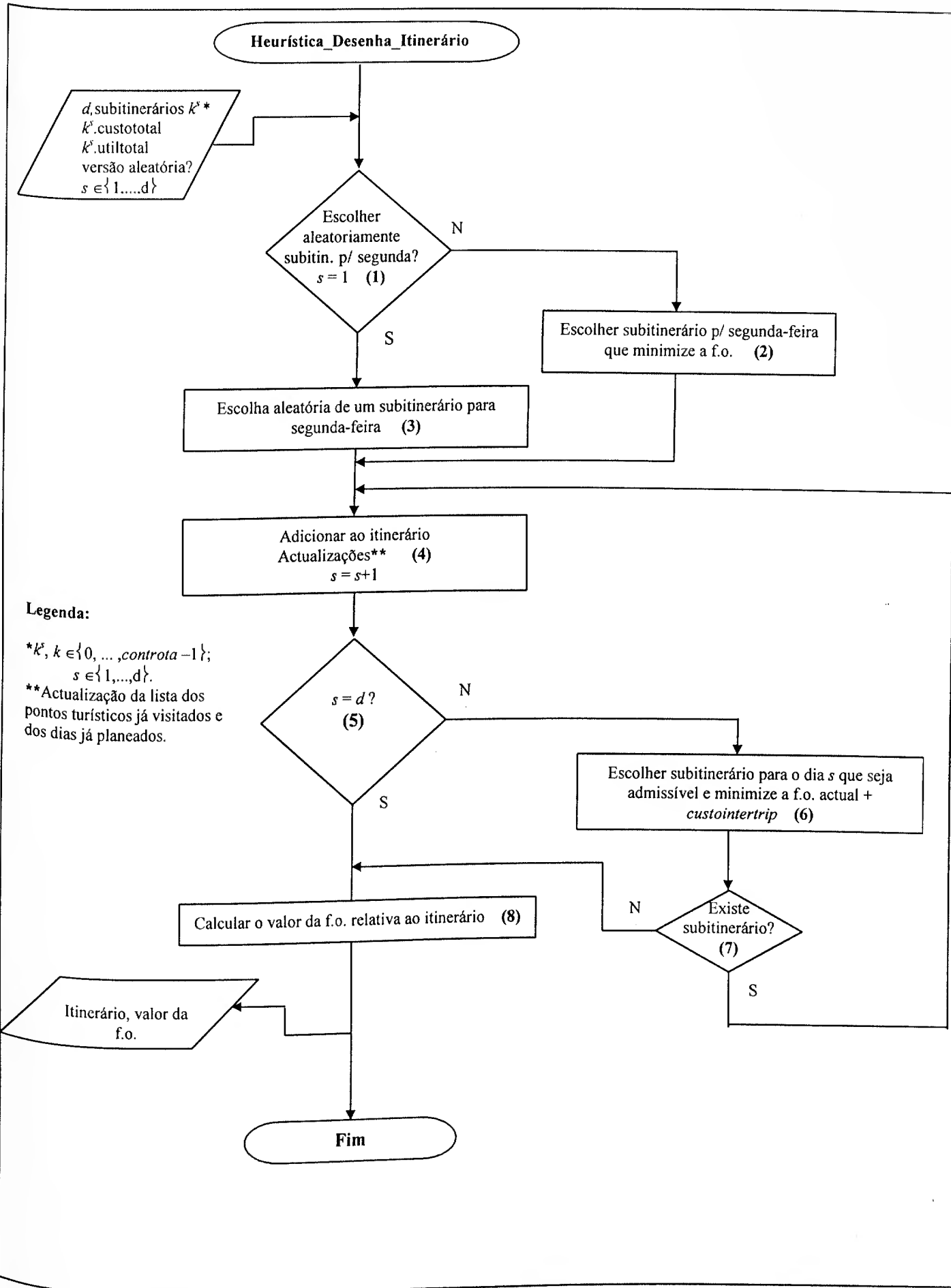
Depois de seleccionado um subitinerário para segunda-feira (utilizando uma das duas versões) passamos para uma segunda fase deste algoritmo que consiste em seleccionar um subitinerário i para o dia seguinte, $s + 1$, que seja admissível (ou seja tal que todos os pontos turísticos visitados até ao dia s não pertencem ao subitinerário i) e melhor contribua para a minimização da f.o., isto é, que tenha um elevado valor de utilidade e apresente custos reduzidos, quer relativos ao subitinerário quer relativos à *intertrip*.

Este processo de selecção continua até serem atingidos os d dias necessários para o itinerário (ver referência (5) da figura n.º14) ou não existir mais nenhum subitinerário que satisfaça as condições acima referidas. Neste caso o algoritmo termina sem ter conseguido construir um subitinerário com duração de d dias (ver referência (7) na figura n.º14).

O cálculo do valor da f.o. é feito a partir da utilidade total ponderada, que é igual ao somatório dos simétricos das utilidades dos subitinerários, e do custo total também ponderado, que é dado pela soma dos custos desses subitinerários mais os custos das viagens realizadas entre os nós dormida (nó início do subitinerário do dia seguinte) e os nós origem dos subitinerários (*custointertrip*). No caso do subitinerário de segunda-feira já foi incluído o *custointertrip*.

Em resumo o objectivo principal desta heurística é construir um itinerário admissível com uma duração máxima de d dias e com um baixo valor da f.o.. Na página seguinte é apresentado o fluxograma desta heurística construtiva.

FIGURA N.º 14 – FLUXOGRAMA DA HEURÍSTICA DESENHA ITINERÁRIO

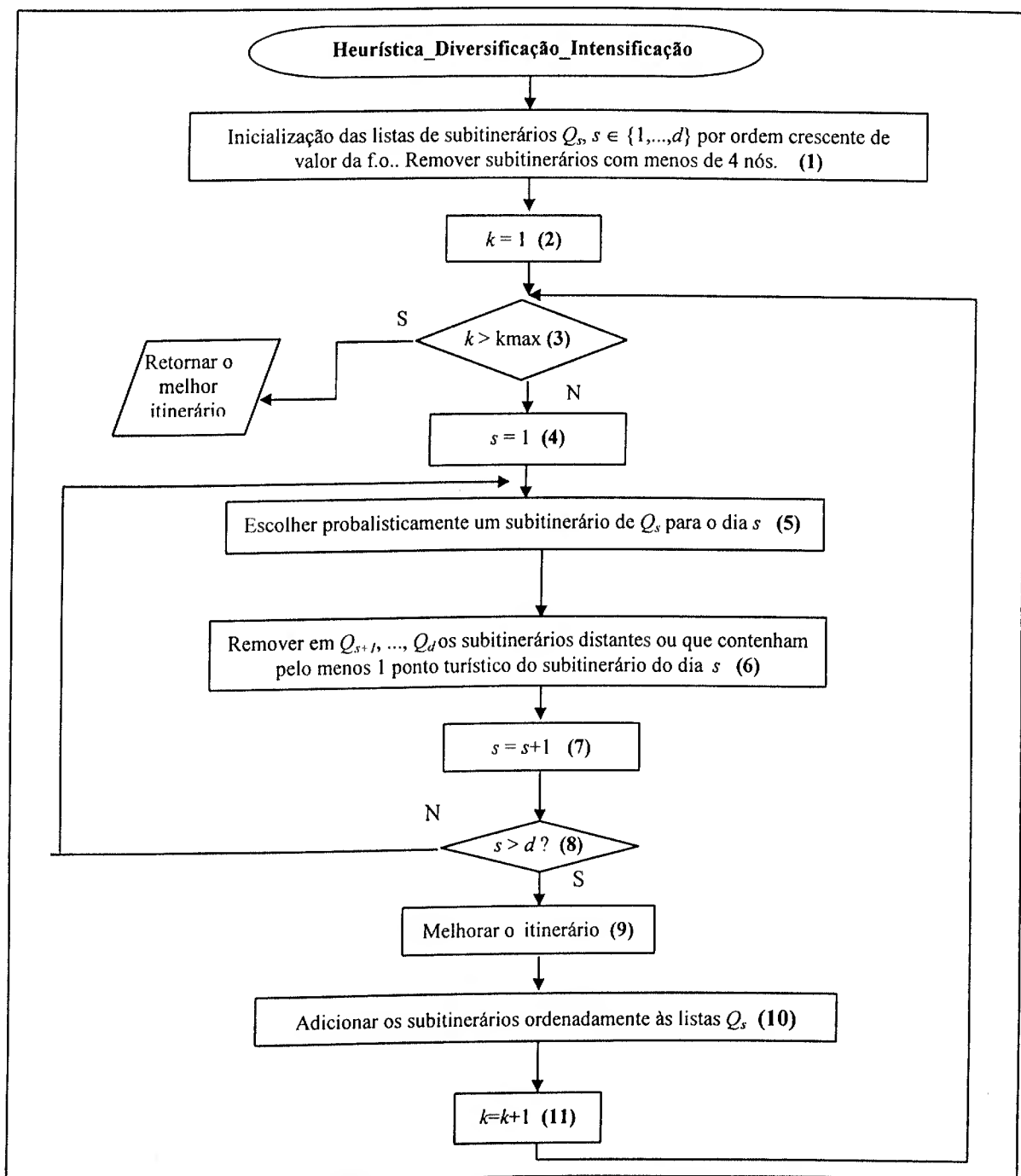


3.4.2 HEURÍSTICA DE DIVERSIFICAÇÃO E INTENSIFICAÇÃO

A heurística de Diversificação e Intensificação inspirada em Rochat e Taillard [1995], já referida atrás como um algoritmo poderoso, apresentando em alguns problemas excelentes resultados, irá ser utilizada para o PDIT (ver fluxograma na figura n.º15).

Esta heurística permite, em primeiro lugar, uma diversificação da pesquisa onde são exploradas soluções bastante diversas, em segundo uma intensificação da pesquisa onde se pretende obter uma solução localmente boa. Podemos portanto identificar aqui duas metodologias distintas, a **diversificação** e a **intensificação**.

FIGURA N.º 15 – FLUXOGRAMA DA HEURÍSTICA DE DIVERSIFICAÇÃO E INTENSIFICAÇÃO



A diversificação neste caso corresponde a gerar vários itinerários para o PDIT, o mais diversificados possível de modo que a informação necessária para criar soluções de elevada qualidade esteja nesse *input*. Os primeiros itinerários utilizados como *input* são obtidos a partir da Heurística Desenha Itinerário aplicada várias vezes. A utilização de factores aleatórios torna-se pois bastante relevante de modo a garantir a diversidade necessária para o bom funcionamento deste algoritmo.

De seguida os itinerários construídos para a mesma instância do problema serão desdobrados nos subitinerários que os constituem os quais serão colocados em listas Q_1, Q_2, \dots, Q_d consoante o dia para o qual foram planeados. A colocação nas listas é feita por ordem crescente do valor da função objectivo correspondente ao itinerário onde estavam inseridos (ver referência (1) na figura n.º15).

Só são considerados válidos subitinerários com mais de três nós, sendo um o restaurante e o outro o nó dormida. Isto porque se optou por não aceitar itinerários com muitos tempos livres nomeadamente manhãs livres.

É depois realizada uma extracção probabilística de um subitinerário para cada um dos vários dias que constituem o itinerário (global), dando maior peso probabilístico aos subitinerários “melhores”, isto é aos que tem menor valor da f.o. – fase de **intensificação** (ver referência (5) na figura n.º15).

Nesses casos volta-se a repetir a extracção. Estas extracções são realizadas até se obter um itinerário I constituído por d dias.

Este novo itinerário é sujeito a uma pesquisa local melhorativa reforçando assim a intensificação (ver referência (9) na figura n.º15). Relativamente à pesquisa melhorativa utilizada, optou-se por uma simples reavaliação do nó restaurante em cada um dos subitinerários, verificando se existiria ou não uma troca admissível com outro restaurante que se tornasse mais proveitosa, isto é que contribuísse com um valor menor para a f.o. Os subitinerários de I são colocados nas listas acima mencionadas por ordem crescente e respeitando as regras já referidas. Como estas listas têm um tamanho fixo é provável que ao fim de algumas iterações se tenha que retirar o último elemento das listas, que correspondem aos subitinerários com maior valor da f.o. (menos

interessantes). Este processo repete-se durante um n.º fixo de k_{max} iterações (ver referência (3) na figura n.º15).

Em trabalhos futuros poder-se-á explorar uma pesquisa melhorativa mais completa de modo que a solução obtida no final de cada iteração seja muito mais melhorada.

De seguida é apresentada uma descrição deste algoritmo, sendo no entanto revisto, no anexo 1, em pseudocódigo de uma forma muito mais detalhada.

Heurística de Diversificação e Intensificação

Inicialização

Passo 1 – Cada subitinerário diário pertencente a um dos itinerários que constituem o *input*, é etiquetado com o valor da f.o. do itinerário respectivo.

Passo 2 – Os subitinerários do dia s são inseridos na lista Q_s , com $s \in \{1, \dots, d\}$, colocados por ordem crescente de acordo com o valor da f.o.

Passo 3 – Remover, caso existam, subitinerários com zero ou um ponto turístico apenas, além do nó origem, restaurante e dormida.

$$k \leftarrow 1$$

Passo 4 – Repetir até $k > k_{max}$ iterações

$Q_s' \leftarrow Q_s, \forall s \in \{1, \dots, d\}$ {construção de cópias das listas}

$I \leftarrow \emptyset$ {inicialização do itinerário a ser construído}

$s \leftarrow 1$

Repetir até $s = d$

Escolher probabilisticamente $t \in Q_s'$, baseado na probabilidade dada pela fórmula, $p_t = 2 \times (|Q_s'| - \text{pos}(t)) / (|Q_s'| + |Q_s' + 1|)$ { $\text{pos}(t)$ representa a posição na lista do subitinerário que foi seleccionado }

$I \leftarrow I \cup \{t\}$

Remover todos os subitinerários que contenham pelo menos um ponto turístico de t e que funcionem nos dias $s + 1$ até d

$s \leftarrow s + 1$

Voltar

Passo 5 – Aplicar um algoritmo de pesquisa melhorativa, a partir do itinerário I gerando I' (baseado na escolha dos restaurantes que contribuam com um menor custo para o custo do itinerário).

Passo 6 – Calcular o valor da f.o. no itinerário I' . Adicionar ordenadamente às listas Q_s ($s = 1, \dots, d$) os novos subitinerários, caso as listas estejam completas retirar os últimos elementos das listas.

$k \leftarrow k + 1$

Voltar ao Passo 4

Retornar o melhor itinerário.

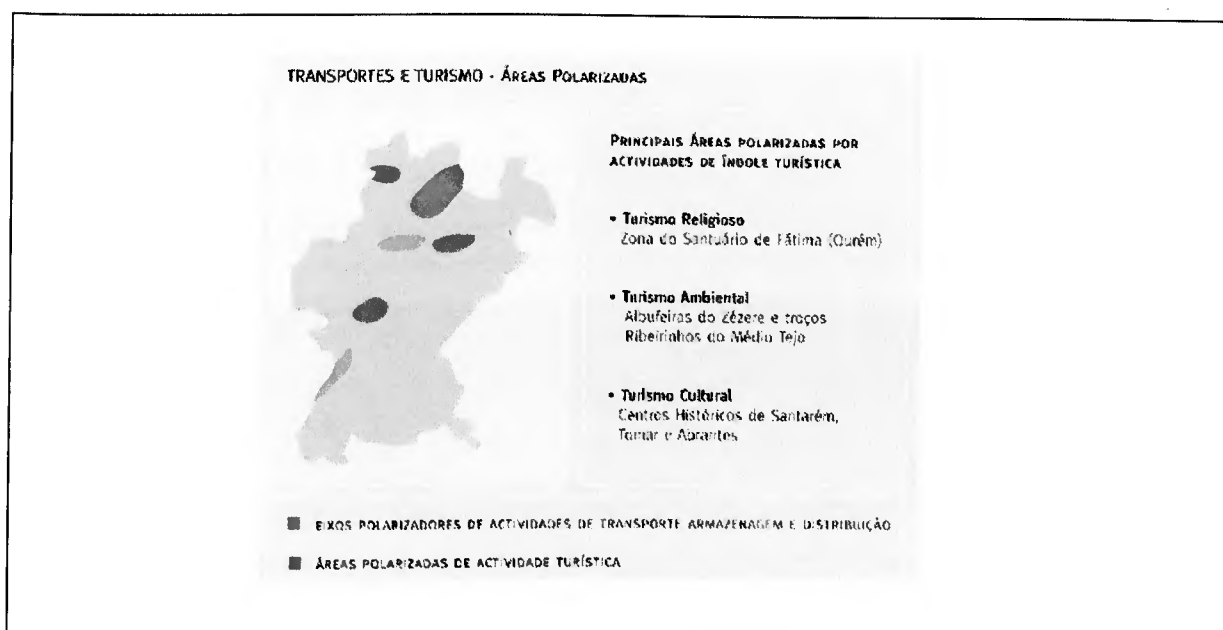
Fim

4. APLICAÇÃO A UM CASO REAL E TESTES COMPUTACIONAIS

4.1 CONSIDERAÇÕES SOBRE O CASO EM ESTUDO

Na Região de Santarém, universo de observação dos recursos turísticos utilizados aqui como caso de estudo, devemos considerar duas Regiões de Turismo distintas: a Região de Turismo do Ribatejo e a Região de Turismo dos Templários. A distinção destas duas Regiões de Turismo é não só de ordem jurídico-institucional, mas marcadamente de ordem natural, pelas características diferentes dos espaços geográficos que abarcam, bem como dos recursos turísticos existentes. Na Região de Turismo do Ribatejo, os recursos turísticos de referência nacional em termos de património arquitectónico e histórico encontram-se essencialmente concentrados no concelho de Santarém. Contudo, o conjunto da área que constitui esta Região representa o maior património natural da agricultura portuguesa. Por outro lado, na Região de Turismo dos Templários os recursos turísticos encontram-se mais dispersos e são também de uma tipologia mais diversificada.

FIGURA N.º 16 – ÁREAS QUE POLARIZAM O TRANSPORTE E O TURISMO NA REGIÃO DE SANTARÉM



Fonte: Guia do Investimento na Região de Santarém – NERSANT, 1997.

Ao nível de cada Região de Turismo, quando considerada individualmente, não existem ainda itinerários turísticos perfeitamente definidos, pelo menos em funcionamento efectivo (dados fornecidos pelas reuniões/entrevistas pessoais com responsáveis da Região Turismo do Ribatejo e da Região de Turismo dos Templários); já existe um

Plano Turístico com alguns itinerários, mas ainda numa fase intermédia relativamente à sua implementação e ainda em discussão.

Esta situação colocou dois tipos de dificuldades na construção de uma instância para o PDIT:

1. não existem dados históricos, que permitam aferir da frequência/assiduidade de utilização de quaisquer percursos;
2. aparenta ser insuficiente o tipo de informação recolhida sobre a utilização de cada recurso turístico, quando considerado individualmente, por exemplo escassez de dados sobre utilizações diárias/mensais, o que no nosso caso dificulta a determinação de um peso potencial relativamente à utilidade de cada recurso turístico;
3. não existe um levantamento exaustivo das vias rodoviárias secundárias e outras, assim como informação relativa às distâncias entre os vários recursos turísticos.

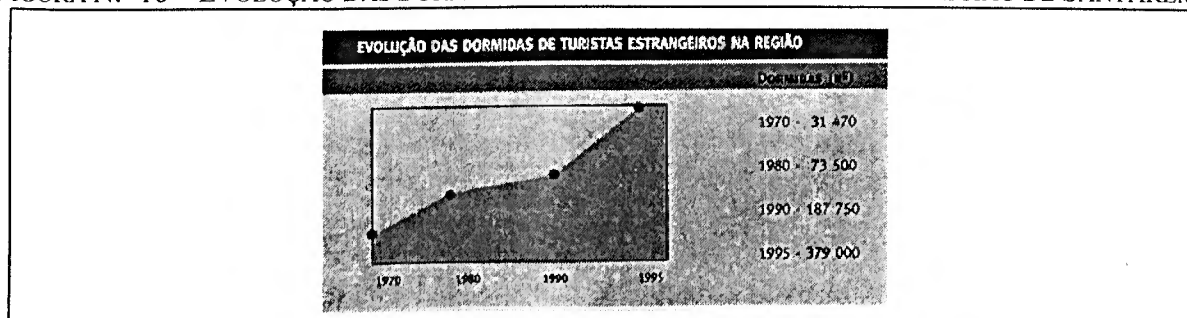
Outra conclusão interessante retirada das entrevistas, consiste na caracterização do tipo de turismo potencialmente com sucesso na Região de Santarém; aparentemente, a actividade turística permite detectar nichos de mercado, ao invés de se poder falar de uma acção turística de massas. Esta situação é devida a um conjunto de factores referidos anteriormente.

FIGURA N.º 17 – ALGUNS DADOS TURÍSTICOS SOBRE A REGIÃO – CAPACIDADE DE ALOJAMENTO

CAPACIDADE DE ALOJAMENTO TURÍSTICO (1994) - CAMAS			
	HOTEIS	PENSOES	TOTAL
MÉDIO TEJO	2.612	2.482	5.094
LEZÍRIA TEJO	-	393	393
TOTAL	2.612	2.875	5.487

Fonte: Guia do Investimento na Região de Santarém – NERSANT, 1997.

FIGURA N.º 18 – EVOLUÇÃO DAS DORMIDAS DE TURISTAS ESTRANGEIROS NA REGIÃO DE SANTARÉM

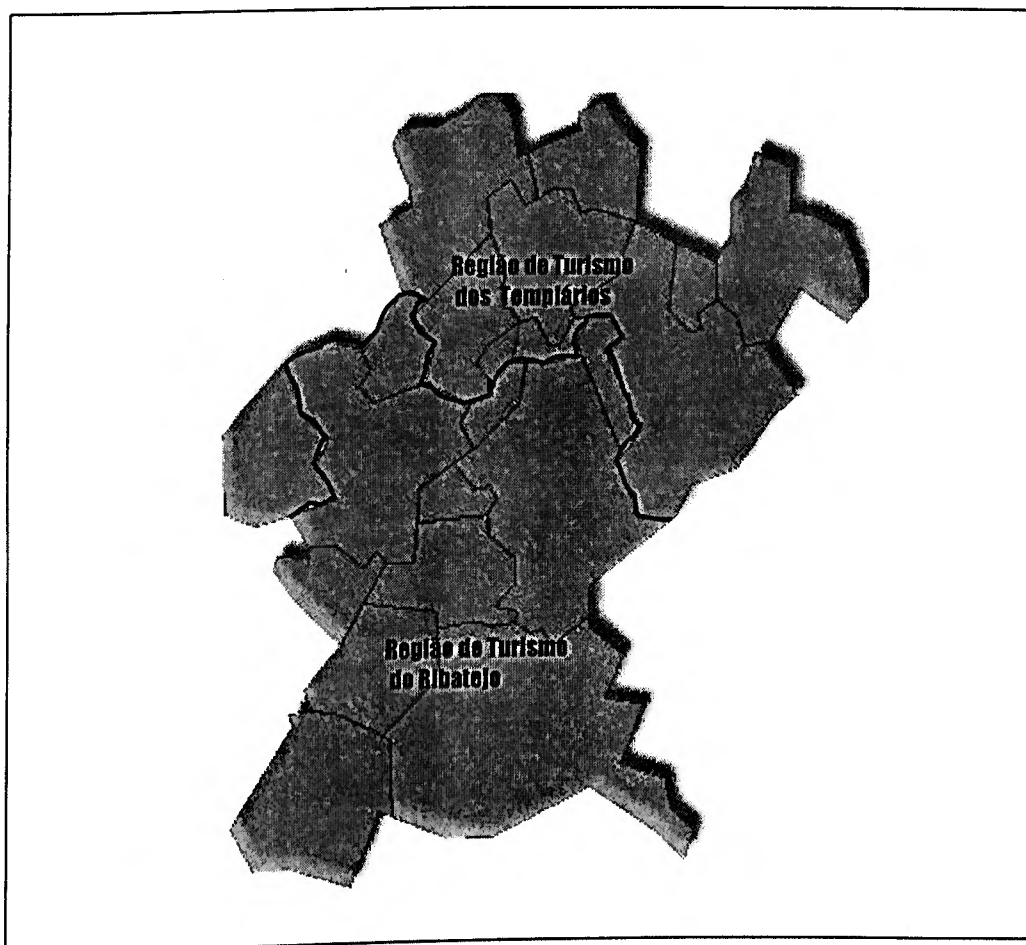


Fonte: Guia do Investimento na Região de Santarém – NERSANT, 1997.

Assim, uma das principais características das actividades turísticas nesta zona consiste na curta duração das visitas turísticas (habitualmente 1–2 dias) e com objectivos turísticos muito específicos e pontuais, pelo que é imperativo tentar fixar o turista na região, pretendendo prolongar a sua estadia e promovendo um conjunto de actividades mais diversificadas.

A Região de Santarém corresponde grosso modo ao Distrito de Santarém e encontra-se dividida em duas subregiões geográficas distintas: a do Médio Tejo e a da Lezíria do Tejo, estando abrangidos no espaço geográfico desta região 21 concelhos, com potencialidades turísticas distintas. Aliás, esta divisão territorial, corresponde grosso modo à divisão existente em termos das duas Regiões de Turismo. Na figura seguinte é apresentada uma representação geográfica da Região de Santarém.

FIGURA N.º19 – REPRESENTAÇÃO GEOGRÁFICA DA REGIÃO DE SANTARÉM



Embora exista uma grande diversidade de recursos existentes no conjunto da Região, foram apenas seleccionados, para o teste computacional, um conjunto de 51 recursos turísticos que abarcam um número razoável de concelhos, bem como um conjunto de 16 restaurantes e 13 locais de dormida, também espalhados pelo espaço geográfico da região. Os itinerários a construir vão ser constituídos por pontos turísticos das duas subregiões.

Relativamente aos restaurantes e às dormidas foram seleccionados dentro da mesma categoria, de forma que os custos aqui tratados estejam apenas relacionados com os custos da viagem.

Nesta instância o local de partida/chegada para qualquer itinerário é identificado pelo número 52 e corresponde ao Largo do Seminário, ponto central na cidade de Santarém.

4.2 RECOLHA E TRATAMENTO DOS DADOS

Foram recolhidos dados sobre 51 recursos turísticos potenciais locais de visita para um turista. Esses 51 locais encontram-se distribuídos pelo espaço geográfico da Região de Santarém, embora não contemplem pontos turísticos de todos os concelhos.

Foi construída uma base de dados em *Microsoft Access* com informação sobre os recursos turísticos desta instância do problema. Alguns destes dados foram generosamente cedidos pelas Direcções Regionais de Turismo (Ribatejo e Templários), sob a forma de um guia para operadores turísticos, acrescido de algumas brochuras. Com base neste material e em mais algumas fontes nomeadamente, Guia Expresso de Portugal [1995] e Roteiro de Portugal Turístico [1984], foram seleccionados os recursos turísticos aqui utilizados, assim como os restaurantes e as dormidas.

Relativamente aos restantes dados, embora alguns já estejam catalogados, existe ainda uma grande falta de informação, como seja, os seus horários e dias de funcionamento.

Nos casos em que esses dados não estão disponíveis, foram arbitrados valores para estes o mais próximo da realidade, nomeadamente a utilidade de cada ponto turístico do conjunto N' , que foi arbitrada segundo um conhecimento empírico, considerando um turista com interesses gerais.¹⁰

O quadro seguinte apresenta de forma detalhada esses recursos turísticos, considerados como nós base (nós de N') na implementação do modelo.

QUADRO N.º 4 – DADOS DO PROBLEMA – NÓS ORIGINAIS RECURSOS TURÍSTICOS

IDN	NºDias	Nome	Tipo	Dura	Utili	Concelho
1	7	Cruzeiro Manuelino	6	15	3	Cartaxo
2	5	Colecção Miniaturas Artesanais do A. A.	2	30	2	Cartaxo
3	6	Museu Rural e do Vinho	6	60	5	Cartaxo
4	7	Poço de S. Bartolomeu – Vale da Pinta	6	15	3	Cartaxo
5	7	Igreja Matriz – Vale da Pinta	5	15	3	Cartaxo
6	7	Igreja Matriz – Pontével	5	15	3	Cartaxo
7	7	Monumento Batalha de Ourique	6	15	4	Cartaxo
8	6	Solar dos Chavões – V. C. Ourique	1	30	4	Cartaxo
9	7	Parque de Merendas – Valada	1	30	3	Cartaxo
10	7	Aldeia da Palhota	1	30	4	Cartaxo
11	6	Quinta da Fonte Bela	1	60	4	Cartaxo

¹⁰ Consultar quadro n.º 3, pág.29

QUADRO N.º 4 – DADOS DO PROBLEMA – NÓS ORIGINAIS RECURSOS TURÍSTICOS (CONTINUAÇÃO)

IDN	NºDias	Nome	Tipo	Dura	Útil	Concelho
12	6	Igreja Marvila	5	15	4	Santarém
13	6	Igreja St. ^a Clara	5	15	4	Santarém
14	7	Portas do Sol	1	60	4	Santarém
15	4	Museu Arqueológico S. João Alporão Alporão	6	60	3	Santarém
16	6	Igreja da Graça	5	15	4	Santarém
17	7	Torre das Cabaças	6	30	3	Santarém
18	6	Igreja dos Milagres Sagrados	5	15	5	Santarém
19	7	Castelo de Alcanede	6	60	3	Santarém
20	7	Ribeira de Santarém	1	60	3	Santarém
21	5	Convento de Almoster	5	30	3	Santarém
22	5	Centro Zootécnico Nacional-Fonte Boa	6	60	4	Santarém
23	7	Zona das Caneiras	1	60	3	Santarém
24	7	Quinta da Sobreira	1	60	4	Santarém
25	7	Quinta de Vale de Lobos	1	60	3	Santarém
26	6	Igreja Matriz	5	15	3	Almeirim
27	2	Palácio da Quinta da Alorna	6	30	4	Almeirim
28	4	Museu Etnográfico	6	60	4	Almeirim
29	7	Quinta de St. ^a Marta	1	30	4	Almeirim
30	7	Aldeia do Arrepiado	1	60	5	Chamusca
31	6	Igreja Matriz	5	15	4	Chamusca
32	4	Núcleo Etnográfico Carregueira	6	30	4	Chamusca
33	6	Igreja Matriz – Golegã	5	15	3	Golegã
34	4	Museu Municipal de Fotografia Carlos Relvas	6	60	4	Golegã
35	7	Quinta da Cardiga	1	60	4	Golegã
36	7	Reserva Natural do Paúl do Boquilobo	1	130	5	Golegã
37	6	Igreja Matriz – Constância	5	15	3	Constância
38	7	Margens do Zêzere e Tejo	1	30	4	Constância
39	4	Ruínas da Casa Memória de Camões	6	30	5	Constância
40	7	Povoação do Montalvo	1	60	4	Constância
41	7	Albufeira do Bonito	1	30	3	Entroncamen
42	7	Bairros Ferroviários	6	30	5	Entroncamen
43	5	Capela de S. João Baptista	5	15	3	Entroncamen
44	7	Povoação de Tancos	1	30	3	V. N.
45	7	Castelo de Almourol	6	120	4	V. N.
46	6	Igreja Matriz de Atalaia	5	15	3	V. N.
47	7	Quinta do Lagarito	1	60	4	V. N.
48	5	Ruínas Romanas de Cardílium	6	30	5	Torres Novas
49	7	Pedreira do Galinha – Dinossáurios	6	60	5	Torres Novas
50	7	Praça 5 de Outubro	6	15	3	Torres Novas
51	4	Museu Agrícola de Riachos	6	30	3	Torres Novas

* A classificação do tipo de recurso obedece neste trabalho à tipologia referida no quadro n.º 3, página 29:

- 1 - Recursos Naturais ou Natureza e Ambiente;
- 2 - Artesanato e Danças Tradicionais;
- 3 - Festas e Tradições;
- 4 - Desporto e Aventura;
- 5 - Turismo Religioso;
- 6 - Turismo Cultural.

Tal como apresentado acima, para além da identificação do recurso turístico (numérica – IDN e descritiva – Nome), são ainda considerados como dados do problema o número

de dias de funcionamento do recurso (**N.º Dias** – de 1 a 7), o valor – tempo de **duração** estimado para a visita a cada um desses recursos (sendo o máximo uma manhã ou uma tarde) – bem como ainda o valor da **utilidade** da visita para cada um destes pontos (numa escala de 1 a 5), e a identificação do **concelho** onde está localizado o recurso turístico.

Pela metodologia apresentada (ver secção 3.2 deste trabalho) foi necessário para a implementação das heurísticas construtivas de subitinerários proceder à replicação destes pontos ou nós em função do número de dias de funcionamento. Exemplificando, para um determinado recurso que estivesse aberto às segundas, terças e quartas-feiras da semana foram criadas 3 cópias desse recurso (uma para o dia 1, outra para o 2 e outra para o 3). Passou-se então a trabalhar com 312 “pontos turísticos” ou nós – cópia da rede. Dado ainda que nesta formulação do problema é permitido que os períodos de funcionamento de cada recurso passível de visita possam variar de acordo com o dia da semana, a cada um destes nós – cópia foram atribuídas duas janelas temporais de funcionamento (uma para o período da manhã, e outra para o período da tarde).

Uma perspectiva dos dados recolhidos é apresentada de seguida, podendo ser consultados de forma exhaustiva todos os dados no Anexo 2 (identificados como tabela **Nós-Cópia** desta instância do problema).

QUADRO N.º 5 – DADOS DO PROBLEMA – NÓS CÓPIA COM JANELAS TEMPORAIS

IDC	IDN	Dia	Nome	e1	l1	e2	l2
1	1	1	Cruzeiro Manuelino	540	750	870	1140
2	1	2	Cruzeiro Manuelino	540	750	870	1140
3	1	3	Cruzeiro Manuelino	540	750	870	1140
4	1	4	Cruzeiro Manuelino	540	750	870	1140
5	1	5	Cruzeiro Manuelino	540	750	870	1140
6	1	6	Cruzeiro Manuelino	540	750	870	1140
7	1	7	Cruzeiro Manuelino	540	750	870	1140
8	2	1	Colecção Miniaturas Artesanais do A. A.	600	750	900	1080
9	2	2	Colecção Miniaturas Artesanais do A. A.	600	750	900	1080
10	2	3	Colecção Miniaturas Artesanais do A. A.	600	750	900	1080
11	2	4	Colecção Miniaturas Artesanais do A. A.	600	750	900	1080
12	2	5	Colecção Miniaturas Artesanais do A. A.	600	750	900	1080
...
...

Legenda:

IDC – N.º identificador único do nó cópia; $[e_1, l_1]$ – Janela temporal da manhã – (unidades em minutos);
 Nome – Designação do recurso turístico; $[e_2, l_2]$ – Janela temporal da tarde – (unidades em minutos);
 IDN – N.º identificador único do nó original.

Por sua vez foram também recolhidos dados sobre os pontos dormida e pontos restaurante. Para os primeiros foram seleccionados 13 pontos de dormida, apresentados abaixo.

QUADRO N.º 6 – DADOS DO PROBLEMA – NÓS DORMIDA

IdDormida	Nome
69	Residencial Primavera
70	Grande Hotel Santarém
71	Hotel do Prado (Residencial)
72	Hotel Alfageme (Residencial)
73	Residencial Novo Príncipe
74	Quinta da Torre
75	Casa da Azinhaga
76	Casa de Santo António de Azinhaga
77	Pensão Restaurante Faustino
78	Pensão Almonda Parque
79	Pensão Solar de São José
80	Pensão Restaurante Sol Tejo
81	Albergaria João Chagas

Para os nós restaurante, e dado que nesta formulação do problema se considerou que também os restaurantes poderiam não funcionar todos os dias da semana, aplicou-se a mesma metodologia descrita para os nós turísticos originais, e procedeu-se a uma replicação dos nós restaurantes em número idêntico aos dias de funcionamento respectivos. No Anexo 2 é apresentada uma lista exaustiva de todos os dados processados computacionalmente – ver referência **Nós–Restaurante** (16 pontos) e **Restaurantes–Cópia** (94 cópias).

Para o cálculo das distâncias entre os nós da rede foi efectuada uma recolha de informação cartográfica de base proveniente da Junta Autónoma das Estradas, e através da determinação de distâncias aproximadas para o traçado das vias de comunicação rodoviárias consideradas relevantes, a autora determinou para cada um dos pontos ou nós da rede (recursos turísticos, restaurantes e nós dormida) a distância absoluta entre todos estes pontos (medida em unidades de quilómetro).

A matriz das distâncias relativas entre todos os nós da rede é apresentada em todo o detalhe no Anexo 2 – ver referência **Matriz – Distâncias**. Neste caso trata-se de uma matriz simétrica, dado que se considera igual a distância de i para j e de j para i .

No quadro abaixo é apresentada uma perspectiva dessa informação, incompleta, pois é uma matriz de grandes dimensões (ver Anexo 2).

QUADRO N.º 7– DADOS DO PROBLEMA – MATRIZ DAS DISTÂNCIAS

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	...	...
1	x	1	1	4	4.5	5	2	2.5	13	15	9	16	17	17	16	...	...
2	1	x	1.5	4	4.5	5	3	3.5	14	16	10	17	18	18	17	...	...
3	1	1.5	x	3	3.5	5	3	3.5	14	16	10	17	18	18	17	...	...
4	4	4	3	x	0.5	3	6	6.5	17	19	13	21	22	22	21	...	...
5	4.5	4.5	3.5	0.5	x	2.5	6.5	7	18	20	14	22	23	23	22	...	...
6	5	5	5	3	2.5	x	7	7.5	11	13	14	21	22	22	21	...	...
7	2	3	3	6	6.5	7	x	0.5	11.5	13.5	7.5	14	15	15	14	...	...
8	2.5	3.5	3.5	6.5	7	7.5	0.5	x	11	13	7	15	16	16	15	...	...
9	13	14	14	17	17.5	11	11.5	11	x	2	10	25	26	26	25	...	...
10	15	16	16	19	19.5	13	13.5	13	2	x	12	27	28	28	27	...	...
11	9	10	10	13	13.5	14	7.5	7	10	12	x	12	13	13	12	...	...
12	16	17	17	21	21.5	21	14	14.5	25	27	12	x	1	1	0.5	...	...
13	17	18	18	22	22.5	22	15	15.5	26	28	13	1	x	2	1	...	...
14	17	18	18	22	22.5	22	15	15.5	26	28	13	1	2	x	1	...	...
15	16	17	17	21	21.5	21	14	14.5	25	27	12	0.5	1	1	x	...	...
...

4.3 IMPLEMENTAÇÃO DAS HEURÍSTICAS EM SUPORTE COMPUTACIONAL

Considerando as condições específicas do problema, bem como o desconhecimento da aplicação de ferramentas computacionais a este tipo de problemas, foi tomada a decisão de proceder à implementação de raiz de uma aplicação que procedesse ao teste computacional das heurísticas criadas.

Dada a necessidade de proceder à recolha e tratamento de dados, com vista a contextualizar o problema, bem como informação caracterizadora quer dos recursos turísticos enquanto pontos isolados da rede (designação dos recursos, sua localização, tipo de recurso, janelas temporais possíveis para a sua utilização), quer ainda informação sobre a própria rede (distâncias relativas entre pontos da rede, custo das deslocações, etc), foi considerado como mais correcto criar uma base de dados, com diversas tabelas para armazenamento da informação tratada, onde fosse facilitada a actualização permanente dos dados (semanal ou mensal), de modo a permitir uma programação de itinerários que contemplasse feriados, férias, dias de feiras, etc.

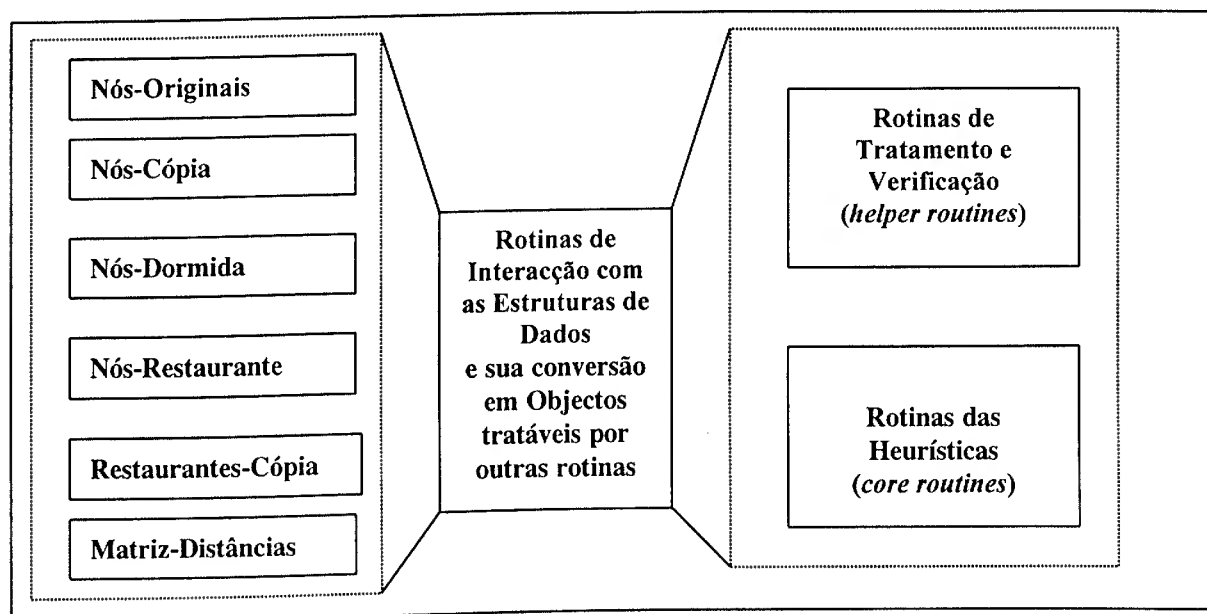
Foram assim criadas tabelas específicas para armazenamento da informação sobre:

- cada um dos recursos turísticos passíveis de visita, (**Nós–Originais**), indicando o número sequencial atribuído (de 1 a 52, sendo este último o ponto de partida do itinerário), o n.º total de dias em que pode ser visitado (máximo 7), a sua designação, o seu tipo, a duração estimada para a sua visita, a utilidade esperada pela visita (escala de 1 a 5) e o concelho de localização;
- o total de recursos turísticos, incluindo a sua cópia para todos os dias em que possam ser visitados – esta tabela com 312 registos (**Nós–Cópia**) foi derivada da anterior, consoante o n.º total de dias possíveis de visita para cada recurso;
- o total de pontos de dormida (aos quais foi atribuído um n.º sequencial único de -81 a -69), com a informação da sua designação, e localização (**Nós–Dormida**);
- o total dos pontos de almoço (**Nós–Restaurante**), para os quais foi atribuída uma classificação sequencial única (de 53 a 68) e que contém ainda a indicação do n.º total de dias em que estão disponíveis, bem como da sua designação;

- as cópias dos nós restaurante (**Restaurantes-Cópia**) construídas a partir da tabela anterior, obtidas através de uma replicação proporcional ao número de dias de funcionamento de cada restaurante (cada registo que consta nesta nova tabela representa um restaurante que funciona apenas num dia específico da semana);
- a distância relativa entre todos os pontos da rede, recursos turísticos, nós dormida e nós restaurante (por razões de performance no seu tratamento foi construída uma matriz em Excel, **Matriz-Distâncias**, com esta informação).

O conjunto destas tabelas de informação constitui a base de dados (utilizando o motor de base de dados Access e Excel) de toda a informação utilizada para testar computacionalmente o modelo criado. Sobre este conjunto de informação foi posteriormente aplicado um programa que implementou exaustivamente as diversas rotinas conceptualmente definidas.

FIGURA N.º 20 – REPRESENTAÇÃO CONCEPTUAL DA IMPLEMENTAÇÃO COMPUTACIONAL



Para implementação das heurísticas foi utilizada uma linguagem de alto-nível e orientada a objectos (Visual Basic 5.0), escolhida quer pelas suas potencialidades como linguagem orientada a objectos, quer pela sua capacidade de interacção com estruturas de dados, quer ainda pela posterior utilização como ferramenta de construção de uma aplicação gráfica orientada para o utilizador. A aplicação foi testada num sistema computacional com microprocessador Intel Pentium a 100 MHz com 24 MB de RAM.

Poderemos assim considerar três grandes grupos de procedimentos:

- aqueles relacionados com a interacção directa com as estruturas de dados, que possibilitaram a construção de matrizes de dados (facilmente tratáveis em rotinas), a partir das estruturas de dados originais;
- as subrotinas de referência e tratamento – *helper routines*, que permitiram a conversão de determinados dados, ou a sua validação consoante determinadas condições do modelo, e que facultam a utilização correcta dos dados de acordo com as necessidades específicas de outras rotinas (por exemplo, verificação de admissibilidade);
- as relativas à implementação em rotinas de código de todas as heurísticas constituintes do modelo criado (desde as heurísticas do vizinho mais próximo, de inserção, até à heurística de diversificação e intensificação) – *core routines*.

Da conjugação deste conjunto de rotinas, foi possível realizar com base em dados reais, o teste computacional do modelo criado, sendo sucessivamente aplicadas as diversas heurísticas, e possibilitando a análise de resultados que se segue.

4.4 TESTES E ANÁLISE DE RESULTADOS

Os testes computacionais foram efectuados utilizando os dados atrás apresentados. Considerou-se um turista com preferências de carácter geral (ver quadro n.º 3 na pág. 29) e com o objectivo de obter um itinerário para três dias. Dado que todos os itinerários têm início a uma segunda-feira, o que se pretende com estes testes computacionais é obter um itinerário para um período de segunda-feira a quarta-feira.

Relativamente aos parâmetros α e β da função objectivo, como já se viu anteriormente o primeiro diz respeito ao custo do itinerário e o segundo à utilidade do itinerário. Foram atribuídos a estes parâmetros os valores 1 e 35 respectivamente de modo a permitir que a diferença de escalas de medida entre o custo e a utilidade não afectasse o equilíbrio na optimização destas duas componentes. Chegou-se a estes valores depois de algumas experiências com parâmetros diferentes onde em alguns casos se dava mais peso aos custos e noutros maior peso à utilidade, parecendo pois serem estes valores os que permitem um maior equilíbrio.

Por condição do modelo qualquer itinerário terá origem no nó 52 (Largo do Seminário – Santarém).

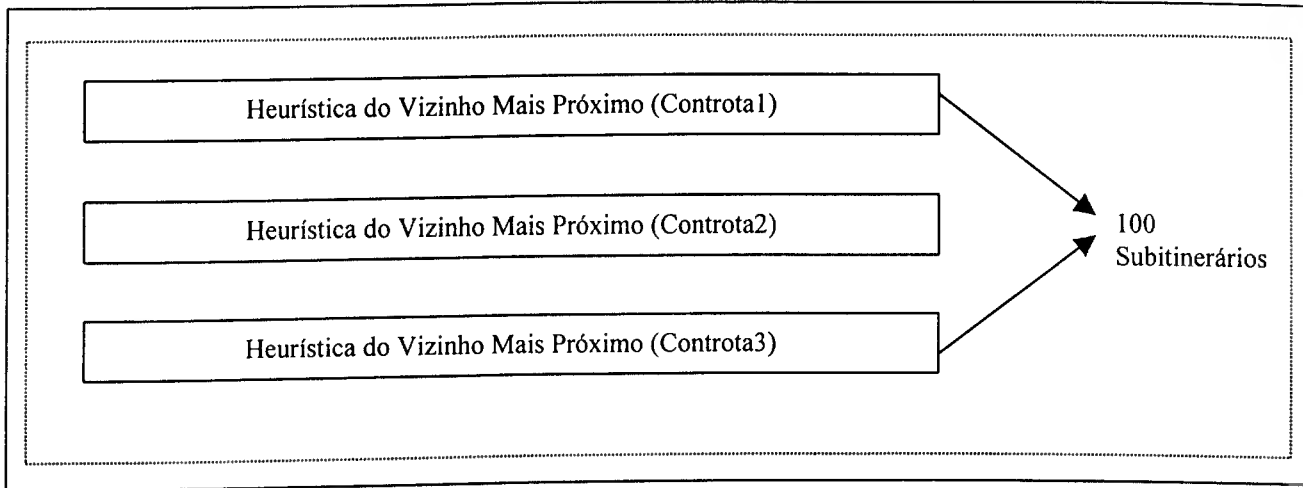
Na secção 3.2.2 (ver figura n.º 9 na pág. 58 deste documento), foi feita referência à metodologia seguida para a obtenção de um itinerário melhorado. Seguindo essa metodologia, o processo implementado para o teste computacional, consistiu em gerar um conjunto de subitinerários e com base nesse conjunto aplicar três vezes de forma independente a Heurística Desenha Itinerário.

Este processo foi repetido três vezes, com três conjuntos de subitinerários diferentes. O primeiro conjunto foi obtido aplicando três vezes de forma independente a Heurística do Vizinho Mais Próximo, o segundo foi obtido do mesmo modo, mas agora com a Heurística de Inserção. O último conjunto foi construído adicionando ao segundo conjunto, os subitinerários obtidos pela aplicação independente da heurística do Vizinho Mais Próximo duas vezes.

Na primeira aplicação deste processo foram obtidos no total aproximadamente cerca de 100 subitinerários para os sete dias da semana, a partir da Heurística do Vizinho Mais Próximo aplicada de forma independente três vezes ao conjunto dos nós desta instância.

Devido ao carácter aleatório desta heurística na escolha do nó origem de cada subitinerário, garante-se de alguma forma a obtenção de subitinerários diferentes de cada vez que esta heurística é aplicada.

FIGURA N.º 21 – TESTES COMPUTACIONAIS – HEURÍSTICA DO VIZINHO MAIS PRÓXIMO



Legenda:

Controta – parâmetro que retorna o total de subitinerários construídos em cada “corrida” do algoritmo.

$$\text{Controta1} + \text{Controta2} + \text{Controta3} = 100$$

A partir dos subitinerários gerados foram construídos três itinerários, utilizando para tal a Heurística Desenha Itinerário, existindo a particularidade de os dois últimos itinerários terem sido obtidos utilizando a escolha aleatória do subitinerário para segunda-feira. Os resultados obtidos são apresentados no quadro n.º 8.

QUADRO N.º 8 – 1.º ITINERÁRIO CONSTRUÍDO COM BASE NOS SUBITINERÁRIOS OBTIDOS PELA HEURÍSTICA DO VIZINHO MAIS PRÓXIMO

Segunda	Nó	52	14	17	20	23	56	19	21	22	7	8	1	-69		
	Tempo	540	541	602	635	703	768	881	974	1024	1090	1105	1137	1153		
Utilidade: 34; Custo: 1075																
Terça	Nó	5	25	6	53	29	36	-75								
	Tempo	600	642	729	750	873	951	1140								
Utilidade: 18; Custo: 1589																
Quarta	Nó	45	44	62	35	43	39	46	47	38	40	-81				
	Tempo	600	723	765	870	934	964	1006	1024	1099	1133	1196				
Utilidade: 34; Custo: 846																

Utilidade Itinerário: 86; Custo Itinerário: 3722; Função Objectivo: 712

i Restaurante

i Dormida

QUADRO N.º 9 – 2.º E 3.º ITINERÁRIOS CONSTRUÍDOS COM BASE NOS SUBITINERÁRIOS OBTIDOS PELA HEURÍSTICA DO VIZINHO MAIS PRÓXIMO

Segunda	Nó	52	40	30	61	29	36	-75							
	Tempo	540	593	665	750	870	948	1140							
Utilidade: 18; Custo 1485															
Terça	Nó	44	45	47	62	51	48	49	50	42	41	-77			
	Tempo	540	600	727	796	900	940	980	1045	1069	1100	1140			
Utilidade: 35; Custo: 720															
Quarta	Nó	8	7	1	2	3	4	5	53	22	26	23	24	-70	
	Tempo	570	600	617	633	664	727	742	763	870	948	976	1051	1140	
Utilidade: 38; Custo: 836															

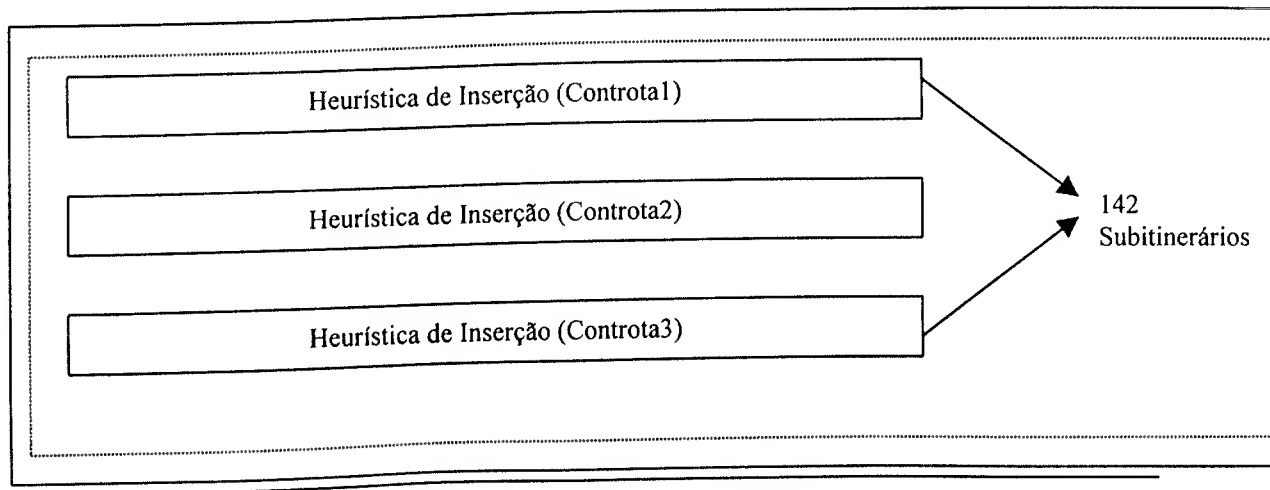
Utilidade Itinerário: 91; Custo Itinerário: 3774; Função Objectivo: 589

i Restaurante i Dormida

O 3.º itinerário obtido após aplicação da heurística do vizinho mais próximo foi de forma casuística igual ao 2.º itinerário, pelo que é desnecessária a sua apresentação em quadro separado.

Num segundo teste computacional do modelo, foi utilizada a heurística de inserção. Todas as variáveis foram inicializadas e, a partir dos dados originais, procedeu-se à geração de subitinerários. Neste processo, foram criados cerca de 142 subitinerários, a partir de 3 aplicações independentes e com parâmetros diferentes. Nomeadamente na 1.ª aplicação utilizou-se $\mu=1, \gamma_1=0.5, \gamma_2=0.5, \lambda=1$; na 2.ª aplicação $\mu=1, \gamma_1=1, \gamma_2=0, \lambda=1$ e na 3.ª aplicação $\mu=1, \gamma_1=1, \gamma_2=0, \lambda=2$. O processo poderá ser representado de forma análoga ao descrito para a primeira experiência computacional (ver figura n.º 22).

FIGURA N.º 22 – TESTES COMPUTACIONAIS – HEURÍSTICA DE INSERÇÃO



A partir dos subitinerários agora gerados, e aplicando a mesma metodologia descrita no caso anterior, isto é, 1.º itinerário obtido sem a escolha aleatória da segunda-feira e os dois últimos com a escolha aleatória da segunda-feira, conseguiu-se obter três itinerários para os dias de segunda a quarta-feira. Os resultados computacionais obtidos encontram-se representados nos quadros seguintes.

QUADRO N.º 10 – 4.º ITINERÁRIO CONSTRUÍDO COM BASE NOS SUBITINERÁRIOS OBTIDOS PELA HEURÍSTICA DE INSERÇÃO

Segunda	Nó	52	47	17	21	55	9	10	6	4	5	2	1	8	23	-80
	Tempo	540	600	704	743	784	984	926	967	985	1006	1019				
Utilidade: 42; Custo: 1781																
Terça	Nó	45	57	32	33	41	42	43	36	-80						
	Tempo	600	750	900	938	962	993	1024	1059	1210						
Utilidade: 27; Custo: 1557																
Quarta	Nó	20	25	26	38	65	19	15	24	-70						
	Tempo	540	613	691	749	782	922	1005	1075	1146						
Utilidade: 23; Custo: 1800																

Utilidade Itinerário: 92; Custo Itinerário: 5633; Função Objectivo: 2413

i Restaurante

i Dormida

QUADRO N.º 11 – 5.º ITINERÁRIO CONSTRUÍDO COM BASE NOS SUBITINERÁRIOS OBTIDOS PELA HEURÍSTICA DE INSERÇÃO

Segunda	Nó	52	30	35	55	24	45	-81								
	Tempo	540	591	673	778	880	1001	1140								
Utilidade: 21; Custo: 2110																
Terça	Nó	39	20	26	57	18	21	23	25	44	-81					
	Tempo	600	680	747	771	870	900	945	1020	1137	1178					
Utilidade: 28; Custo: 1842																
Quarta	Nó	34	12	16	11	53	2	1	3	6	4	5	7	8	9	-75
	Tempo	600	696	712	738	807	900	931	947	1011	1029	1041	1065	1080	1119	1206
Utilidade: 46; Custo: 1451																

Utilidade Itinerário: 95; Custo Itinerário: 5660; Função Objectivo: 2335

i Restaurante

i Dormida

QUADRO N.º 12 – 6.º ITINERÁRIO CONSTRUÍDO COM BASE NOS SUBITINERÁRIOS OBTIDOS PELA HEURÍSTICA DE INSERÇÃO

Segunda	Nó	52	47	17	21	55	9	10	6	4	5	2	1	8	23	-80
	Tempo	540	600	704	743	784	894	926	967	985	1000	1019	1050	1067	1109	1220
Utilidade: 42; Custo: 1781																
Terça	Nó	45	57	32	33	41	42	43	36	-80						
	Tempo	600	750	900	938	962	993	1024	1059	1210						
Utilidade: 27; Custo: 1557																
Quarta	Nó	20	25	26	38	65	19	15	24	-70						
	Tempo	540	613	691	749	782	922	1005	1075	1146						
Utilidade: 23; Custo: 1800																

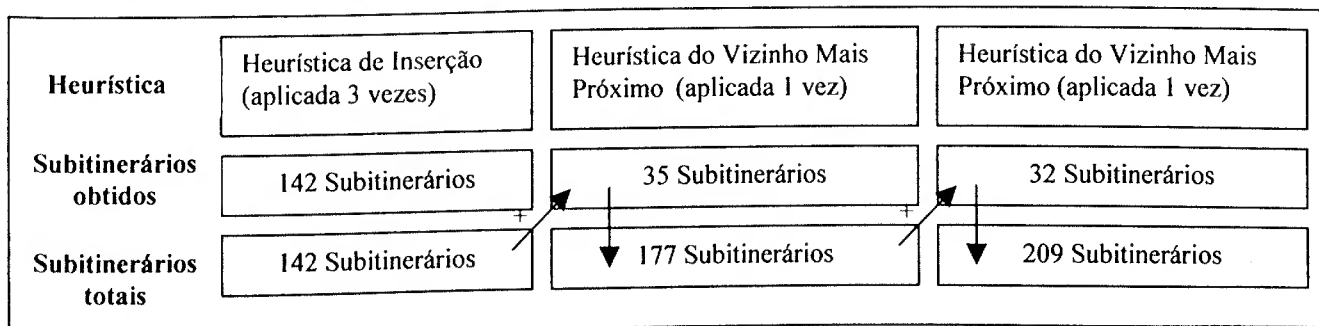
Utilidade Itinerário: 92; Custo Itinerário: 5633; Função Objectivo: 2413

i Restaurante i Dormida

Como se pode verificar pelos resultados apresentados anteriormente, e procurando fazer uma análise comparativa da utilização das duas heurísticas (do Vizinho Mais Próximo e de Inserção), nesta última os resultados apontam para a obtenção de itinerários globais de maior utilidade, mas com maiores custos e valores mais elevados para a função objectivo. Segundo Solomon [1987] a heurística de inserção apresenta normalmente melhores resultados que a do vizinho mais próximo, no entanto não foi o que se verificou. A explicação mais plausível para isso acontecer é dada pela inicialização dos subitinerários que ocorre na Heurística de Inserção. Esta inicialização impõe à partida um custo não muito baixo do subitinerário, ao forçar a escolha de um restaurante mais afastado do nó origem.

Dados os resultados obtidos, e de modo a prosseguir no teste computacional das heurísticas modelizadas, avançou-se então para uma nova experiência computacional que poderá ser esquematizada da seguinte forma:

FIGURA N.º 23 – TESTES COMPUTACIONAIS – CONSTRUÇÃO DE SUBITINERÁRIOS COM A HEURÍSTICA DO VIZINHO MAIS PRÓXIMO E COM A HEURÍSTICA DE INSERÇÃO



Neste novo passo, são adicionados 67 subitinerários, obtidos pelas duas aplicações da Heurística do Vizinho Mais Próximo, ao conjunto dos 142 subitinerários, obtidos anteriormente pelas três aplicações da Heurística de Inserção.

No final (depois das aplicações da Heurística de Inserção e da Heurística do Vizinho Mais Próximo) foram obtidos 209 subitinerários, não necessariamente diferentes entre si. Procedeu-se então à aplicação da Heurística Desenha Itinerário, com um *input* de subitinerários mais diversificados que nos casos anteriores. No final obteve-se três itinerários que são apresentadas nos quadros seguintes.

QUADRO N.º 13 – 7.º ITINERÁRIO CONSTRUÍDO COM BASE NOS SUBTINERÁRIOS OBTIDOS PELAS DUAS HEURÍSTICAS CONSTRUTIVAS DE SUBITINERÁRIOS

Segunda	Nó	52	7	1	8	2	4	5	62	54	21	19	17	14	20	-70
	Tempo	540	552	569	586	619	652	667	694	760	900	963	1046	1077	1140	1203
Utilidade: 39; Custo: 1314																
Terça	Nó	25	56	-70												
	Tempo	540	750	1140												
Utilidade: 3; Custo: 122 – Observ. Rota não Válida pois contém menos que 4 nós																
Quarta	Nó	23	12	46	39	37	38	40	64	43	35	33	32	47	44	-80
	Tempo	540	605	620	647	678	694	728	792	900	919	987	1010	1056	1123	1155
Utilidade: 47; Custo: 909																
Utilidade Itinerário: 89; Custo Itinerário: 2525; Função Objectivo: - 590																

i Restaurante

i Dormida

QUADRO N.º 14 – 8.º ITINERÁRIO CONSTRUÍDO COM BASE NOS SUBTINERÁRIOS OBTIDOS PELAS DUAS HEURÍSTICAS CONSTRUTIVAS DE SUBITINERÁRIOS

Segunda	Nó	52	47	17	21	55	9	10	6	4	5	2	1	8	23	-80
	Tempo	540	600	704	743	784	894	926	967	985	1000	1019	1050	1067	1109	1220
Utilidade: 42; Custo: 1781																
Terça	Nó	45	57	32	33	41	42	43	36	-80						
	Tempo	600	750	900	938	962	993	1024	1059	1210						
Utilidade: 27; Custo: 1557																

QUADRO N.º14 – 8.º ITINERÁRIO CONSTRUÍDO COM BASE NOS SUBTINERÁRIOS OBTIDOS PELAS DUAS HEURÍSTICAS CONSTRUTIVAS DE SUBITINERÁRIOS (CONTINUAÇÃO)

Quarta	Nó	20	25	26	38	65	19	15	24	-70						
	Tempo	540	613	691	749	782	922	1005	1075	1146						

Utilidade: 23; Custo: 1800

Utilidade Itinerário: 92; Custo Itinerário: 5633; Função Objectivo: 2413

i Restaurante

i Dormida

QUADRO N.º 15 – 9.º ITINERÁRIO CONSTRUÍDO COM BASE NOS SUBTINERÁRIOS OBTIDOS PELAS DUAS HEURÍSTICAS CONSTRUTIVAS DE SUBITINERÁRIOS

Segunda	Nó	52	7	1	8	2	4	42	55	17	14	23	20	-77		
	Tempo	540	570	585	617	633	666	743	819	911	942	1008	1076	1181		

Utilidade: 38; Custo: 1857

Terça	Nó	35	39	30	31	55	29	28	37	38	40	-80				
	Tempo	540	623	662	732	780	886	925	1028	1044	1078	1151				

Utilidade: 37; Custo: 1701

Quarta	Nó	49	50	48	67	45	36	-75								
	Tempo	600	665	685	750	870	1016	1150								

Utilidade: 22; Custo: 756

Utilidade Itinerário: 97; Custo Itinerário: 4566; Função Objectivo: 1171

i Restaurante

i Dormida

Dos três processos que foram utilizados para gerar conjuntos de subitinerários, verificou-se que o itinerário com o valor da f.o. mais baixo corresponde ao processo onde foram utilizadas as duas heurísticas construtivas (processo “misto”), no entanto não podemos afirmar que seja mais vantajoso que os dois anteriores, pois, por um lado, também com este processo se obteve um itinerário com um valor da f.o. muito elevado e por outro o itinerário que apresenta o menor valor da f.o. apresenta o dia de terça-feira muito pouco preenchido, comparativamente com os outros dias.

Constata-se assim, que o processo mais equilibrado em termos de soluções parece ser o primeiro em que o valor da f.o. varia entre 589 e 712. Conclui-se então, que embora o terceiro processo parece-se à partida mais favorável como *input* para a determinação de itinerários melhores, não foi isso que aconteceu na realidade, talvez pelo facto das soluções obtidas pela heurística de inserção (que eram em número superior às do vizinho mais próximo) serem de menor qualidade, quando comparadas com as outras.

Pelos resultados obtidos, embora tenham sido utilizadas duas heurísticas diferentes para a geração de subitinerários, incluindo na mesma heurística (heurística de inserção) a utilização de valores diferentes para os parâmetros e ainda processos de aleatorização em todas as heurísticas, verificou-se que dos nove itinerários construídos o segundo e o terceiro assim como o sexto e o oitavo são iguais. Daí resulta que não foram obtidos 9 itinerários diferentes mas apenas 7 soluções distintas.

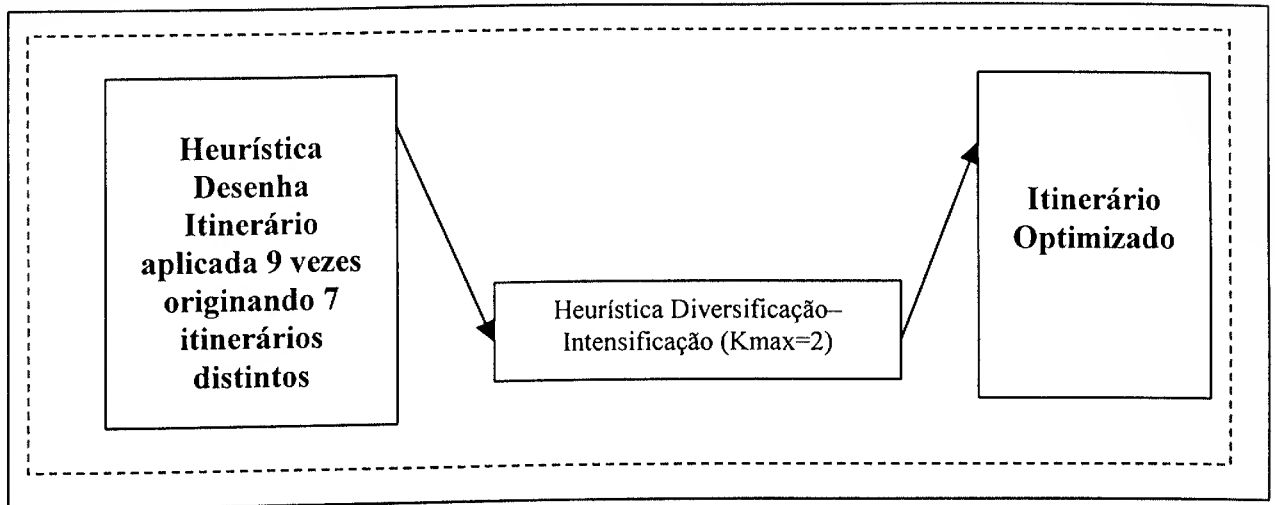
Esta situação leva-nos a crer que os processos de diversificação de soluções aqui utilizados podem ainda ser melhorados, quer integrando uma maior variação dos pesos ou contribuições dos vários parâmetros quer uma aleatorização mais significativa na construção de itinerários, não só na escolha da segunda-feira como também nos outros dias da semana. Mesmo a utilização de definições de métricas diferentes das utilizadas aqui, quer na Heurística do Vizinho Mais Próximo, quer na Heurística de Inserção, tal como outras inicializações dos subitinerários na Heurística de Inserção poderão contribuir para uma maior variedade.

De seguida, a partir das soluções obtidas, vai-se utilizar a Heurística de Diversificação e Intensificação, pretendendo-se obter uma solução melhorada (menor valor da f.o.) comparativamente com as que foram apresentadas. No entanto, face à pouca diversidade de itinerários obtida, poderá não funcionar tão bem quanto se espera.

Na implementação desta heurística foram utilizadas listas, Q_s , com um tamanho máximo de dez elementos.

O processo de implementação computacional desta heurística melhorativa pode ser descrito pelo diagrama da figura n.º 24,

FIGURA N.º 24 – TESTES COMPUTACIONAIS – HEURÍSTICA DE DIVERSIFICAÇÃO E INTENSIFICAÇÃO



Nesta experiência computacional foram efectuadas duas iterações da Heurística de Diversificação e Intensificação. Os resultados obtidos encontram-se representados nos dois quadros seguintes.

QUADRO N.º 16 – ITINERÁRIO OBTIDO DA 1.ª APLICAÇÃO DA DIVERSIFICAÇÃO E INTENSIFICAÇÃO

Segunda	Nó	52	7	1	8	2	4	5	22	56	21	19	17	14	20	-70
	Tempo	540	552	569	586	619	652	667	694	753	900	963	1046	1077	1140	1203
Utilidade: 39; Custo: 1314																
Terça	Nó	35	39	30	31	61	29	28	37	38	40	-80				
	Tempo	540	623	662	732	750	870	909	1012	1028	1062	1140				
Utilidade: 37; Custo: 1701																
Quarta	Nó	49	50	48	67	45	36	-75								
	Tempo	600	665	685	750	870	1016	1156								
Utilidade: 22; Custo: 756																

Utilidade Itinerário: 98; Custo Itinerário: 3978; Função Objectivo: 548

i Restaurante

j Dormida

QUADRO N.º 17 – ITINERÁRIO OBTIDO DA 2.ª APLICAÇÃO DA DIVERSIFICAÇÃO E

INTENSIFICAÇÃO

Segunda	Nó	52	40	30	61	29	36	-75									
	Tempo	540	593	665	750	870	948	1140									
Utilidade: 18; Custo: 1485																	
Terça	Nó	39	20	26	56	18	21	23	25	44	-81						
	Tempo	600	680	747	769	870	900	945	1020	1137	1178						
Utilidade: 28; Custo: 1842																	
Quarta	Nó	34	12	16	11	53	2	1	3	6	4	5	7	8	9	-75	
	Tempo	600	696	712	738	807	900	931	947	1011	1029	1044	1065	1080	1119	1206	
Utilidade: 46; Custo: 1451																	

Utilidade Itinerário: 92; Custo Itinerário: 4810; Função Objectivo: 1590

i Restaurante

i Dormida

A solução dada por este algoritmo corresponde ao itinerário apresentado no final da 1º iteração (ver quadro n.º16), verificando-se que a solução obtida corresponde à que menor valor da função objectivo tem de entre todas aqui apresentadas.

Parece contudo provável que, em testes computacionais com por um lado maior n.º de iterações desta heurística e por outro com maior diversidade de soluções, os resultados possam melhorar significativamente, o que levará à obtenção de uma solução melhor para o desenho de itinerários turísticos.

Vamos agora descrever e comentar esta solução.

QUADRO N.º 18 – DESCRIÇÃO DO ITINERÁRIO

Dia	Nó do itinerário	Início da visita
2.ª Feira	Largo do Seminário (Santarém)	540 (9:00)
	Monumento da Batalha de Ourique (Cartaxo)	552 (9:12)
	Cruzeiro Manuelino (Cartaxo)	569 (9:29)
	Solar dos Chavões (Cartaxo)	586 (9:46)
	Colecção de Miniaturas Artesanais (Cartaxo)	619 (10:19)
	Poço Vale da Pinta (Cartaxo)	652 (10:52)
	Igreja Matriz Vale da Pinta (Cartaxo)	667 (11:7)

QUADRO N.º 18 – DESCRIÇÃO DO ITINERÁRIO (CONTINUAÇÃO)

3.ª Feira	Centro Zootécnico da Fonte Boa (Cartaxo)	694 (11:34)
	Restaurante O Jardim (Santarém)	760 (12:40)
	Convento Almoster (Santarém)	900 (15:00)
	Castelo de Alcanede (Santarém)	963 (16:03)
	Torre das Cabaças (Santarém)	1046 (17:26)
	Portas do Sol (Santarém)	1077 (17:57)
	Ribeira de Santarém (Santarém)	1140 (19:00)
	Grande Hotel (Santarém)	1203 (20:03)
	Quinta da Cardiga (Golegã)	540 (9:00)
	Ruínas da Casa Memória de Camões (Constância)	623 (10:23)
	Aldeia do Arrepiado (Chamusca)	662 (11:02)
	Igreja Matriz da Chamusca	732 (12:12)
	Retiro do Faia (Chamusca)	780 (13:00)
	Quinta de Santa Marta (Chamusca)	886 (14:46)
	Museu Etnográfico (Almeirim)	925 (15:25)
	Igreja Matriz de Constância	1028 (17:08)
	4.ª Feira	Margens do Zêzere e Tejo (Constância)	1044 (17:24)
Povoação de Montalvo (Constância)		1078 (17:58)
Pensão Restaurante Sol Tejo (V. Nova da Barquinha)		1151 (19:11)
Pedreira do Galinha (Torres Novas)		600 (10:00)
Praça 5 de Outubro (Torres Novas)		665 (11:05)
Ruínas Romanas de Cardílium (Torres Novas)		685 (11:25)
Restaurante Torres Novas (Torres Novas)		750 (12:30)
Castelo de Almourol (V. Nova da Barquinha)		870 (14:30)
Paúl do Boquilobo (Golegã)		1016 (16:56)
Casa da Azinhaga (Golegã)		1156 (19:16)
5ª Feira	Largo do Seminário (Santarém)	11

Começamos por constatar que a solução obtida é admissível e está de acordo com regras impostas nas heurísticas para a construção de um itinerário, nomeadamente não existir manhãs livres, não visitar dois recursos turísticos do mesmo tipo um a seguir ao outro,

⁸ O tempo de chegada ao nó origem/destino do itinerário não é calculado pelas heurísticas, visto ter um custo de viagem nulo, logo não interferindo na construção do itinerário.

admissibilidade em todas as restrições temporais, não fazer viagens de longa duração sem paragens e não visitar o mesmo ponto turístico mais do que uma vez.

Verifica-se que o primeiro dia (segunda-feira) que constitui este itinerário cobre uma determinada zona não ultrapassando um raio de 20 a 25 Km, correspondendo à zona próxima do início do itinerário. No entanto, e para quem conhece esta zona poderá parecer um pouco estranho as viagens efectuadas no início do dia entre Vila Chã de Ourique (onde fica o Monumento da Batalha de Ourique e o Solar dos Chavões) e Cartaxo (onde fica o Cruzeiro Manuelino e a Coleção de Miniaturas), mas estas sucessivas viagens são perfeitamente explicáveis em termos de restrições temporais, pois iniciando a visita ao Monumento da Batalha de Ourique às 9:12 tendo um tempo de duração da visita de 15mn e estando a dois minutos de distância do Cruzeiro Manuelino e a meio minuto do Solar do Chavões, o algoritmo opta pelo primeiro pois o segundo só abre às 9:30, logo teria que estar algum tempo à espera o que não acontece na visita ao Cruzeiro Manuelino.

O mesmo se passa entre a Coleção de Miniaturas e o Solar dos Chavões. É claro que, do ponto de vista prático, evitar estes tempos de espera tão curtos pode parecer excessivo no entanto, em trabalhos futuros e com o apoio de responsáveis desta área poderão ser ajustados parâmetros e definidos outros considerados também importantes no desenho de itinerários.

Outra observação que podemos fazer com relação à solução apresentada no quadro n.º 18, diz respeito às viagens que são realizadas após o almoço ou logo de manhã quando se inicia um subitinerário.

Analisando com cuidado verifica-se que a saída na segunda-feira do restaurante em Santarém é feita para um ponto relativamente distante comparativamente com outros que poderiam ser visitados mesmo na cidade, no entanto, pelo facto de ser interessante e difícil de escalonar pois está geograficamente disperso o algoritmo aproveitou o tempo entre o término do almoço e a abertura dos pontos turísticos, que ocorre na maioria dos casos entre as 14:30 e as 15:00, para escalonar a visita a esse ponto mais disperso e evitando novamente tempos de espera.

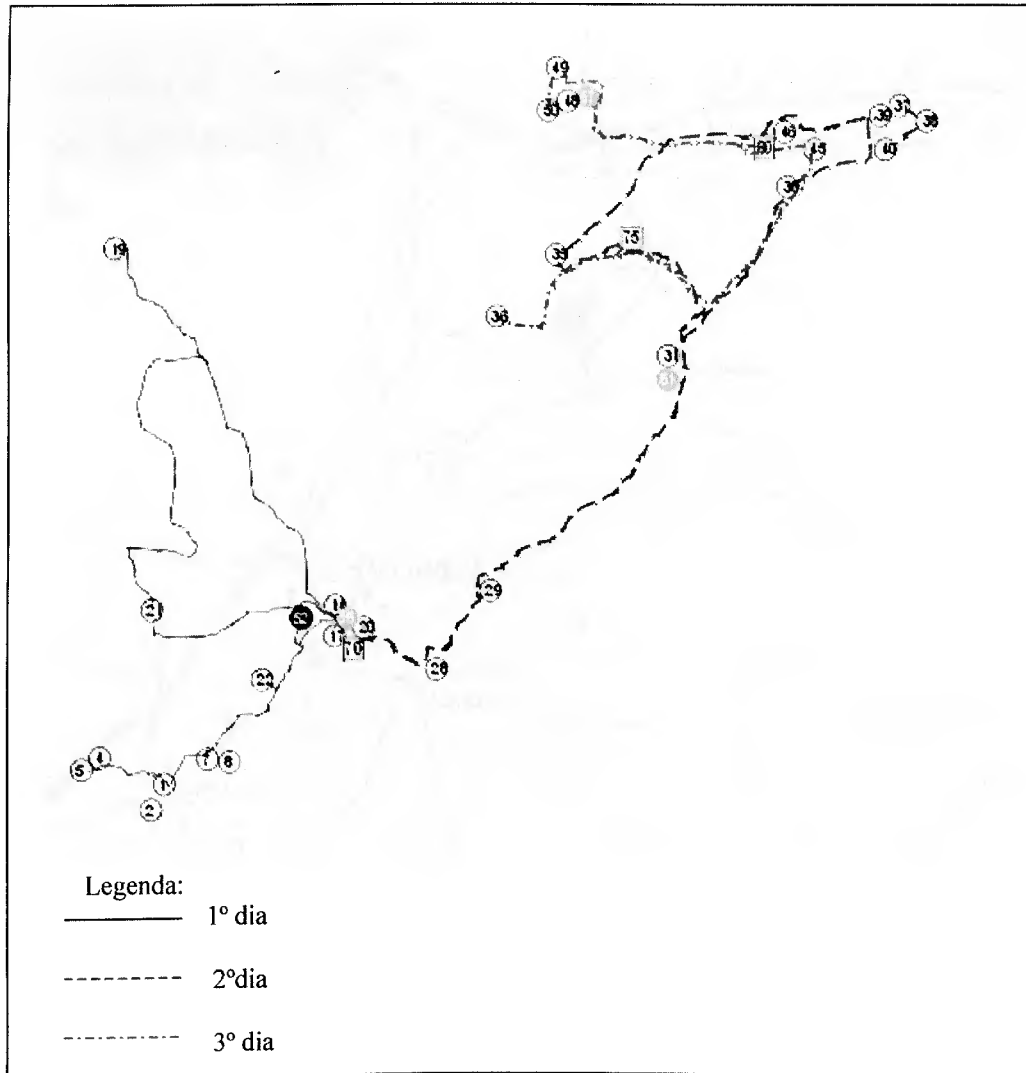
Pode-se verificar um comportamento idêntico no início de cada dia do itinerário construído pelo algoritmo, onde é aproveitado o período inicial da manhã, a partir das 8 horas até à abertura dos pontos turísticos que ocorre na maioria dos casos entre as 9 e as 10 horas, para haver um deslocamento para as zonas mais distantes do local de dormida (ver como exemplo terça e quarta-feira).

Com relação ao dia de quarta-feira, último dia do itinerário, e onde os valores da utilidade e do custo são mais baixos comparativamente com os outros dois dias anteriores, pois são visitados menos pontos turísticos, o que era de esperar devido ao facto do método utilizado para construir os itinerários na 1.^a fase do 2.^o nível do algoritmo também ser um pouco *greedy*. Verificando este subitinerário com mais cuidado, constata-se que os pontos turísticos que são visitados nesse dia têm um tempo previsto de duração da visita muito superior ao normal, por exemplo, a Pedreira do Galinha tem uma duração de visita de 1 hora, o Castelo de Almourol e o Paúl do Boquilobo têm uma duração aproximadamente de duas horas cada, o que nos leva a crer não existirem elevados tempos de espera neste subitinerário.

Podemos concluir estes comentários à solução constatando que é uma boa solução em termos turísticos mas, dados os pontos turísticos que foram considerados nesta instância (entre 4 a 10 pontos turísticos por concelho), poderia ser melhorada. Por exemplo, na terça-feira, quando se visita a Quinta da Cardiga na Golegã, poderiam nesta altura ser visitados mais dois pontos turísticos que se encontravam em funcionamento, contudo escolheu-se um percurso diferente.

Na página seguinte encontra-se uma representação geográfica da solução descrita.

FIGURA N.º 25 – REPRESENTAÇÃO GEOGRÁFICA DA SOLUÇÃO



5. CONCLUSÕES E PISTAS PARA INVESTIGAÇÕES FUTURAS

A problemática da construção de políticas de turismo e da implementação de acções concretas que valorizem a utilização equilibrada de recursos turísticos assume uma relevância crescente no desenvolvimento sócio-económico das regiões. A um micro-nível, a construção de itinerários turísticos que possibilite uma utilização equilibrada e integrada desses recursos turísticos constitui um problema, ao qual tem sido prestada alguma atenção, mas para o qual não têm sido apresentadas soluções concretas, do ponto de vista de uma abordagem científica e técnica, pela aplicação dos conhecimentos disponíveis, tais como as metodologias no âmbito da investigação operacional e da área científica da optimização em redes.

Esta dissertação teve por objectivo apresentar uma solução para o desenho optimizado de itinerários turísticos. Constituindo um trabalho de investigação aplicada, procedeu-se à identificação das características fundamentais do problema, sua formalização matemática e apresentação de técnicas heurísticas no âmbito da optimização em redes. As heurísticas criadas foram testadas computacionalmente e aplicadas a um caso de estudo real, tendo sido obtidos resultados considerados satisfatórios.

O enquadramento e a apresentação do problema foram discutidos ao longo de todo o primeiro capítulo desta dissertação.

Procedeu-se então, no segundo capítulo deste trabalho, à apresentação de formalizações, em Optimização em Redes e em Programação Binária Mista para o Problema do Desenho de Itinerários Turísticos. Tendo sido depois apresentadas as semelhanças e as diferenças entre estas formalizações e as apresentadas na literatura que lhes serviram de inspiração.

Na abordagem deste tópico, foi utilizado como suporte metodológico fundamental os quadros teóricos de referência existentes para o Problema de Rotas com Janelas Temporais.

Depois de formalizado o problema no capítulo 2, no terceiro capítulo procedeu-se ao desenvolvimento de heurísticas para a obtenção de uma solução. Numa primeira secção

foram apresentadas referências teóricas consideradas relevantes e que serviram de inspiração na construção das heurísticas, quer para obtenção de subitinerários (Heurística do Vizinho Mais Próximo e Heurística de Inserção) quer para obtenção de um itinerário (Heurística Desenha Itinerário e Heurística de Diversificação e Intensificação). No primeiro caso as duas heurísticas construídas resultaram de uma adaptação das heurísticas construtivas para o PRJT e no segundo caso de uma adaptação de heurísticas construtivas para os problemas de escalonamento, bem como da heurística de diversificação e intensificação para o PRV.

Constituiu ainda objectivo deste trabalho o teste computacional das heurísticas com aplicação a um caso de estudo real. Procedeu-se assim à implementação computacional das heurísticas criadas, sendo utilizada uma linguagem de alto-nível, suportando uma metodologia orientada a objectos – o que garante a reutilização do código especificado em implementações posteriores do modelo.

Foram utilizados como dados de teste do modelo um conjunto exaustivo de informação, recolhido e tratado pela autora da investigação, abrangendo alguns dos recursos turísticos da Região de Santarém.

A análise dos resultados de aplicação do modelo a dados concretos, a partir da sua implementação computacional, mostra que se trata de uma metodologia adaptada ao desenho de itinerários turísticos de boa qualidade em relação aos objectivos de maximizar a utilidade e minimizar o custo. No entanto serão abusivas todas as conclusões que se possam tirar desta experimentação reduzida.

São finalmente discutidos um conjunto de limitações reconhecidas nesta versão do modelo, bem como indicadas algumas pistas para investigações futuras.

Este trabalho apresenta um conjunto de limitações/restrições, que pela natureza do problema a tratar teriam de ser necessariamente impostas.

Assim, a primeira pista para alterações posteriores consiste na flexibilização de hipóteses simplificadoras características do caso particular resolvido, possibilitando o alargamento do seu âmbito de aplicação.

Apresenta-se em seguida uma lista de potenciais flexibilizações às hipóteses do modelo:

- alargamento do período global do itinerário turístico (para além dos 7 dias considerados actualmente);
- existência de interrupções no itinerário turístico (o que não é permitido no modelo actual);
- maior flexibilidade nas restrições temporais dos intervalos de “hora do almoço” (12:30 – 14:30) e “hora do jantar/pernoitar” (a partir das 19:00);
- possibilidade do itinerário ter início em qualquer dia da semana;
- eliminação da restrição de existência de no máximo duas janelas temporais (manhã e tarde), alargando-se o modelo para consideração de outros potenciais períodos;
- flexibilização da condição de circulação a velocidades médias de 70 Km/h, permitindo velocidades variáveis;
- alargamento do modelo para a consideração de redes de transporte para além da via rodoviária (vias ferroviária, pedestre, ciclo-turística, equestre, entre outras possíveis);
- possibilidade de existência de manhãs livres;
- possibilidade de início e término do itinerário mais tarde;
- planeamento de diversões nocturnas.

As condições referidas acima, constituem um alargamento da abrangência do modelo, considerando hipóteses que não tinham sido contempladas no PDIT e que nalguns casos dada à sua complexidade, não poderiam ser testadas computacionalmente numa primeira versão de abordagem do problema, embora algumas das condições acima referidas pudessem ter sido introduzidas sem grandes alterações.

Ficará para trabalho futuro o estudo da complexidade computacional do PDIT.

Relativamente à formalização em Programação Binária Mista apresentada para o PDIT, poderemos constatar que é uma formalização que se aproxima do problema real onde, neste último, é feito um planeamento de itinerários diários, daí resultando um itinerário global. Logo, esta formalização, está intimamente relacionada com a metodologia (heurísticas), adoptada para este problema, facilitando assim sua compreensão.

Uma última referência deve ser feita ao processo de teste computacional do modelo na sua versão actual e às perspectivas de sua implementação futura.

No que respeita ao desenvolvimento dos métodos heurísticos e ao teste computacional do modelo criado, poderão ainda ser revistos alguns procedimentos, introduzindo factores de optimização no código já especificado.

Com relação à metodologia adoptada para a construção de subitinerários (replicação dos nós) em problemas de grandes dimensões poder-se-á pensar em efectuar previamente um *clustering* de pontos turísticos. Aliás, no plano de desenvolvimento turístico em discussão (ver referência na secção 1.3.1, pág. 15), uma das principais directrizes vem exactamente neste sentido.

Devido à necessidade de utilização de soluções diversificadas como *input* da Heurística de Diversificação e Intensificação, dever-se-á em estudos posteriores explorar outras formas de construção de uma maior variedade de itinerários.

A pesquisa melhorativa utilizada na Heurística de Diversificação e Intensificação deverá ser mais explorada, permitindo por um lado avaliar trocas de arcos e nós no mesmo subitinerário, entre subitinerários e entre nós não visitados com nós inseridos no itinerário de forma a obter uma solução melhor. No entanto, em termos computacionais essa situação envolveria um maior grau de complexidade.

Face à subjectividade das variáveis relativas à avaliação de um determinado itinerário turístico, poder-se-á pensar, por um lado, em utilizar a optimização interactiva de modo a permitir ao utilizador poder rever alguns parâmetros “injectando” condições subjectivas no modelo, por outro, tentar aplicar técnicas de optimização na avaliação

dos recursos turísticos mediante as necessidades do utilizador, nomeadamente na classificação da utilidade dos recursos turísticos (ver nesta matéria o trabalho de Schifferl [1998]).

Por outro lado, a utilização de uma metodologia orientada a objectos e de uma linguagem de alto nível, possibilita uma fácil extensão futura do modelo a novas revisões, através da reutilização do código actual, bem como a inclusão de componentes gráficas e animações que possibilitem uma visão mais dinâmica do processo de construção dos próprios itinerários.

Constituiu parte importante deste trabalho a recolha e tratamento de dados sobre a utilização de recursos turísticos na Região de Santarém. Nesta fase de teste do modelo, foram utilizados somente alguns dos dados já recolhidos e tratados, pelo que é intenção da autora o posterior teste alargado a toda a informação já recolhida sobre a Região. Por outro lado, é ainda intenção prosseguir com uma recolha ainda mais exhaustiva de todos os recursos potencialmente existentes nesta região, e mesmo potenciar um processo de recolha sistemática deste tipo de informação.

A autora considera mesmo a hipótese de proceder à implementação de um sistema de informação de apoio à decisão, com uma importante componente de Sistemas de Informação Geográfica, no que respeita ao aproveitamento de recursos turísticos, nomeadamente à construção optimizada de itinerários turísticos. Seria depois interessante a divulgação desse modelo junto de responsáveis de instituições, como Regiões de Turismo, Câmaras Municipais, etc, e posterior validação.

Esta dissertação teve por objectivo apresentar formalizações e desenvolver heurísticas para o Problema do Desenho Optimizado de Itinerários Turísticos. Na sua versão actual, o modelo permitiu encontrar para o caso em estudo – Região de Santarém – resultados considerados satisfatórios. Contudo, e tal como referido são conhecidas as limitações actuais, sendo abusivo tentar tirar conclusões desta experimentação reduzida, no entanto são também conhecidas as possibilidades de investigação futura com vista a uma melhoria significativa da solução proposta actualmente.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] Appelgren, L. H. (1969), A Column Generation Algorithm for a Ship Scheduling Problem, *Transportation Science*, 3, 53–68.
- [2] Appelgren, L. H. (1971), Integer Programming Methods for a Vessel Scheduling Problem, *Transportation Science*, 5, 64–78.
- [3] Ball, M. O., Magnanti, T. L., Monna, C. L. e Nemhauser, G. L. (1995), *Network Routing*, Vol. 8, Handbooks in Operations Research and Management Science, Amsterdam: North Holland.
- [4] Bodin, L. e Golden, B. (1981), Classification in Vehicle Routing and Scheduling, *Networks*, 11, 97–108.
- [5] Bodin, L., Golden, B., Assad, A. e Ball, M. (1983), Routing and Scheduling of Vehicles and Crews : The State of The Art, *Computers & Operations Research*, 10, No. 2.
- [6] Brandão, J. C. S. (1997), Descrição de um Novo Algoritmo para o Problema de Escalonamento e Roteamento de Veículos e Análise Comparativa do seu Desempenho, *Investigação Operacional*, 17, 163–178.
- [7] Caldas, A. (1997), Modelo Conceptual de um Sistema de Informação Nacional sobre Projectos de Investigação Científica e Tecnológica, Tese de Mestrado, Lisboa:ISEG.
- [8] Christofides, N., Mingozzi, A. e Toth, P. (1981a), State-Space Relaxation Procedures for the Computation of Bounds to Routing Problems, *Networks*, 11, 145–164.
- [9] Christofides, N., Mingozzi, A. e Toth, P. (1981), Exact Algorithms for the Vehicle Routing Problem Based on the Spanning Tree and Shortest Path Relaxations, *Mathematical Programming*, 20, 255–282.
- [10] Clarke, G. e Wright J. (1964), Scheduling of Vehicles from a Central Depot to a Number of Delivery Points, *Operations Research*, 12, 568–581.
- [11] Colaço, S. (1997), Análise Factorial e Clustering das Variáveis de Desenvolvimento na Região de Santarém, trabalho realizado no âmbito da disciplina de Análise de Dados do Mestrado em Matemática Aplicada à Economia e à Gestão, Lisboa: ISEG.
- [12] Dantzig, G., Fulkerson, D. e Johnson, S. (1954), Solution of a Large-Scale Traveling Salesman Problem, *Operations Research*, 2, 393–410.
- [13] Derigs, U. e Grabenbauer, G., (1993), A new heuristic approach to the Vehicle Routing Problem with Time Windows, with a Bakery Fleet Case, *American Journal of Mathematical and Management Sciences*, 13, No.3 e 4, 249–266.

- [14] Desrochers, M., Desrosiers, J. e Solomon, M. M. (1992), A New Optimization Algorithm for the Vehicle Routing Problem With Time Windows, *Operations Research*, 40, 342–354.
- [15] Desrosiers, J., Soumis, F. e Desrochers, M. (1984), Routing With Time Windows by Column Generation, *Networks*, 14, 545–565.
- [16] Ford, L. e Fulkerson, D. R. (1962), *Flows in Networks*, Princenton University Press, Princenton, N.J..
- [17] Gendreau, M., Hertz, A. e Laporte, G. (1993), A Tabu Search Heuristic for the Vehicle Routing Problem, Centre de Recherche sur les Tranports, Publication 777, Université de Montreal.
- [18] Gillet, B. e Miller, L. (1974), A Heuristic Algorithm for the Vehicle Dispatch Problem, *Operations Research*, 22, 240–349.
- [19] Guia do Investimento na Região de Santarém (1997), Núcleo Empresarial da Região de Santarém (NERSANT), Santarém.
- [20] Guia Expresso das Cidades e Vilas Históricas de Portugal (1996), Expresso, Edição N.º 1250, Lisboa.
- [21] Guia Expresso de Portugal (1995), Expresso, Edição N.º 1187, Lisboa.
- [22] Hatzopoulos, M., Vazirgiannis, M. e Rizos, I. (1993), HADT: Hypermedia Application Development Tool for Tourist Applications, *European Journal Information Systems*, 2, No. 2, 91–101.
- [23] Kohl, N. e Madsen, O. B. G. (1995), An Optimization Algorithm for the Vehicle Routing Problem With Time Windows Based on Lagrangian Relaxation, *Operations Research*, 45, 395–406.
- [24] Kolen, A. W. J., Rinnooy Kan, A. H. G. e Trienekens, J. M. (1987), Vehicle Routing with Time Windows, *Operations Research Society of America*, 35, No.2, 266–273.
- [25] Landany, S. P. (1996), Optimal Market Segmentation of Hotel Rooms – The Non Linear Case, *Omega*, 24, No. 1, 29–36.
- [26] Lin, S. (1965), Computer Solutions of The Traveling Salesman Problem, *Bell System Technology Journal*, 44, 2245–2269.
- [27] Lin, S. e B. Kernighan (1973), An Effective Heuristic Algorithm for the Traveling Salesman Problem, *Operations Research*, 21, 498–516.
- [28] Mapa ACP 1998/9 (1998), Mapa das Estradas, Edição n.º 91, Lisboa.
- [29] Potvin, J. e Rousseau, J. (1993), A Parallel Route Building Algorithm for the Vehicle Routing and Scheduling Problem With Time Windows, *European Journal of Operational Research*, 66, 331–340.

- [30] Rochat, Y. e Semet, F. (1994), A Tabu Search Approach for Delivering Pet Food and Flour in Switzerland, *Journal of Operations Research Society*, 45, No.11, 1233–1246.
- [31] Rochat, Y. e Taillard, E. D. (1995), Probabilistic Diversification in Local Search for Vehicle Routing, *Journal of Heuristics*, 1.
- [32] Rota da Vinha e do Vinho do Ribatejo (1996), Região de Turismo do Ribatejo, Santarém.
- [33] Roteiro de Portugal Turístico (1984), Círculo de Leitores, Lisboa.
- [34] Russel, R. e Igo, W. (1979), An Assignment Routing Problem, *Networks*, 9, 1–17.
- [35] Savelsberg, M. (1984), Private Communication by Rinnooy Kan, A.H.G..
- [36] Schifferl, E. (1998), Genetic Algorithms for Tourism Product Optimization Application of an Interactive GA for the Evaluation of Tourism Products, Institute for Tourism and Leisure Studies University of Economics and B.A., Vienna.
- [37] Solomon, M. M. (1987), Algorithms for the Vehicle Routing and Scheduling Problem with Time Constraints, *Operations Research*, 35, 254–265.
- [38] Solomon, M. M. e Desrosiers J. (1988), Time Window Constrained Routing and Scheduling Problems, *Transportation Science*, 22, 1–13.
- [39] Wren, A. (1998), Heuristics Ancient and Modern: Transport Scheduling Through the Ages, *Journal of Heuristics*, 4, 87–100.

ANEXOS TÉCNICOS

ANEXO 1 – PSEUDO-CÓDIGO DAS HEURÍSTICAS IMPLEMENTADAS

ALGUMAS CONSIDERAÇÕES SOBRE A NOTAÇÃO UTILIZADA NO PSEUDO-CÓDIGO

As heurísticas implementadas para este trabalho são apresentados no anexo seguinte, em pseudo-código com algum nível de detalhe. De modo a facilitar a sua leitura, será utilizada a mesma nomenclatura das formalizações apresentadas para o PDIT e serão feitas algumas considerações relativamente a esse anexo.

- Todos os procedimentos utilizados pelos algoritmos “principais” são destacados a *bold*, nesses algoritmos e só depois é apresentada a sua definição. Nalguns casos não são apresentados porque são funções pré-definidas.
- Todos os comentários aparecem no texto entre chavetas.
- A indicação do dia da semana em que o nó i (quer seja cópia ou original) funciona é dada por

$$\text{diasemana}(i)$$

- Para calcular o tempo que demora a viajar de um nó i para um nó j , atendendo que se considera uma velocidade constante de 70 km/h, utiliza-se a seguinte expressão:

$$t_{ij} \leftarrow d_{ij} \times 60 / 70$$

- Para calcular os custos de viajar do nó i para o nó j , atendendo que se considerou o custo de 9 esc/km, utiliza-se a seguinte expressão:

$$c_{ij} \leftarrow d_{ij} \times 9$$

- Em alguns pontos dos algoritmos e dos procedimentos aparece a expressão $i \in N^s$, tal que $s \in S$, embora em termos formais esta expressão só se utilize para identificadores de nós originais, nestes anexos será utilizada indistintamente para identificadores de nós originais e de nós cópia, isto é quer i seja um IdCópia ou um IdNo.
- O procedimento **Aleat**(X) selecciona aleatoriamente um elemento do conjunto X , considerando uma distribuição uniforme discreta em X .
- O procedimento **ExistRest**(X) verifica se no subitinerário X existe ou não um restaurante.
- O procedimento **Converter**(X), converte os IdCópias dos nós no subitinerário X em IdNós Originais.
- A contabilização do tempo utilizada no pseudo-código é representada em minutos.
- As expressões **ultimo(rota)** e **primeiro(rota)** traduzem respectivamente o último e o primeiro elemento do subitinerário.

PSEUDO-CÓDIGO DA HEURÍSTICA DO VIZINHO MAIS PRÓXIMO

Algoritmo_ construção_ subitinerários (*controta*)

Input: $D, R, R', OR, N', N'', G = (N, A), (d_{ij}, \forall (i,j) \in A), (u_i, \forall i \in N'), G^s = (N^s, A^s),$

$\left[\left[e_{i,s}^m, l_{i,s}^m \right], \forall i \in N', \forall s \in S, \forall m \in \{1,2\} \right]$

Output: k^s - subitinerários para todos os dias da semana de planeamento.

$k = 0, 1, \dots, \text{controta}-1$ {identificador do subitinerário, sendo *controta* o número total de subitinerários}

$s = 1, 2, \dots, 7$ {representa o dia da semana para o qual foi planeado o subitinerário k }

utilidade(k^s) - utilidade total do subitinerário k^s

custo(k^s) - custo total do subitinerário k^s

T_i - tempo de início de visita ao nó $i, \forall i \in k^s, \forall s \in S, k = 0, 1, \dots, \text{controta}-1$

st_k - start time do subitinerário k^s

et_k - end time do subitinerário k^s

Begin

$N_{vist} \leftarrow N''$ {inicialização dos nós não visitados, com as cópias dos nós turísticos de N' }

$IdDormida \leftarrow D$ {inicialização dos nós onde é possível pernoitar}

$IdRestaurante \leftarrow R'$ {inicialização das cópias dos restaurantes}

$\text{distancias} \leftarrow d_{ij}, \forall (i,j) \in A$ {inicialização da matriz de distancias entre os nós pertencentes a N }

$N_{adorig} \leftarrow \emptyset$ {inicialização dos nós não admissíveis para serem nós origem}

$k \leftarrow 0$ {inicialização do número de subitinerários construídos}

$\text{terminar} \leftarrow \text{False}$

line1:

While ($N_{vist} \neq \emptyset$ And $\text{terminar} = \text{False}$) **Do**

Begin

{inicialização do subitinerário k^s }

$k^s \leftarrow \emptyset$ $st_k \leftarrow 0$ $et_k \leftarrow 0$

$s \leftarrow 0$ {representa o dia da semana}

$\text{custo}(k^s) \leftarrow 0$ {inicialização do custo do subitinerário k^s }

$\text{utilidade}(k^s) \leftarrow 0$ {inicialização da utilidade do subitinerário k^s }

$\text{contno} \leftarrow 0$ {inicialização do número de nós do subitinerário}

{Determinação do nó origem para um subitinerário e actualização do subitinerário}

$o \leftarrow \text{Origem}(\text{terminar})$

If $\text{terminar} = \text{True}$ **Then**

Goto line1

End If

If $o \in N'$ **Then** {caso em que o nó seleccionado funciona apenas à segunda-feira}

$st_k \leftarrow 540$ {9h}

$s \leftarrow 1$

{como o subitinerário corresponde a uma segunda-feira o início será feito num ponto $or \in OR$, isto é um ponto origem/destino do itinerário}

$k^s.(contno) \leftarrow or$

$\text{contno} \leftarrow \text{contno} + 1$

$T_{or}^k \leftarrow 540$

$tact \leftarrow 540$

$T_o^k \leftarrow \min\{tact + (\text{distancias}(or,o) \times 60/70), e_{o,1}^1\}$

$k^s.(contno) \leftarrow o$

$\text{contno} \leftarrow 2$ {representa o nº de nós na rota}

$\text{custo}(k^s) \leftarrow \text{distancias}(or,o) \times 9$ {considerou-se um custo de 9\$00/Km}

$\text{utilidade}(k^s) \leftarrow u_o$

Algoritmo_ construção_ subitinerários (*controta*) - continuação

{atualizações: retirar o elemento o dos nós não visitados, e dos nós possíveis de visitar à segunda-feira}

$tact \leftarrow T_o^k$

$Nvist \leftarrow Nvist \setminus \{o\}$

$N' \leftarrow N' \setminus \{o\}$

Else {subitinerário para outro dia da semana, excepto segunda-feira}

$s \leftarrow diasemana(o)$

$k^s(contno) \leftarrow o$

$st_k \leftarrow \min\{540, e_{o,s}^1\}$

$tact \leftarrow st_k$

$T_o^k \leftarrow st_k$

$Nvist \leftarrow Nvist \setminus \{o\}$ {atualização dos nós não visitados}

$contno \leftarrow 1$

$custo(k^s) \leftarrow 0$ {como é o primeiro nó a ser visitado neste subitinerário logo não existem ainda custos}

$utilidade(k^s) \leftarrow u_o$

$N^s \leftarrow N^s \setminus \{o\}$ {atualização}

End If

{enquanto o subitinerário não tiver um nó dormida a construção deste continua}

While Not Destino (k^s) **Do**

{determinar o ponto turístico mais próximo do último elemento da rota em construção}

Begin

$Nadmss \leftarrow \emptyset$ {inicialização dos nós não admissíveis de serem inseridos no subitinerário corrente}

$i \leftarrow \text{Vizinho_mais_próximo}$ ($ultimo(k^s), tact, Nadmss, k^s$)

{se o nó não é admissível de inserir no subitinerário no instante $tact$ seleccionar um novo vizinho mais próximo}

While Not Admissível ($i, tact, ultimo(k^s), k^s$) **Or** ($i=0$) **Do**

Begin

$Nadmss \leftarrow \{i\}$

$i \leftarrow \text{Vizinho_mais_próximo}$ ($ultimo(k^s), tact, Nadmss, k^s$)

WEnd

If ($i \in IdRestaurante$) **Then**

$tact \leftarrow \min\{tact + (\text{distancias}(ultimo(k^s), i) \times 60/70) + dv_{ultimo(k^s)}, 750\}$

Else

If ($i \in IdDormida$) **Then**

$tact \leftarrow \min\{tact + (\text{distancias}(ultimo(k^s), i) \times 60/70) + dv_{ultimo(k^s)}, 1140\}$

Else

If ($tact + (\text{distancias}(ultimo(k^s), i) \times 60/70) + dv_{ultimo(k^s)} < e_{i,s}^1$) **Then**

$tact \leftarrow e_{i,s}^1$

Else

If ($tact + (\text{distancias}(ultimo(k^s), i) \times 60/70) + dv_{ultimo(k^s)} < l_{i,s}^1$) **Then**

$tact \leftarrow tact + (\text{distancias}(ultimo(k^s), i) \times 60/70) + dv_{ultimo(k^s)}$

Else

$tact \leftarrow \min\{tact + (\text{distancias}(ultimo(k^s), i) \times 60/70) + dv_{ultimo(k^s)}, e_{i,s}^2\}$

End If

End If

End If

$T_i^k \leftarrow tact$

$k^s(contno) \leftarrow i$

$contno \leftarrow contno + 1$

If ($i \notin IdRestaurante$ **And** $i \notin IdDormida$) **Then**

$Nvist \leftarrow Nvist \setminus \{i\}$

$N^s \leftarrow N^s \setminus \{i\}$

End If

WEnd

END Construção_ subitinerários

PROCEDIMENTOS

{Objectivo: determinar aleatoriamente um nó i ainda não visitado ($i \in N_{vist}$) e tal que $i \notin N_{adorig}$, para ser origem do subitinerário em construção, caso não seja possível, retorna o valor 0 e $terminar = \text{False}$ }

Procedimento_Origem (*terminar*)

Begin

$x \leftarrow \text{False}$

While Not x Do

Begin

$i \leftarrow \text{Aleat}(N_{vist} \setminus N_{adorig})$

If AdmssTempOrig ($e_{i,s}^1$) Then

If $i \in N^1$ Then

{se o subitinerário que está a ser construído é para uma segunda-feira, então o nó i não deverá ser muito distante do nó or (origem do itinerário)}

If $540 + (\text{distancias}(or, i) \times 60/70) > 600$ Then

{a condição acima é traduzida garantido que o tempo de chegada a i , sendo o tempo de partida em or às 9:00, não pode ser superior às 10:00}

$x \leftarrow \text{False}$

$N_{adorig} \leftarrow i$

Else

$x \leftarrow \text{True}$

Origem $\leftarrow i$

Exit Function

End If

Else {se funciona a outro dia da semana}

$x \leftarrow \text{True}$

Origem $\leftarrow i$

Exit Function

End if

Else

$x \leftarrow \text{False}$

$N_{adorig} \leftarrow i$

End If

If $N_{vist} \subset N_{adorig}$ Then {significa que embora não tenhamos de visitar todos os nós não é possível iniciar uma nova rota }

$terminar \leftarrow \text{True}$

$x \leftarrow \text{True}$

Origem $\leftarrow 0$ {valor retornado por defeito quando já não é possível iniciar um novo subitinerário}

End If

WEnd

End Origem

{Objectivo: Verificar se o último elemento do subitinerário em construção é um nó dormida}

Procedimento_Destino (k^r)

Begin

If ultimo(k^r) $\notin IdDormida$ Then

Destino $\leftarrow \text{False}$

Else

Destino $\leftarrow \text{True}$

End If

End Destino

{Objectivo: Verificar se é admissível inserir, na última posição (a seguir ao elemento *ultimo*), o nó *i* no subitinerário corrente }

Procedimento Admissivel (*i*, *tact*, *ultimo*, *k'*)

Begin

If AdmsTemp (*i*, *tact*, *ultimo*) Then

If (*i* \notin *IdDormida*) Then {estamos na situação em que teremos que verificar a admissibilidade destino e admissibilidade de almoço}

If Not ((*i* \in *IdRestaurante*) Or ExisteRest (*k'*)) Then

{determinação do tempo previsto para início da visita}

$tempaux1 \leftarrow tact + dv_{ultimo} + (distancias(ultimo, i) \times 60/70)$

If $tempaux1 \leq e_{i,s}^1$ Then {permitido tempo de espera}

$tempaux \leftarrow e_{i,s}^1$ {início da visita no limite inferior da janela temporal de *i*}

Else

If $tempaux1 \leq l_{i,s}^1$ Then

$tempaux \leftarrow tempaux1$

Else

If $tempaux1 \leq e_{i,s}^2$ Then

$tempaux \leftarrow e_{i,s}^2$

Else

$tempaux \leftarrow tempaux1$

End If

End If

End If

{verificar se estamos nas condições de verificar a admissibilidade de almoço}

If $tempaux \leq 870$ Then

$temp \leftarrow tempaux + dv_i$

If $temp \geq 750$ Then

{estamos nas condições de verificar a admissibilidade de almoço}

$x1 \leftarrow \text{AdmsRest}(i, temp)$

Else

$x1 \leftarrow \text{True}$

End If

Admissivel $\leftarrow x1$

Else

Admissivel $\leftarrow \text{False}$

End If

Else

{caso *i* seja restaurante ou existe restaurante no subitinerário}

If ExisteRest (*k'*) Then

$tempaux1 \leftarrow tact + dv_{ultimo} + (distancias(i, ultimo) \times 60/70)$

If $tempaux1 \leq e_{i,s}^2$ Then

$tempaux \leftarrow e_{i,s}^2$

Else

$tempaux \leftarrow tempaux1$

End If

If $tempaux \geq 1140$ Then

$temp \leftarrow tempaux1 + dv_i$

$x2 \leftarrow \text{Admsdestino}(i, temp)$

Else

$x2 \leftarrow \text{True}$

End If

Admissivel $\leftarrow x2$

Else

Admissivel $\leftarrow \text{True}$

End If

End If

Procedimento_Admissível (*i*, *tact*, *ultimo*, k^s) - continuação

```

    Else
        {se i é um nó dormida então não é necessário verificar as admissibilidades anteriores }
        Admissível ← True
    End If
    Else
        Admissível ← False
    End If
End Admissível

```

{Objectivo: Verificar se é temporalmente admissível inserir o nó *i* após o *ultimo* }

Procedimento_AdmsTemp (*i*, *tact*, *ultimo*)

```

Begin
    tempaux ←  $tact + dv_{ultimo} + (distancias(i, ultimo) \times 60/70)$ 
    If ( $i \notin IdRestaurante$  And  $i \notin IdDormida$ ) Then
        For  $m = 1$  to 2 Do
            If  $tempaux \leq l_{i,s}^m$  Then
                AdmsTemp ← True
                Exit Function
            End if
        Next
        AdmsTemp ← False
    Else
        If ( $i \in IdRestaurante$ ) Then
            If  $tempaux \leq 870$  Then
                AdmsTemp ← True
                Exit Function
            Else
                AdmsTemp ← False
                Exit Function
            End If
        Else
            If  $tempaux \leq 1230$  Then
                AdmsTemp ← True
                Exit Function
            End If
        End If
    End AdmsTemp

```

{Objectivo: Verificar se o nó *i* tem algum restaurante na lista dos seus adjacentes possível de visitar}

Procedimento_AdmsRest (*i*, *temp*)

```

Begin
    {Os adjacentes de i são todos os nós j, tais que existe um arco (i,j)}
    For Each j in Adjacentes (i)
        If ( $j \in IdRestaurante$ ) And ( $temp + distancias(i,j) \times 60/70 \leq 870$ ) Then
            If  $temp + (distancias(i,j) \times 60/70) \leq 870$  Then
                AdmsRest ← True
                Exit Function
            End If
        End If
    Next
    AdmsRest ← False
End AdmsRest

```

{Objectivo: Verificar se o nó i tem algum nó dormida na lista dos seus adjacentes possível de visitar}

Procedimento_AdmsDestino ($i, temp$)

Begin

For Each j in Adjacentes (i)

 If ($j \in IdDormida$) And ($temp + distancias(i,j) \times 60/70 \leq 1270$) Then

 AdmsDestino \leftarrow True

Exit Function

End If

Next

AdmsDestino \leftarrow False

End AdmsDestino

{Objectivo: Verificar se a visita ao nó i pode ser iniciada antes das 10:00 inclusivé}

Procedimento_AdmsTemporig ($e_{i,s}^1$)

Begin

 If $e_{i,s}^1 \leq 600$ Then

 AdmsTemporig \leftarrow True

Else

 AdmsTemporig \leftarrow False

End If

End AdmsTemporig

{Objectivo: Determinar o nó mais próximo de i em termos dos parâmetros anteriormente definidos}

Procedimento_Vizinho_mais_próximo ($i, tact, Nadms, k'$)

Begin

$nn \leftarrow 0$ {nearest neighbour}

 If ExisteRest (k') Then {Se existe restaurante na rota então retirar todos os restaurantes dos Adjacentes(i)}

 For Each j in Adjacentes(i)

 If ($j \in IdRestaurante$) Then

 Adjacentes (i) \leftarrow Adjacentes(i) \setminus $\{j\}$

End If

Next For

$metrica \leftarrow M$ {inicialização com um inteiro muito grande}

 {calcular a métrica para todas as arcos com origem no nó i , isto é arcos da forma (i,j),

$\forall j \in N^s \setminus Nadms$ }

 For Each j in Adjacentes (i)

$urgenc \leftarrow M$ {inicialização com um inteiro muito grande}

$espera \leftarrow M$ {inicialização com um inteiro muito grande}

 {procedimento que calcula simultâneamente o valor dos parâmetros $urgenc$ e $espera$ }

 Call Espera_Urgenc ($j, i, tact, urgenc, espera$)

 If $j \in IdRestaurante$ Then

$Adj \leftarrow \#$ (Adjacentes(j)) {Número total de elementos adjacentes}

$metricaux \leftarrow \delta_1 \times distancias(i,j) + \delta_2 \times urgenc + 2/3 \delta_3 \times espera + 1/3 \delta_3 \times Adj$

Else

$metricaux \leftarrow \delta_1 \times distancias(i,j) + \delta_2 \times urgenc + \delta_3 \times espera$

End If

 If $metricaux < metrica$ Then {encontrámos um novo candidato a vizinho+próximo}

$metrica \leftarrow metricaux$

$nn \leftarrow j$

End If

Next For

 Vizinho_mais_Próximo $\leftarrow nn$ {Este é o vizinho mais próximo de i }

End Vizinho_mais_Próximo

{Objectivo: Calcular os parâmetros *urgenc* e *espera*}

Procedimento Espera_Urgenc (*j*, *i*, *tact*, *urgenc*, *espera*)

If $j \in IdRestaurante$ **Then** {janela temporal definida entre 750 (12:30) e 870 (14:30)}

$tempaux \leftarrow tact + dv_i + (distancias(i,j) \times 60/70)$

$tempurg \leftarrow 870 - tempaux$

If $tempurg \geq 0$ **Then** {caso contrário não pode sequer ser visitado}

$urgenc \leftarrow tempurg$

End If

$T_j^k \leftarrow \min\{750, tempaux\}$

$espera \leftarrow T_j^k - (tact + dv_i)$

Else

If $j \in IdDormida$ **Then** {janela temporal definida entre as 19:00 (1140) e as 20:30 (1230)}

$tempaux \leftarrow tact + (distancias(i,j) \times 60/70) + dv_i$

$tempurg \leftarrow 1230 - tempaux$

If $tempurg \geq 0$ **Then**

$urgenc \leftarrow tempurg$

End If

$T_j^k \leftarrow \min\{1140, tempaux\}$

$espera \leftarrow T_j^k - (tact + dv_i)$

Else {nó normal}

For $m=1$ to 2

$tempaux \leftarrow tact + (distancias(i,j) \times 60/70) + dv_i$

$tempurg \leftarrow l_{j,s}^m - tempaux$

If $((tempurg \geq 0) \text{ And } (tempurg < urgenc))$ **Then**

$urgenc \leftarrow tempurg$

End If

If $tempaux \leq l_{j,s}^m$ **Then**

If $tempaux > e_{j,s}^m$ **Then**

$T_j^k \leftarrow tempaux$

Else

$T_j^k \leftarrow e_{j,s}^m$

End If

$esperaux \leftarrow T_j^k - (tact + dv_i)$

If $esperaux < espera$ **Then**

$espera \leftarrow esperaux$

End If

End If

Next

End If

End Espera_Urgenc



PSEUDO-CÓDIGO DA HEURÍSTICA CONSTRUTIVA DE INSERÇÃO.

Algoritmo_insercao_desenho_subitinerarios (*controta*)

Input: $D, R, R', OR, N', N^s, G = (N, A), (d_{ij}, \forall (i,j) \in A), (u_k, \forall k \in N'), G^s = (N^s, A^s),$
 $\left[\left[e_{i,s}^m, l_{i,s}^m \right], \forall i \in N', \forall s \in S, \forall m \in \{1,2\} \right]$

Output: k^s - subitinerários para todos os dias da semana de planeamento.
 $k = 0, 1, \dots, controta-1$ {identificador do subitinerário, sendo *controta* o número total de subitinerários}
 $s = 1, 2, \dots, 7$ {representa o dia da semana para o qual foi planeado o subitinerário k^s }
 utilidade(k^s) - utilidade total do subitinerário k^s
 custo(k^s) - custo total do subitinerário k^s
 T_i^k - tempo de início de visita ao nó $i, \forall i \in k^s, \forall s \in S, k = 0, 1, \dots, controta-1$
 st_k - start time do subitinerário k^s
 et_k - end time do subitinerário k^s

Begin

{inicializações}
 $Nvist \leftarrow N''$
 $IdDormida \leftarrow D$
 $IdRestaurante \leftarrow R'$
 $distancias \leftarrow d_{ij}, \forall (i,j) \in A$
 $Nadorig \leftarrow \emptyset$
 $k \leftarrow 0$
 $terminar \leftarrow \text{False}$
 Line 1:
While ($Nvist \neq \emptyset$ And $terminar = \text{False}$)

Begin

$contno \leftarrow 0$
Inicialização_Rota ($terminar$)
 $contnop \leftarrow 0$
 If $terminar = \text{True}$ Then {Significa que não é possível iniciar uma nova rota}
 Goto Line 1
 End If
 $ImplInserir \leftarrow \text{False}$
While ($ImplInserir = \text{False}$)
 Begin
 For Each i In $Nvist$
 If ($i \in N^s$) Then
 $auxc_j \leftarrow M$ { inicializar um inteiro muito grande}
 $auxNext \leftarrow 0$ {inicializar}
 $auxPrev \leftarrow 0$ {inicializar}
 For $j = 0$ To $contno-2$ {percorrer todas as posições possíveis no subitinerário}
 $prev \leftarrow j$
 $next \leftarrow j+1$
 If $auxc_j \geq \text{Calc1}(prev, i, next)$ Then
 $auxc_j \leftarrow \text{Calc1}(prev, i, next)$
 $auxprev \leftarrow prev$
 $auxnext \leftarrow next$
 End If
 End If
 End For
 End For
 $ImplInserir \leftarrow \text{True}$
 End While
 $contno \leftarrow contno + 1$
 $Nvist \leftarrow Nvist - i$
 $Nadorig \leftarrow Nadorig \cup i$
 End While

Next

Algoritmo_insercao_desenho_subitinerarios (*controta*) – continuação

{guardar a melhor posição para o nó i , esta informação é guardada numa estrutura Nop com 4 campos um com identificação do nó, outros dois com identificação da melhor posição onde poderá ser inserido e a última com o valor de c_1 }

Nop(*contnop*).idno $\leftarrow i$
 Nop(*contnop*).prev $\leftarrow auxprev$
 Nop(*contnop*).next $\leftarrow auxnext$
 Nop(*contnop*). c_1 $\leftarrow auxc_1$
contnop $\leftarrow contnop+1$

End If

Next

If *possivel_inserir* = **False** Then {já não é possível inserir mais nenhum cliente no subitinerário em construção}

Impinserir \leftarrow **True**
controta \leftarrow *controta*+1
contno \leftarrow 0

Else

auxc₂ \leftarrow -M {inicialização com um valor muito negativo}
 For $l = 0$ To *contnop*-1 {escolher o melhor cliente para inserir na rota}
 If *auxc₂* < Calc2(l) Then
 auxc₂ \leftarrow Calc2(l)
 elemento \leftarrow Nop(l).idno
 prev \leftarrow Nop(l).prev
 next \leftarrow Nop(l).next

End If

Next

Inserir (*elemento*, *next*, *prev*)
 { actualizações }
Nvist \leftarrow *Nvist*\{*elemento*\}
N^s \leftarrow *N^s*\{*elemento*\}

End If

Wend

Wend

End inserção_desenho_subitinerários

PROCEDIMENTOS

{Objectivo: Inicializar um subitinerário com uma origem um restaurante e um nó dormida; caso seja um subitinerário para uma segunda-feira terá que se adicionar no início o nó origem dos itinerários. A variável *terminar* fica com o valor **True** se estas operações forem possíveis caso contrário vem com o valor **False**}

Procedimento Inicialização_rota (*terminar*)

Begin

$x \leftarrow$ **False**

{determinar aleatoriamente um nó ainda não visitado ($\in N_{vist}$) e que não esteja na lista dos nós não admissíveis para origem ($\notin N_{dorig}$)}

line 1:

While not x **Do**

Begin

$i \leftarrow$ Aleat (*Nvist**N_{dorig}*)
 If AdmssTempOrig¹²($e_{i,s}$) Then
 If $i \in N'$ Then

¹² Procedimento descrito anteriormente.

Procedimento Inicialização_roteira (terminar) – continuação

{se o subitinerário que está a ser construído é para uma segunda-feira, então o nó i não deverá ser muito distante do nó $or \in OR$ (origem do itinerário)}

If $540 + (\text{distancias}(or,i) \times 60/70) > 600$ **Then**

{a condição acima é traduzida garantido que o tempo de chegada a i , sendo o tempo de partida em or às 540 (9:00), não pode ser superior às 600 (10:00) da manhã}

$x \leftarrow \text{False}$

$Nadorig \leftarrow i$

Else

$x \leftarrow \text{True}$

{início da inicialização do subitinerário para uma segunda-feira }

$s \leftarrow 1$

$k^s(\text{contno}) \leftarrow or$

$T_{or}^k \leftarrow 540 \{9:00\}$

$\text{contno} \leftarrow \text{contno} + 1$

$k^s(\text{contno}) \leftarrow i$

$\text{contno} \leftarrow \text{contno} + 1$

$st_k \leftarrow 540 \{9:00\}$

$T_i^k \leftarrow \min\{tact + \text{distancias}(or,i) \times 60/70, e_{i,1}^1\}$

Exit Function

End If

Else {inicialização num outro dia da semana}

$x \leftarrow \text{True}$

$s \leftarrow \text{diasemana}(i)$

$k^s(\text{contno}) \leftarrow i$

$\text{contno} \leftarrow \text{contno} + 1$

$T_i^k \leftarrow \min\{540, e_{i,1}^1\}$

$st_k \leftarrow T_i^k$

Exit Function

End If

Else

$x \leftarrow \text{False}$

$Nadorig \leftarrow i$

End If

If $Nvist \subset Nadorig$ **Then** {significa que já não existe mais nenhum cliente possível de iniciar um subitinerário logo, o algoritmo deverá terminar}

$terminar \leftarrow \text{True}$

$x \leftarrow \text{True}$

End If

WEnd {Encontrámos a origem}

If **Not** $terminar$ {significa que foi possível encontrar um nó origem para um subitinerário}

{retirar o elemento já visitado}

$Nvist \leftarrow Nvist \setminus \{i\}$

$N^s \leftarrow N^s \setminus \{i\}$

{encontrar o restaurante mais afastado com algumas restrições }

$r \leftarrow \text{restaurante_mais_afastado}(i, s)$

$k^s(\text{contno}) \leftarrow r$

$\text{contno} \leftarrow \text{contno} + 1$

$T_r^k \leftarrow 750$ {o início do almoço será às 12:30}

$d \leftarrow \text{destino_mais_próximo}(i)$

$k^s(\text{contno}) \leftarrow d$

$\text{contno} \leftarrow \text{contno} + 1$

$T_d^k \leftarrow 1140$ { a chegada ao local onde o turista vai pernoitar é às 19:00}

End If

End Inicialização_roteira

{Objectivo: Calcular o valor de c_1 para a inserção no subitinerário corrente do nó i entre as posições $prev$ e $next$ }

```

Procedimento Calc1( $prev, i, next$ )
Begin
{inicializações}
 $c_{11} \leftarrow 0$ 
 $c_{12} \leftarrow 0$ 
If admissivel_ins ( $prev, i, next$ ) Then {verificar se é possível inserir  $i$  nesta posição}

     $p \leftarrow k^k(prev)$ 
     $n \leftarrow k^k(next)$ 

     $c_{11} = \text{distancias}(p,i) + \text{distancias}(i,n) - \mu \times \text{distancias}(p,n)$ 
     $b_{old} \leftarrow T_n^k$ 
     $b_{newaux} \leftarrow T_p^k + dv_p + (\text{distancias}(p,i) \times 60/70) + dv_i + (\text{distancias}(i,n) \times 60/70)$ 
    If  $n \in IdRestaurante$  Then
         $b_{new} \leftarrow \max\{750, b_{newaux}\}$ 
    Else
        If  $n \in IdDormida$  Then
             $b_{new} \leftarrow \max\{1140, b_{newaux}\}$ 
        Else
            If  $b_{newaux} < l_{n,s}^1$  Then
                 $b_{new} \leftarrow \max\{b_{newaux}, e_{n,s}^1\}$ 
            Else
                 $b_{new} \leftarrow \max\{b_{newaux}, e_{n,s}^2\}$ 
            End If
        End If
    End If
     $c_{12} \leftarrow b_{new} - b_{old}$ 
     $Calc1 \leftarrow (\alpha_1 \times (c_{11}) + \alpha_2 \times (c_{12}))$ 
Else {não é possível inserir  $i$  na posição entre  $prev$  e  $next$ }
     $Calc1 \leftarrow M$  {retorna um inteiro muito grande}
End If
End Calc1
    
```

{Objectivo: Calcular o valor de c_2 para a inserção no subitinerário corrente do elemento $contnop$ do array de estruturas NoP¹³}

```

Procedimento Calc2 ( $contnop$ )

 $i \leftarrow \text{Nop}(contnop).idno$ 
 $o \leftarrow k^k(0)$ 
 $d \leftarrow \text{distancias}(i, o)$ 
 $Calc2 \leftarrow \alpha_3 \times d - \text{Nop}(contnop).c1$ 
End Calc2
    
```

¹³ Para obter mais informação sobre esta estrutura consultar pág. 126.

{Objectivo: Verificar se é admissível inserir i entre as posições $prev$ e $next$ do subitinerário}

Procedimento $admissivel_ins(prev, i, next)$

Begin

$p \leftarrow k^s(prev)$ { p guarda o elemento que está na posição $prev$ }

$n \leftarrow k^s(next)$ { n guarda o elemento que está na posição $next$ }

$tempaux \leftarrow T_p^k + dv_p + (distancias(p,i) \times 60/70)$

$x \leftarrow \text{False}$ {esta variável do tipo booleano, indica se a inserção do nó i nesta posição é ou não admissível temporalmente}

If $tempaux \leq l_{i,s}^1$ **Then**

$T_i^k \leftarrow \max\{e_{i,s}^1, tempaux\}$

$PA \leftarrow \text{False}$ {variável booleana que indica se a inserção é feita após o almoço}

$x \leftarrow \text{True}$

Else

If $tempaux \leq l_{i,s}^2$ **Then**

$T_i^k \leftarrow \max\{e_{i,s}^2, tempaux\}$

$PA \leftarrow \text{True}$

$x \leftarrow \text{True}$

End If

End If

If $x = \text{False}$ **Then**

$admissivel_ins \leftarrow \text{False}$

Exit Function

End If

{já se verificou que o nó a inserir é admissível temporalmente, agora vai-se verificar as repercussões desta inserção para os nós que o sucedem}

$dvant \leftarrow dv_i$

$ant \leftarrow i$

$tant \leftarrow T_i^k$

For $j = next$ **To** $contno-1$

$tempaux \leftarrow tant + dvant + (distancias(ant, j) \times 60/70)$

If $tempaux \leq T_i^k$ **Then** {significa que $PF \leq 0$ logo não há repercussões nos nós seguintes}

$admissivel_ins \leftarrow \text{True}$

Exit For

Else

If ($j \in IdDormida$) **Then**

If $tempaux \leq 1230$ **Then**

$admissivel_ins \leftarrow \text{True}$

Exit for

Else

$admissivel_ins \leftarrow \text{False}$

End If

Else

If ($j \in IdRestaurante$) **Then**

If $tempaux \leq 870$ **Then**

{actualizações}

$tant \leftarrow tempaux$

$dvant \leftarrow 90$

$PA \leftarrow \text{True}$

$ant \leftarrow j$

Else

$admissivel_ins \leftarrow \text{False}$

Exit for

End If

Else

If $PA = \text{False}$ **Then** {utilizar nesta caso a janela temporal da manhã}

Procedimento `admissivel_ins(prev, i, next)` - continuação

```

    cont ← 1
    Else
        cont ← 2 {utilizar nesta caso a janela temporal da tarde}
    End If
    If  $tempaux \leq l_{j,s}^{cont}$  Then
        {actualizações}
        tant ← tempaux
        dvant ←  $dv_j$ 
        ant ← j
    Else
        admissivel_ins ← False
        Exit for
    End If
End If
End If
Next
End admissivel_ins

```

{Objectivo: verificar se não existe mais nenhum nó que possa ser inserido no subitinerário}

Procedimento `possivel_inserir`

```

Begin
    If  $contnop \neq 0$  Then
        For i=0 To  $contnop-1$ 
            If  $NoP(i).c1 \neq M$  Then
                possivel_inserir ← True
                Exit Function
            End If
        Next
    End If
    possivel_inserir ← False
End possivel_inserir

```

{Objectivo: inserir o *elemento* entre as posições *prev* e *next* do subitinerário e fazer as respectivas alterações}

Procedimento `inserir(elemento, next, prev)`

```

Begin
    aux1 ← elemento
    nextelmt ←  $k^k(next)$ 
    prevelmt ←  $k^k(prev)$ 
    For j = next To  $contno-1$ 
        aux2 ←  $k^k(j)$ 
         $k^k(j)$  ← aux1
        aux1 ← aux2
    Next
    {actualização dos tempos de visita }
    tant ←  $T_{prevelemt}^k$ 
    ant ← prevelemt
     $dv_{ant}$  ←  $dv_{prevelemt}$ 
    For j = next To  $contno-1$ 
        jno ←  $k^k(j)$ 

```

Procedimento inserir(*elemento*, *next*, *prev*) - continuação

$tempaux \leftarrow tant + dv_{am} + (distancias(ant,j) \times 60/70)$

$tant \leftarrow T_j^k$

If ($j \in IdRestaurante$) Then

 If $tempaux \leq 750$ Then

$T_j^k \leftarrow 750$

 Else

$T_j^k \leftarrow tempaux$

 End If

Else

 If ($j \in IdDormida$) Then

 If $tempaux \leq 1140$ Then

$T_j^k \leftarrow 1140$

 Else

$T_j^k \leftarrow tempaux$

 End If

 Else

 If $tempaux \leq l_{j,s}^1$ Then

$T_j^k \leftarrow \min\{tempaux, l_{j,s}^1\}$

 Else

$T_j^k \leftarrow \min\{tempaux, l_{j,s}^2\}$

 End If

 End If

End If

$ant \leftarrow jno$

$dv_{ant} \leftarrow dv_{jno}$

Next

End Inserir

PSEUDO-CÓDIGO DA HEURÍSTICA DESENHA ITINERÁRIO

Algoritmo *desenha_itinerário*

{Este algoritmo recebe como *input* um conjunto de subitinerários e o número de dias do itinerário a construir}

Input: rotas – lista com subitinerários e toda a informação relacionada com estes
i = 0, 1, 2, ..., controtas-1 (Identificador do subitinerário, sendo controtas o número total de subitinerários construídos)
 rotas(*i*).diasemana - retorna o dia da semana para o qual o subitinerário *i* foi construído
 rotas(*i*).utilidade - utilidade total do subitinerário *i*
 rotas(*i*).custo - custo total do subitinerário *i*
 rotas(*i*).st - tempo em que é iniciada a visita no subitinerário *i*
 dias - número total de dias de duração do itinerário

Output: *itiner* - itinerário construído com um número total de dias e início a uma segunda-feira de semana em causa

Begin

```

    Nosvist ← ∅ {inicialização dos nós visitados}
    d ← 1
    {escolher um subitinerário para segunda-feira}
    If aleat Then {escolha aleatória de um subitinerário que funcione à segunda-feira}
        rota ← Aleat (rotas de segunda) {subitinerário escolhido aleatoriamente para uma
            segunda-feira}
    Else {escolha de um subitinerário que funcione à segunda-feira e que tenha menor contributo
        para a f.o.}
        Foaux ← M {inicialização com um inteiro muito grande}
        For i=0 To controtas-1
            If rotas(i).diasemana = 1 Then
                {cálculo da contribuição do subitinerário i para a f.o. do itinerário a ser construído}
                fo ← Calcular fo (rotas(i).utilidade, rotas(i).custo)
                If fo < Foaux Then
                    rotaux ← rotas(i)
                    custoaux ← rotas(i).custo
                    Foaux ← fo
                End If
            End If
        Next
    End If
    {colocação do subitinerário para segunda no itinerário (itiner) convertendo os nós cópia em nós
    originais}
    For Each i In rotaux
        If (i ∉ IdRestaurante) And (i ∉ IdDormida)
            Nosvis ← i
        End If
    Next
    itiner.subiti(0) ← Converter (rotaux)
    itiner.custotal ← rotaux.custo
    itiner.utilidade ← rotaux.utilidade
    {completar o itinerário para os restantes dias da semana}
    For d=2 To dias
        Foaux ← M {inicialização com um inteiro muito grande}
        {determinação do subitinerário com menor contribuição para o valor da função
        objectivo e que seja admissível de visitar}
        For i=0 To controtas-1
            If rotas(i).diasemana = d Then {Calcular o custo das intertrips, pois estes
            custos também contribuem para o valor final da f.o. do itinerário}

```

Algoritmo desenha_itinerário - continuação

```

    custointrip ← distancias (ultimo(itiner.rota(d-1)), primeiro(rotas(i))) × 9
    fo ← Calcular_fo (rotas(i).utilidade, rotas(i).custo)
    If (fo+custointrip < Foaux) Then
        If (Possivel (rotas(i), Nosvist, rotas(i).st, d) Then
            rotaux ← rotas(i)
            custoaux ← rotas(i).custo + custointrip
            Foaux ← fo + custointrip
        End If
    End If
    End If
    Next
    itiner.subiti (d) ← rotaux
    itiner.custotal ← itiner.custotal + custoaux
    itiner.utilidade ← itiner.utilidade + rotas(i).utilidade
Next
    {Cálculo do valor da função objectivo}
    itiner.Fo = Calcular_fo (itiner.utilidade, itiner.custotal)
    For d=0 To dias -1
        subsoluções(cont).rota ← itiner.rota(d)
        subsoluções(cont).Fo ← itiner.Fo
        cont ← cont +1
    Next
End desenha_itinerário

```

PROCEDIMENTOS

{**Objectivo**: verificar se é possível inserir o subitinerário *rota* para o dia *d* com tempo inicial em *st* no itinerário corrente, retornando um valor booleano}

Procedimento Possivel (*rota*, *Nosvist*, *st*, *d*)

```

Begin
    x ← True
    For Each i In rota
        If (i ∉ IdRestaurante e i ∉ IdDormida) Then
            If (i ∈ Nosvist) Then
                x ← False
            End If
        End If
    Next
    If x Then
        primeiro ← rota(0) {representa o primeiro elemento do subitinerário}
        ultimo ← ultimo (itiner.subiti(d-1)) {representa o último elemento do itinerário em construção}

        dist ← distancias (primeiro, ultimo)
        If (st - dist × 60/70) ≥ 480 Then
            possivel ← True
        Else
            possivel ← False
        End If
    Else
        possivel ← True
    End If
End Possivel

```

{Objectivo: calcular o valor da função objectivo, com os parâmetros α e β , que foram escolhidos de modo a compensarem a discrepância de escalas dos custos e das utilidades}

Procedimento *Calcular_fo* (*utilidade, custo*)

Begin

{inicialização dos parâmetros que entram na f.o.}

$\alpha \leftarrow 1$

$\beta \leftarrow 35$

Calcular_fo $\leftarrow \alpha \times \text{custo} - \beta \times \text{utilidade}$

End *Calcular_fo*

PSEUDO-CÓDIGO DA HEURÍSTICA DE DIVERSIFICAÇÃO INTENSIFICAÇÃO

Algoritmo diversificacao_intensificacao

Input: subsoluções – Lista com dez elementos, cujos elementos são estruturas com duas componentes uma primeira corresponde a um subitinerário que faz parte de um itinerário já construído, tendo valor da f.o. igual à do itinerário de que faz parte. A outra componente, ainda por preencher corresponde ao peso probabilístico associado ao subitinerário.}

d - número de dias de duração do itinerário

Kmax - número limite de iterações deste algoritmo

Output: *itinerario*

Begin

$k \leftarrow 0$ {inicialização do contador do número de iterações deste algoritmo}

inserir_ordem(Q_1, \dots, Q_d) {construção de *arrays* ordenados de subitinerários para cada dia a partir das subsoluções}

While $k \leq Kmax$

For $i=1$ To d

$Q'_i \leftarrow Q_i$ {criação de cópias de listas de subitinerários para cada dia e já por ordem crescente}

Next

While ($m \leq d$) Do

$x \leftarrow \text{False}$

While Not x

$rd \leftarrow \text{Aleat}(0,1)$ {geração de um número aleatório entre os valores 0 e 1}

$Q' \leftarrow Q'_d$

{calcular o peso probabilístico de cada elemento de Q' }

For $i=0$ to $contQ-1$

$T'.probab \leftarrow (2 \times (contQ-i)/(contQ \times (contQ+1)))$

Next

{encontrar o elemento seleccionado}

For $i=0$ to $contQ-1$

$lsup \leftarrow linf + Q'(i).probab$

If ($rd > linf$) And ($rd \leq lsup$) Then

{*pos1* guarda o subitinerário de Q' seleccionado}

$pos1 \leftarrow i$

{foi encontrado o elemento de Q' }

Exit For

End If

$linf \leftarrow lsup$

Next

If $d \neq 1$ Then

{*s* representa uma solução, isto é um itinerário}

$ultimo \leftarrow ultimo(s(m-2))$

$first \leftarrow Q'(pos1).rota(0)$

{tempo de início do subitinerário em Q' na posição *pos1*}

$st \leftarrow Q'(pos1).st$

$x \leftarrow \text{possívelinic}(st, first, ultimo)$

$custointrip \leftarrow \text{distancias}(first, ultimo) \times 9$

$s.custotal \leftarrow s.custotal + Q'(pos1).custo + custointrip$

Else

$x \leftarrow \text{True}$

$s.custotal \leftarrow s.custotal + Q'(pos1).custo$

End If

Wend

Algoritmo diversificação_intensificação – continuação

```

    s.utiltotal ← s.utiltotal + Q'(posI).utilidade
    s.(d-1) ← Q'(posI)
    Nosvist ← Nosvist ∪ Q'(posI)
    For i=m To d
        Q'_m ← Q'_m \ Q'(posI)
    Next
    m ← m + 1
Wend
For i=1 To d
    d ← i
    x ← melhorativa (s.subiti(i-1).rota, d, s.subiti (i-1).contno, s. subiti (i-1).tempos)
    saving ← saving + x
Next
s.fo ← calcular fo (s.utiltotal, s.custototal - saving)
{actualizar os Q's}
For i=m To d
    Q'_i ← s_i(i-1)
    {Actualizar contQ_i}
Next
k ← k + 1
Wend
End diversificação intensificação

```

PROCEDIMENTOS

{Objectivo: Melhorar um subitinerário por redução de custos através da troca do restaurante por outro }

Procedimento **melhorativa** (subitin, dia, contno, Tempos) {Tempos é um array com os tempos de início das visitas de cada nó no subitinerário}

Begin

IdrestauranteO ← R {*IdrestauranteO* representa a identificação dos nós restaurantes originais}

dia ← *subitin.diasemana*

For *i*=0 To *contno*-1

If (*subitin*(*i*) ∈ *IdRestauranteO*) Then {encontrou-se o restaurante no subitinerário}

rest ← *subiti*(*i*)

pos ← *i*

custoant ← *distancias*(*subitin*(*i*-1),*rest*) × 9 + *distancias*(*rest*,*subitin*(*i*+1)) × 9

{pesquisar dos restaurantes possíveis aquele que minimiza os custos, caso exista}

For Each *j* In *IdRestauranteO*

custodep ← *distancias*(*subitin*(*i*-1),*j*)×9 + *distancias*(*j*,*subitin*(*i*+1))×9

If *custoant* > *custodep* Then

If (*j* ∈ *dia*) And (*T*_{pos} + *distancias*(*subitin*(*i*-1),*j*) × 60/70) ≤ 870 Then

dif ← (*custoant* - *custodep*) / 9

rest ← *j*

melhorar ← True

custoant ← *custodep*

End If

End If

Next

End If

Next

If *melhorar* = True Then

subitin(*pos*) ← *rest* {actualização da rota do subitinerário}

{actualização do tempo de início da visita a um restaurante}

tempaux ← *T*_{pos} - *dif* × 60/70

Procedimento **melhorativa** (*subitin, dia, contno, Tempos*) – continuação

$T_{pos} \leftarrow \min\{tempaux, 750\}$

{actualização dos tempos dos nós turísticos}

$tant \leftarrow T_{pos}$

$dvant \leftarrow 90$

For $i = pos + 1$ To $contno-2$

$tempaux \leftarrow tant + dvant - \text{distancias}(\text{subitin}(i-1), \text{subitin}(i)) \times 60/70$

$T_i \leftarrow \min\{tempaux, l_{i,d}^2\}$

$tempant \leftarrow T_i$

$dvant \leftarrow dv_i$

Next

{actualização do tempo do nó dormida}

$tempaux \leftarrow tempant + dvant + \text{distancias}(\text{subitin}(contno-2), \text{subitin}(contno-1))$

$T_{contno-1} \leftarrow \min\{tempaux, 1140\}$

melhorativa $\leftarrow dif \times 9$ {retorna a poupança de custos, que será 0 caso não tenha melhorado o subitinerário}

End If

End melhorativa

ANEXO 2 – TABELAS DA BASE DE DADOS UTILIZADA NOS TESTES COMPUTACIONAIS
TABELA COMPLETA DOS NÓS DA REDE (RECURSOS TURÍSTICOS)

IDN	NºDias	Nome	Tipo	Duração	Utili	Concelho
1	7	Cruzeiro Manuelino	6	15	3	Cartaxo
2	5	Colecção Miniaturas Artesanais do A. A.	2	30	2	Cartaxo
3	6	Museu Rural e do Vinho	6	60	5	Cartaxo
4	7	Poco de S. Bartolomeu – Vale da Pinta	6	15	3	Cartaxo
5	7	Igreja Matriz – Vale da Pinta	5	15	3	Cartaxo
6	7	Igreja Matriz – Pontével	5	15	3	Cartaxo
7	7	Monumento Batalha de Ourique	6	15	4	Cartaxo
8	6	Solar dos Chavões – V. C. Ourique	1	30	4	Cartaxo
9	7	Parque de Merendas – Valada	1	30	3	Cartaxo
10	7	Aldeia da Palhota	1	30	4	Cartaxo
11	6	Quinta da Fonte Bela	1	60	4	Cartaxo
12	6	Igreja Marvila	5	15	4	Santarém
13	6	Igreja St. ^a Clara	5	15	4	Santarém
14	7	Portas do Sol	1	60	4	Santarém
15	4	Museu Arqueológico S. João do Alporão	6	60	3	Santarém
16	6	Igreja da Graça	5	15	4	Santarém
17	7	Torre das Cabacas	6	30	3	Santarém
18	6	Igreja dos Milagres Sagrados	5	15	5	Santarém
19	7	Castelo de Alcanede	6	60	3	Santarém
20	7	Ribeira de Santarém	1	60	3	Santarém
21	5	Convento de Almoester	5	30	3	Santarém
22	5	Centro Zootécnico Nacional-Fonte Boa	6	60	4	Santarém
23	7	Zona das Caneiras	1	60	3	Santarém
24	7	Quinta da Sobreira	1	60	4	Santarém
25	7	Quinta de Vale de Lobos	1	60	3	Santarém
26	6	Igreja Matriz	5	15	3	Almeirim
27	2	Palácio da Quinta da Alorna	6	30	4	Almeirim
28	4	Museu Etnográfico	6	60	4	Almeirim
29	7	Quinta de St. ^a Marta	1	30	4	Almeirim
30	7	Aldeia do Arrepiado	1	60	5	Chamusca
31	6	Igreja Matriz	5	15	4	Chamusca
32	4	Núcleo Etnográfico Carregueira	6	30	4	Chamusca
33	6	Igreja Matriz – Golegã	5	15	3	Golegã
34	4	Museu Municipal de Fotog. Carlos Relvas	6	60	4	Golegã
35	7	Quinta da Cardiga	1	60	4	Golegã
36	7	Reserva Natural do Paúl do Boquilobo	1	130	5	Golegã
37	6	Igreja Matriz – Constância	5	15	3	Constância
38	7	Margens do Zêzere e Tejo	1	30	4	Constância
39	4	Ruínas da Casa Memória de Camões	6	30	5	Constância
40	7	Povoação do Montalvo	1	60	4	Constância
41	7	Albufeira do Bonito	1	30	3	Entroncamento
42	7	Bairros Ferroviários	6	30	5	Entroncamento
43	5	Capela de S. João Baptista	5	15	3	Entroncamento
44	7	Povoação de Tancos	1	30	3	V. N. Barquinha
45	7	Castelo de Almourol	6	120	4	V. N. Barquinha
46	6	Igreja Matriz de Atalaia	5	15	3	V. N. Barquinha
47	7	Quinta do Lagarito	1	60	4	V. N. Barquinha
48	5	Ruínas Romanas de Cardílium	6	30	5	Torres Novas
49	7	Pedreira do Galinha – Dinossáurios	6	60	5	Torres Novas
50	7	Praca 5 de Outubro	6	15	3	Torres Novas
51	4	Museu Agrícola de Riachos	6	30	3	Torres Novas

TABELA COMPLETA DOS NÓS DA REDE (CÓPIA DOS RECURSOS TURÍSTICOS)

ID_Cópia	ID_No	Dia	Nome	e1	l1	e2	l2
1	1	1	Cruzeiro Manuelino	540	750	870	1140
2	1	2	Cruzeiro Manuelino	540	750	870	1140
3	1	3	Cruzeiro Manuelino	540	750	870	1140
4	1	4	Cruzeiro Manuelino	540	750	870	1140
5	1	5	Cruzeiro Manuelino	540	750	870	1140
6	1	6	Cruzeiro Manuelino	540	750	870	1140
7	1	7	Cruzeiro Manuelino	540	750	870	1140
8	2	1	Colecção Miniaturas Artesanais do A. A. Cartaxense	600	750	900	1080
9	2	2	Colecção Miniaturas Artesanais do A. A. Cartaxense	600	750	900	1080
10	2	3	Colecção Miniaturas Artesanais do A. A. Cartaxense	600	750	900	1080
11	2	4	Colecção Miniaturas Artesanais do A. A. Cartaxense	600	750	900	1080
12	2	5	Colecção Miniaturas Artesanais do A. A. Cartaxense	600	750	900	1080
13	3	2	Museu Rural e do Vinho	630	750	900	1050
14	3	3	Museu Rural e do Vinho	630	750	900	1050
15	3	4	Museu Rural e do Vinho	630	750	900	1050
16	3	5	Museu Rural e do Vinho	630	750	900	1050
17	3	6	Museu Rural e do Vinho	570	750	900	1050
18	3	7	Museu Rural e do Vinho	570	750	900	1050
19	4	1	Poço de S. Bartolomeu – Vale da Pinta	510	750	870	1140
20	4	2	Poço de S. Bartolomeu – Vale da Pinta	510	750	870	1140
21	4	3	Poço de S. Bartolomeu – Vale da Pinta	510	750	870	1140
22	4	4	Poço de S. Bartolomeu – Vale da Pinta	510	750	870	1140
23	4	5	Poço de S. Bartolomeu – Vale da Pinta	510	750	870	1140
24	4	6	Poço de S. Bartolomeu – Vale da Pinta	510	750	870	1140
25	4	7	Poço de S. Bartolomeu – Vale da Pinta	510	750	870	1140
26	5	1	Igreja Matriz – Vale da Pinta	600	750	900	1140
27	5	2	Igreja Matriz – Vale da Pinta	600	750	900	1140
28	5	3	Igreja Matriz – Vale da Pinta	600	750	900	1140
29	5	4	Igreja Matriz – Vale da Pinta	600	750	900	1140
30	5	5	Igreja Matriz – Vale da Pinta	600	750	900	1140
31	5	6	Igreja Matriz – Vale da Pinta	600	750	900	1140
32	5	7	Igreja Matriz – Vale da Pinta	600	750	900	1140
33	6	1	Igreja Matriz – Pontével	600	750	900	1140
34	6	2	Igreja Matriz – Pontével	600	750	900	1140
35	6	3	Igreja Matriz – Pontével	600	750	900	1140
36	6	4	Igreja Matriz – Pontével	600	750	900	1140
37	6	5	Igreja Matriz – Pontével	600	750	900	1140
38	6	6	Igreja Matriz – Pontével	600	750	900	1140
39	6	7	Igreja Matriz – Pontével	600	750	900	1140
40	7	1	Monumento Batalha de Ourique	510	750	870	1140
41	7	2	Monumento Batalha de Ourique	510	750	870	1140
42	7	3	Monumento Batalha de Ourique	510	750	870	1140
43	7	4	Monumento Batalha de Ourique	510	750	870	1140
44	7	5	Monumento Batalha de Ourique	510	750	870	1140
45	7	6	Monumento Batalha de Ourique	510	750	870	1140
46	7	7	Monumento Batalha de Ourique	510	750	870	1140
47	8	1	Solar dos Chavões – V. C. Ourique	570	750	870	1140
48	8	3	Solar dos Chavões – V. C. Ourique	570	750	870	1140
49	8	4	Solar dos Chavões – V. C. Ourique	570	750	870	1140

Desenho Optimizado de Itinerários Turísticos – Alguns Métodos Heurísticos

50	8	5	Solar dos Chavões – V. C. Ourique	570	750	870	1140
51	8	6	Solar dos Chavões – V. C. Ourique	570	750	870	1140
52	8	7	Solar dos Chavões – V. C. Ourique	570	750	870	1140
53	9	1	Parque de Merendas – Valada	510	750	870	1140
54	9	2	Parque de Merendas – Valada	510	750	870	1140
55	9	3	Parque de Merendas – Valada	510	750	870	1140
56	9	4	Parque de Merendas – Valada	510	750	870	1140
57	9	5	Parque de Merendas – Valada	510	750	870	1140
58	9	6	Parque de Merendas – Valada	510	750	870	1140
59	9	7	Parque de Merendas – Valada	510	750	870	1140
60	10	1	Aldeia da Palhota	510	750	870	1140
61	10	2	Aldeia da Palhota	510	750	870	1140
62	10	3	Aldeia da Palhota	510	750	870	1140
63	10	4	Aldeia da Palhota	510	750	870	1140
64	10	5	Aldeia da Palhota	510	750	870	1140
65	10	6	Aldeia da Palhota	510	750	870	1140
66	10	7	Aldeia da Palhota	510	750	870	1140
67	11	2	Quinta da Fonte Bela	600	750	870	1080
68	11	3	Quinta da Fonte Bela	600	750	870	1080
69	11	4	Quinta da Fonte Bela	600	750	870	1080
70	11	5	Quinta da Fonte Bela	600	750	870	1080
71	11	6	Quinta da Fonte Bela	600	750	870	1080
72	11	7	Quinta da Fonte Bela	600	750	870	1080
73	12	2	Igreja Marvila	570	750	870	1080
74	12	3	Igreja Marvila	570	750	870	1080
75	12	4	Igreja Marvila	570	750	870	1080
76	12	5	Igreja Marvila	570	750	870	1080
77	12	6	Igreja Marvila	570	750	870	1050
78	12	7	Igreja Marvila	570	750	870	1050
79	13	2	Igreja St. ^a Clara	570	750	870	1050
80	13	3	Igreja St. ^a Clara	570	750	870	1050
81	13	4	Igreja St. ^a Clara	570	750	870	1050
82	13	5	Igreja St. ^a Clara	570	750	870	1050
83	13	6	Igreja St. ^a Clara	570	750	870	1050
84	13	7	Igreja St. ^a Clara	570	750	870	1050
85	14	1	Portas do Sol	510	750	870	1140
86	14	2	Portas do Sol	510	750	870	1140
87	14	3	Portas do Sol	510	750	870	1140
88	14	4	Portas do Sol	510	750	870	1140
89	14	5	Portas do Sol	510	750	870	1140
90	14	6	Portas do Sol	510	750	870	1140
91	14	7	Portas do Sol	510	750	870	1140
92	15	2	Museu Arqueológico S. João do Alporão	600	750	900	1020
93	15	3	Museu Arqueológico S. João do Alporão	600	750	900	1020
94	15	4	Museu Arqueológico S. João do Alporão	600	750	900	1020
95	15	5	Museu Arqueológico S. João do Alporão	600	750	900	1020
96	16	2	Igreja da Graça	570	750	870	1050
97	16	3	Igreja da Graça	570	750	870	1050
98	16	4	Igreja da Graça	570	750	870	1050
99	16	5	Igreja da Graça	570	750	870	1050
100	16	6	Igreja da Graça	570	750	870	1050
101	16	7	Igreja da Graça	570	750	870	1050

102	17	1	Torre das Cabaças	540	750	870	1140
103	17	2	Torre das Cabaças	540	750	870	1140
104	17	3	Torre das Cabaças	540	750	870	1140
105	17	4	Torre das Cabaças	540	750	870	1140
106	17	5	Torre das Cabaças	540	750	870	1140
107	17	6	Torre das Cabaças	540	750	870	1140
108	17	7	Torre das Cabaças	540	750	870	1140
109	18	2	Igreja dos Milagres Sagrados	570	750	870	1080
110	18	3	Igreja dos Milagres Sagrados	570	750	870	1080
111	18	4	Igreja dos Milagres Sagrados	570	750	870	1080
112	18	5	Igreja dos Milagres Sagrados	570	750	870	1080
113	18	6	Igreja dos Milagres Sagrados	570	750	870	1050
114	18	7	Igreja dos Milagres Sagrados	570	750	870	1050
115	19	1	Castelo de Alcanede	600	750	870	1020
116	19	2	Castelo de Alcanede	600	750	870	1020
117	19	3	Castelo de Alcanede	600	750	870	1020
118	19	4	Castelo de Alcanede	600	750	870	1020
119	19	5	Castelo de Alcanede	600	750	870	1020
120	19	6	Castelo de Alcanede	600	750	870	1020
121	19	7	Castelo de Alcanede	600	750	870	1020
122	20	1	Ribeira de Santarém	510	750	870	1140
123	20	2	Ribeira de Santarém	510	750	870	1140
124	20	3	Ribeira de Santarém	510	750	870	1140
125	20	4	Ribeira de Santarém	510	750	870	1140
126	20	5	Ribeira de Santarém	510	750	870	1140
127	20	6	Ribeira de Santarém	510	750	870	1140
128	20	7	Ribeira de Santarém	510	750	870	1140
129	21	1	Convento de Almoster	600	750	900	1020
130	21	2	Convento de Almoster	600	750	900	1020
131	21	3	Convento de Almoster	600	750	900	1020
132	21	4	Convento de Almoster	600	750	900	1020
133	21	5	Convento de Almoster	600	750	900	1020
134	22	1	Centro Zootécnico Nacional – Fonte Boa	570	750	870	1080
135	22	2	Centro Zootécnico Nacional – Fonte Boa	570	750	870	1080
136	22	3	Centro Zootécnico Nacional – Fonte Boa	570	750	870	1080
137	22	4	Centro Zootécnico Nacional – Fonte Boa	570	750	870	1080
138	22	5	Centro Zootécnico Nacional – Fonte Boa	570	750	870	1080
139	23	1	Zona das Caneiras	510	750	870	1140
140	23	2	Zona das Caneiras	510	750	870	1140
141	23	3	Zona das Caneiras	510	750	870	1140
142	23	4	Zona das Caneiras	510	750	870	1140
143	23	5	Zona das Caneiras	510	750	870	1140
144	23	6	Zona das Caneiras	510	750	870	1140
145	23	7	Zona das Caneiras	510	750	870	1140
146	24	1	Quinta da Sobreira	540	750	870	1140
147	24	2	Quinta da Sobreira	540	750	870	1140
148	24	3	Quinta da Sobreira	540	750	870	1140
149	24	4	Quinta da Sobreira	540	750	870	1140
150	24	5	Quinta da Sobreira	540	750	870	1140
151	24	6	Quinta da Sobreira	540	750	870	1140
152	24	7	Quinta da Sobreira	540	750	870	1140
153	25	1	Quinta de Vale de Lobos	540	750	870	1140

154	25	2	Quinta de Vale de Lobos	540	750	870	1140
155	25	3	Quinta de Vale de Lobos	540	750	870	1140
156	25	4	Quinta de Vale de Lobos	540	750	870	1140
157	25	5	Quinta de Vale de Lobos	540	750	870	1140
158	25	6	Quinta de Vale de Lobos	540	750	870	1140
159	25	7	Quinta de Vale de Lobos	540	750	870	1140
160	26	2	Igreja Matriz	570	750	900	1080
161	26	3	Igreja Matriz	570	750	900	1080
162	26	4	Igreja Matriz	570	750	900	1080
163	26	5	Igreja Matriz	570	750	900	1080
164	26	6	Igreja Matriz	570	750	900	1080
165	26	7	Igreja Matriz	570	750	900	1080
166	27	5	Palácio da Quinta da Alorna	540	720	870	1080
167	27	7	Palácio da Quinta da Alorna	570	720	570	720
168	28	2	Museu Etnográfico	600	750	900	1020
169	28	3	Museu Etnográfico	600	750	900	1020
170	28	4	Museu Etnográfico	600	750	900	1020
171	28	5	Museu Etnográfico	600	750	900	1020
172	29	1	Quinta de St. ^a Marta	540	750	870	1140
173	29	2	Quinta de St. ^a Marta	540	750	870	1140
174	29	3	Quinta de St. ^a Marta	540	750	870	1140
175	29	4	Quinta de St. ^a Marta	540	750	870	1140
176	29	5	Quinta de St. ^a Marta	540	750	870	1140
177	29	6	Quinta de St. ^a Marta	540	750	870	1140
178	29	7	Quinta de St. ^a Marta	540	750	870	1140
179	30	1	Aldeia do Arrepiado	510	750	870	1140
180	30	2	Aldeia do Arrepiado	510	750	870	1140
181	30	3	Aldeia do Arrepiado	510	750	870	1140
182	30	4	Aldeia do Arrepiado	510	750	870	1140
183	30	5	Aldeia do Arrepiado	510	750	870	1140
184	30	6	Aldeia do Arrepiado	510	750	870	1140
185	30	7	Aldeia do Arrepiado	510	750	870	1140
186	31	2	Igreja Matriz	540	750	900	1050
187	31	3	Igreja Matriz	540	750	900	1050
188	31	4	Igreja Matriz	540	750	900	1050
189	31	5	Igreja Matriz	540	750	900	1050
190	31	6	Igreja Matriz	540	750	900	1050
191	31	7	Igreja Matriz	540	750	900	1050
192	32	2	Núcleo Etnográfico Carregueira	600	750	900	1080
193	32	3	Núcleo Etnográfico Carregueira	600	750	900	1080
194	32	4	Núcleo Etnográfico Carregueira	600	750	900	1080
195	32	5	Núcleo Etnográfico Carregueira	600	750	900	1080
196	33	2	Igreja Matriz – Golegã	540	750	900	1080
197	33	3	Igreja Matriz – Golegã	540	750	900	1080
198	33	4	Igreja Matriz – Golegã	540	750	900	1080
199	33	5	Igreja Matriz – Golegã	540	750	900	1080
200	33	6	Igreja Matriz – Golegã	540	750	900	1080
201	33	7	Igreja Matriz – Golegã	540	750	900	1080
202	34	2	Museu Municipal de Fotografia Carlos Relvas	600	750	870	1050
203	34	3	Museu Municipal de Fotografia Carlos Relvas	600	750	870	1050
204	34	4	Museu Municipal de Fotografia Carlos Relvas	600	750	870	1050
205	34	5	Museu Municipal de Fotografia Carlos Relvas	600	750	870	1050

206	35	1	Quinta da Cardiga	540	750	870	1080
207	35	2	Quinta da Cardiga	540	750	870	1080
208	35	3	Quinta da Cardiga	540	750	870	1080
209	35	4	Quinta da Cardiga	540	750	870	1080
210	35	5	Quinta da Cardiga	540	750	870	1080
211	35	6	Quinta da Cardiga	600	750	900	1050
212	35	7	Quinta da Cardiga	600	750	900	1050
213	36	1	Reserva Natural do Paúl do Boquilobo	540	750	870	1140
214	36	2	Reserva Natural do Paúl do Boquilobo	540	750	870	1140
215	36	3	Reserva Natural do Paúl do Boquilobo	540	750	870	1140
216	36	4	Reserva Natural do Paúl do Boquilobo	540	750	870	1140
217	36	5	Reserva Natural do Paúl do Boquilobo	540	750	870	1140
218	36	6	Reserva Natural do Paúl do Boquilobo	540	750	870	1140
219	36	7	Reserva Natural do Paúl do Boquilobo	540	750	870	1140
220	37	2	Igreja Matriz – Constância	600	750	900	1080
221	37	3	Igreja Matriz – Constância	600	750	900	1080
222	37	4	Igreja Matriz – Constância	600	750	900	1080
223	37	5	Igreja Matriz – Constância	600	750	900	1080
224	37	6	Igreja Matriz – Constância	600	750	900	1140
225	37	7	Igreja Matriz – Constância	600	750	900	1140
226	38	1	Margens do Zêzere e Tejo	510	750	870	1140
227	38	2	Margens do Zêzere e Tejo	510	750	870	1140
228	38	3	Margens do Zêzere e Tejo	510	750	870	1140
229	38	4	Margens do Zêzere e Tejo	510	750	870	1140
230	38	5	Margens do Zêzere e Tejo	510	750	870	1140
231	38	6	Margens do Zêzere e Tejo	510	750	870	1140
232	38	7	Margens do Zêzere e Tejo	510	750	870	1140
233	39	2	Ruínas da Casa Memória de Camões	600	720	900	1050
234	39	3	Ruínas da Casa Memória de Camões	600	720	900	1050
235	39	4	Ruínas da Casa Memória de Camões	600	720	900	1050
236	39	5	Ruínas da Casa Memória de Camões	600	720	900	1050
237	40	1	Povoação do Montalvo	510	750	870	1140
238	40	2	Povoação do Montalvo	510	750	870	1140
239	40	3	Povoação do Montalvo	510	750	870	1140
240	40	4	Povoação do Montalvo	510	750	870	1140
241	40	5	Povoação do Montalvo	510	750	870	1140
242	40	6	Povoação do Montalvo	510	750	870	1140
243	40	7	Povoação do Montalvo	510	750	870	1140
244	41	1	Albufeira do Bonito	510	750	870	1140
245	41	2	Albufeira do Bonito	510	750	870	1140
246	41	3	Albufeira do Bonito	510	750	870	1140
247	41	4	Albufeira do Bonito	510	750	870	1140
248	41	5	Albufeira do Bonito	510	750	870	1140
249	41	6	Albufeira do Bonito	510	750	870	1140
250	41	7	Albufeira do Bonito	510	750	870	1140
251	42	1	Bairros Ferroviários	510	750	870	1140
252	42	2	Bairros Ferroviários	510	750	870	1140
253	42	3	Bairros Ferroviários	510	750	870	1140
254	42	4	Bairros Ferroviários	510	750	870	1140
255	42	5	Bairros Ferroviários	510	750	870	1140
256	42	6	Bairros Ferroviários	510	750	870	1140
257	42	7	Bairros Ferroviários	510	750	870	1140

258	43	2	Capela de S. João Baptista	600	750	900	1050
259	43	3	Capela de S. João Baptista	600	750	900	1050
260	43	4	Capela de S. João Baptista	600	750	900	1050
261	43	5	Capela de S. João Baptista	600	750	900	1050
262	43	6	Capela de S. João Baptista	630	750	930	1020
263	44	1	Povoação de Tancos	510	750	870	1140
264	44	2	Povoação de Tancos	510	750	870	1140
265	44	3	Povoação de Tancos	510	750	870	1140
266	44	4	Povoação de Tancos	510	750	870	1140
267	44	5	Povoação de Tancos	510	750	870	1140
268	44	6	Povoação de Tancos	510	750	870	1140
269	44	7	Povoação de Tancos	510	750	870	1140
270	45	1	Castelo de Almourol	600	750	870	1080
271	45	2	Castelo de Almourol	600	750	870	1080
272	45	3	Castelo de Almourol	600	750	870	1080
273	45	4	Castelo de Almourol	600	750	870	1080
274	45	5	Castelo de Almourol	600	750	870	1080
275	45	6	Castelo de Almourol	600	750	870	1080
276	45	7	Castelo de Almourol	600	750	870	1080
277	46	2	Igreja Matriz de Atalaia	570	750	900	1050
278	46	3	Igreja Matriz de Atalaia	570	750	900	1050
279	46	4	Igreja Matriz de Atalaia	570	750	900	1050
280	46	5	Igreja Matriz de Atalaia	570	750	900	1050
281	46	6	Igreja Matriz de Atalaia	570	750	900	1050
282	46	7	Igreja Matriz de Atalaia	570	750	900	1050
283	47	1	Quinta do Lagarito	600	750	870	1080
284	47	2	Quinta do Lagarito	600	750	870	1080
285	47	3	Quinta do Lagarito	600	750	870	1080
286	47	4	Quinta do Lagarito	600	750	870	1080
287	47	5	Quinta do Lagarito	600	750	870	1080
288	47	6	Quinta do Lagarito	600	750	870	1080
289	47	7	Quinta do Lagarito	600	750	870	1080
290	48	1	Ruínas Romanas de Cardílium	630	750	870	1080
291	48	2	Ruínas Romanas de Cardílium	630	750	870	1080
292	48	3	Ruínas Romanas de Cardílium	630	750	870	1080
293	48	4	Ruínas Romanas de Cardílium	630	750	870	1080
294	48	5	Ruínas Romanas de Cardílium	630	750	870	1080
295	49	1	Pedreira do Galinha – Dinossáurios	600	750	870	1080
296	49	2	Pedreira do Galinha – Dinossáurios	600	750	870	1080
297	49	3	Pedreira do Galinha – Dinossáurios	600	750	870	1080
298	49	4	Pedreira do Galinha – Dinossáurios	600	750	870	1080
299	49	5	Pedreira do Galinha – Dinossáurios	600	750	870	1080
300	49	6	Pedreira do Galinha – Dinossáurios	600	750	870	1080
301	49	7	Pedreira do Galinha – Dinossáurios	600	750	870	1080
302	50	1	Praça 5 de Outubro	510	750	870	1140
303	50	2	Praça 5 de Outubro	510	750	870	1140
304	50	3	Praça 5 de Outubro	510	750	870	1140
305	50	4	Praça 5 de Outubro	510	750	870	1140
306	50	5	Praça 5 de Outubro	510	750	870	1140
307	50	6	Praça 5 de Outubro	510	750	870	1140
308	50	7	Praça 5 de Outubro	510	750	870	1140
309	51	2	Museu Agrícola de Riachos	630	750	900	1080

310	51	3	Museu Agrícola de Riachos	630	750	900	1080
311	51	4	Museu Agrícola de Riachos	630	750	900	1080
312	51	5	Museu Agrícola de Riachos	630	750	900	1080

TABELA COMPLETA DOS NÓS RESTAURANTE

IdRest	Nome
53	A Cernelha
54	A Bula
55	Cnema
56	O Jardim
57	O Mal Cozinhado
58	David Park
59	Aquáriu
60	Restaurante Olívio
61	Retiro do Faia
62	Café Restaurante Central
63	O Té
64	O Pardal
65	Refeitório Quinhetista
66	O Barrigas
67	Restaurante Torres
68	O Comboio

TABELA COMPLETA DOS NÓS CÓPIA DOS RESTAURANTES

IdCopiaRest	IdRest	DiaFunciona
314	53	2
315	53	3
316	53	4
317	53	5
318	53	6
319	53	7
320	54	1
321	54	3
322	54	4
323	54	5
324	54	6
325	54	7
326	55	1
327	55	2
328	55	3
329	55	4
330	55	5
331	55	7
332	56	1
333	56	2
334	56	4
335	56	5
336	56	6
337	56	7
338	57	1
339	57	2
340	57	3
341	57	4
342	57	5
343	57	6
344	58	2
345	58	4
346	58	5
347	58	6
348	58	7
349	59	2
350	59	3
351	59	4
352	59	5
353	59	6
354	59	7
355	60	2
356	60	3
357	60	4
358	60	5
359	60	6
360	60	7
361	61	1
362	61	2

363	61	3
364	61	4
365	61	5
366	61	6
367	62	2
368	62	3
369	62	4
370	62	5
371	62	6
372	62	7
373	63	1
374	63	2
375	63	4
376	63	5
377	63	6
378	63	7
379	64	1
380	64	2
381	64	3
382	64	4
383	64	5
384	64	6
385	65	2
386	65	3
387	65	4
388	65	5
389	65	6
390	65	7
391	66	2
392	66	3
393	66	4
394	66	5
395	66	6
396	67	2
397	67	3
398	67	4
399	67	5
400	67	6
401	67	7
402	68	1
403	68	2
404	68	4
405	68	5
406	68	6
407	68	7



ANEXO 2 – TABELA COMPLETA DOS NÓS DORMIDA

IdDormida	Nome
-81	Albergaria João Chagas
-80	Pensão Restaurante Sol Tejo
-79	Pensão Solar de São José
-78	Pensão Almonda Parque
-77	Pensão Restaurante Faustino
-76	Casa de Santo António de Azinhaga
-75	Casa da Azinhaga
-74	Quinta da Torre
-73	Residencial Novo Príncipe
-72	Hotel Alfageme (Residencial)
-71	Hotel do Prado (Residencial)
-70	Grande Hotel Santarém
-69	Residencial Primavera

1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13 14 15 16 17 18 19 20 21 22 23 24 25 26 27 28 29 30 31 32 33 34 35 36 37 38 39 40 41 42 43 44 45 46 47 48 49 50 51 52 53 54 55 56 57 58 59 60 61 62 63 64 65 66 67 68 69 70 71 72 73 74 75 76 77 78 79 80 81 82 83 84 85 86 87 88 89 90 91 92 93 94 95 96 97 98 99 100

Table with 100 columns and 100 rows containing numerical data. The table is organized into a grid with columns numbered 1-100 and rows numbered 1-100. The data consists of various numbers, some with decimal points, arranged in a regular pattern across the grid.