

Cláudia Filipa de Leão e Machado

SIMPLIFICAR COIMBRA E SUA REGIÃO — CONTRIBUTO PARA A MELHOR UTILIZAÇÃO DOS TRANSPORTES PÚBLICOS COLETIVOS NA COMUNIDADE INTERMUNICIPAL DA REGIÃO DE COIMBRA (CIM | RC)

Dissertação de Mestrado em Tecnologias de Informação Geográfica, área de especialização em Ciências e Tecnologias de Informação Geográfica, orientada por Professor Doutor José Paulo Elvas Duarte de Almeida e Professor Doutor Alberto Jorge Lebre Cardoso e apresentada ao Departamento de Matemática da Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade de Coimbra

2018



UNIVERSIDADE DE COIMBRA

Cláudia Filipa de Leão e Machado

SIMPLIFICAR COIMBRA E SUA REGIÃO — CONTRIBUTO PARA A MELHOR UTILIZAÇÃO DOS TRANSPORTES PÚBLICOS COLETIVOS NA COMUNIDADE INTERMUNICIPAL DA REGIÃO DE COIMBRA (CIM | RC)

Dissertação de Mestrado em Tecnologias de Informação Geográfica, área de especialização em Ciências e Tecnologias de Informação Geográfica, orientada por Professor Doutor José Paulo Elvas Duarte de Almeida e Professor Doutor Alberto Jorge Lebre Cardoso e apresentada ao Departamento de Matemática da Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade de Coimbra

2018



UNIVERSIDADE DE COIMBRA

"Continue, persista e os seus esforços serão recompensados.

Continue a agir com propósito, foco e compromisso".

T. Nicolau

Agradecimentos

À Mãe, Pai, Cris, Manos e Família por tornarem o meu sonho realidade. Agradeço por todo o apoio incondicional, por toda a ajuda, carinho e contornar das saudades. Agradeço por fazerem de mim uma pessoa com garra, que luta pelos seus objetivos e que não desiste perante os obstáculos da vida. É a garra que nos caracteriza e é essa garra que eu levo para tudo o que faço na vida. Sem vocês, não conquistaria tudo o que conquistei até ao dia de hoje.

Ao André, o meu namorado, agradeço por todo o apoio, pelas vezes que riste e choraste comigo durante este percurso académico, pelas vezes que me motivaste a ir à conquista, a lutar e nunca a desistir. Pelas vezes que gritaste que eu conseguia e para continuar sem olhar para trás. Obrigada por toda a força, compreensão e companheirismo durante estes anos.

Aos meus orientadores, Alberto Cardoso e José Paulo, por toda a disponibilidade desde o primeiro dia, todo o acompanhamento e por não me fazerem arrepender da escolha, uma única vez durante este percurso. Posso dizer que orientaram, como o verdadeiro significado da palavra.

Aos meus Amigos de Sempre, agradeço por se manterem a meu lado e me acolherem, mesmo quando a distância é muita e tem tudo para separar.

Aos meus Amigos desta Cidade, obrigada pelos melhores anos da minha vida. Crescemos juntos desde o primeiro dia e agora que temos rumos diferentes, mantemo-nos unidos. Ao Sérgio, um agradecimento especial por todo o companheirismo e alegria, ficam os sorrisos e a saudade eterna.

À Fêwxes e Duplex House, obrigada por todas as gargalhadas e partilhas, é entre essas paredes que está uma grande família.

Aos meus Professores, todos os que desde sempre contribuíram para o meu crescimento pessoal e profissional, o meu muito obrigado. Muitos de vocês foram uma grande inspiração para mim.

Por último, mas não menos importante, a todas as pessoas que gostam de mim e que me acrescentam diariamente, obrigada.

O que sou hoje devo a vocês, Bem- Hajam!

Nº do aluno: 2013148199

Nome: Cláudia Filipa de Leão e Machado

Título da dissertação:

Simplificar Coimbra e sua Região - Contributo para a melhor utilização dos Transportes Públicos Coletivos na Comunidade Intermunicipal da Região de Coimbra (CIM | RC)

Palavras-Chave:

- Análise de redes topológicas
- Comunidade Intermunicipal da Região de Coimbra (CIM | RC)
- Rede Intermunicipal
- Rede Multimodal
- Sistemas de Informação Geográfica nos Transportes (SIG-T)

Resumo

Os Sistemas de Informação Geográfica (SIG) são sistemas computacionais para capturar, armazenar, consultar, analisar e exibir dados geoespaciais e as suas características (Chang, 2010). A partir da massificação desta tecnologia e da forte componente espacial dos transportes, conciliou-se os SIG aos transportes, dando origem aos Sistemas de Informação Geográfica para os transportes (SIG-T), com metodologias e algoritmos específicos para a análise de redes.

Parafraseando Silva (2006), “os SIG-T possibilitam análises integradas de todas as componentes de um sistema de transportes no seu contexto geográfico”.

A aplicação dos SIG aos transportes, tem crescido nos últimos anos, principalmente como ferramenta para o auxílio a tomadas de decisão, análise, monitorização e gestão dos transportes de forma a facilitar a circulação de pessoas, bens e informação, garantindo o acesso à mobilidade.

A grande premissa deste trabalho é o de automatizar o processo de planejar uma viagem utilizando a rede dos transportes públicos (rede multimodal) a nível intermunicipal, disponibilizando a informação ao público com auxílio das funcionalidades dos SIG. Assim, pretende-se dar resposta à debilidade no planeamento de viagens intermunicipais - conciliando o transporte rodoviário (urbano e regional), ferroviário e rede pedonal - com o propósito de melhorar a acessibilidade.

No que respeita ao caso de estudo, foi definida a Região de Coimbra que é constituída por dezanove concelhos, com uma rede multimodal consideravelmente extensa, uma vez que não existem plataformas que possibilitem o planeamento de viagens complexas (com mais do que um modo de transporte) de forma adequada por parte do utilizador, nem o planeamento de viagens intermunicipais na região.

Para a simulação da rede multimodal e intermunicipal, foram definidos quatro cenários representativos do nosso caso de estudo que têm como origem quatro localizações diferentes, pertencentes à Região de Coimbra, e como destino o Hospital Central da Universidade de Coimbra. A informação resultante da criação de rotas conforme as preferências definidas pelo utilizador, é o tempo da viagem, a tarifa associada (€), a distância total, a distância pedestre, o modo de transporte, as paragens/estações, o percurso até aceder ao transporte, o percurso do transporte, os transbordos propostos, o tempo de espera e os horários, para uma viagem que corresponda às necessidades do utilizador.

Abstract

Geographic Information Systems (GIS) are computer systems for capturing, storing, querying, analyzing and displaying geospatial data and its characteristics (Chang, 2010). From the massification of this technology and the strong spatial component of transport, GIS was reconciled with transport, rising the Geographic Information Systems for Transport (GIS-T), with methodologies and specific algorithms for the analysis of networks.

Paraphrasing Silva (2006), "GIS-T enable integrated analysis of all components of a transport system in its geographic context."

The application of GIS to transport has grown in recent years, mainly as a tool to aid decision-making, analysis, monitoring and transport management to facilitate the movement of people, goods and information, ensuring access to mobility.

The main premise of this work is to automate the process of planning a trip using the public transport network (multimodal network) at intermunicipal level, making information available to the public with the help of the GIS functionalities. Aims to respond to the weakness of planning an intermunicipal travel - reconciling road transport (urban and regional), rail and pedestrian network - with the aim of improving accessibility.

Regarding the case study, was chosen the Region of Coimbra that as nineteen municipalities, with a considerable multimodal network, since there are no platforms that allow the planning of complex trips (with more than one mode of transportation) in an appropriate way on the part of the user, neither the planning of intermunicipal trips in the region.

For the simulation of the multimodal and intermunicipal network, four representative scenarios of our case study were defined that have as origin four different locations, belonging to the Region of Coimbra, and as destination the Hospital Central da Universidade de Coimbra. The information resulting from the creation of routes according to the preferences defined by the user, is the travel time, the associated fare (€), the total distance, the pedestrian distance, the mode of transportation, the stops/stations, the route until access transport, the transport route, the proposed trans-shipments, the waiting time and the timetable, for a journey that corresponds to the needs of the user.

Índice

Agradecimentos	ii
Resumo	iv
Abstract.....	v
Índice.....	vi
Índice de Figuras	x
Índice de Tabelas.....	xiii
Abreviaturas, Acrónimos e Siglas.....	xiv
1. Introdução.....	1
1.1. Enquadramento geral e motivação	1
1.2. Principais contribuições previstas	5
1.3. Estrutura da dissertação.....	7
2. As redes de transporte em ambiente de Sistemas de Informação Geográfica (SIG).....	9
2.1. Descrição geral dos SIG	9
2.2. As potencialidades dos SIG na gestão dos transportes públicos (SIG-T)	13
2.2.1. As tecnologias e plataformas existentes de SIG-T	15
2.2.1.1. A nível nacional.....	17
2.2.1.2. A nível internacional.....	21
2.2.2. O Projeto Simplificar Coimbra e Sua Região e as tecnologias existentes.....	24
2.3. A Teoria de Grafos e algoritmos de otimização	25
2.3.1. Introdução.....	25
2.3.2. Teoria de Grafos	25
2.3.2.1. Generalidades	25
2.3.3. Problema do Caixeiro-Viajante	28
2.3.4. Problema do Carteiro-Chinês.....	29
2.3.5. Algoritmos para a otimização de redes topológicas	30
2.3.5.1. Algoritmos de Métodos Exatos	30
2.3.5.2. Algoritmos Heurísticos.....	32
3. Conceção e implementação de redes topológicas de transporte em SIG.....	34
3.1. Análise de redes de transporte.....	34

3.2.	Atributos da rede topológica.....	38
3.3.	A conectividade da rede topológica.....	41
3.4.	Erros topológicos.....	42
3.5.	Conceção de uma rede topológica com base na extensão Network Analyst	44
3.6.	Métodos de cálculo usado pelas funcionalidades do Network Analyst	45
4.	O caso de estudo – o acesso aos transportes públicos coletivos na CIM RC.....	46
4.1.	Apresentação da área de estudo	46
4.1.1.	Breve caracterização sociodemográfica da CIM RC	46
4.1.2.	A mobilidade na CIM RC	50
4.1.3.	O potencial dos transportes públicos na CIM RC	54
4.2.	Conceção de uma rede multimodal na CIM RC	60
4.2.1.	Generalidades.....	60
4.2.2.	Metodologia	61
4.2.3.	Recolha e tratamento dos dados num SIG	64
4.2.3.1.	Criação do projeto.....	64
4.2.3.2.	Aquisição de informação e dados	65
4.2.3.3.	Tratamento e criação de dados	67
4.2.4.	Conceção e configuração da rede multimodal	81
4.2.4.1.	Criação do Network Dataset (ArcMap 10.4.1.)	82
4.2.4.2.	Cálculo do caminho mais curto (ArcGIS Pro)	91
4.2.4.3.	Implementação dos horários dos transportes.....	97
5.	Resultados e discussão	109
5.1.	Cenários.....	109
5.1.1.	Cenário 1.....	110
5.1.2.	Cenário 2.....	115
5.1.3.	Cenário 3.....	120
5.1.4.	Cenário 4.....	124
5.2.	As rotas resultantes dos cenários e a plataforma SCR.....	129
5.3.	Representação e visualização dos resultados.....	130
5.3.1.	Linha do tempo (<i>Timeline</i>).....	130
5.3.2.	ArcGIS Online	133
6.	Conclusões.....	136

Bibliografia	141
Anexos	148
Anexo A: Rede ferroviária da CP.....	149
Anexo B: Velocidades consideradas pela REFER na rede ferroviária da CP	150
Anexo C: Extensão da rede rodoviária dos Transportes Urbanos de Coimbra (SMTUC)	151
Anexo D: Direções do cenário 1 para rota com menor distância pedestre	152
Anexo E: Direções do cenário 1 para rota com menor tempo de viagem	154
Anexo F: Direções do cenário 1 para rota com menor preço associado e rota com menor distância total	156
Anexo G: Direções do cenário 2 para rota com menor distância pedestre e rota com menor tempo de viagem	158
Anexo H: Direções do cenário 2 para rota com menor preço associado	160
Anexo I: Direções do cenário 2 para rota com menor distância total.....	162
Anexo J: Direções do cenário 3 para rota com menor distância pedestre	163
Anexo K: Direções do cenário 3 para rota com menor tempo de viagem.....	164
Anexo L: Direções do cenário 3 para rota com menor preço associado e rota com menor distância total	165
Anexo M: Direções do cenário 4 para rota com menor distância pedestre.....	166
Anexo N: Direções do cenário 4 para rota com menor tempo de viagem.....	169
Anexo O: Direções do cenário 4 para rota com menor preço associado e rota com menor distância total	171
Anexo P: Código desenvolvido em Python	173
Anexo Q: Ficheiro TXT (“directions”) exportado das direções do Network Analyst.....	176
Anexo R: Horário da carreira 7 dos SMTUC.....	178
Anexo S: Horário da carreira 7T dos SMTUC.....	179
Anexo T: Horário da carreira 103 dos SMTUC	180
Anexo U: Horário da Linha Figueira da Foz – Coimbra (CP)	181
Anexo V: Horário da Linha Souselas – Coimbra (CP).....	182

Anexo X: Horário da linha Figueira da Foz – Coimbra (Moisés).....	183
---	-----

Índice de Figuras

Figura 1- Demonstração da inexistência de informação para a criação de rotas de transportes públicos entre a Figueira da Foz e o Hospital Central da UC.	5
Figura 2- Representação da sugestão do Google Maps no pedido de rota entre a Praça da Estação Nova e o Hospital Central da UC.	6
Figura 3 – Representação das camadas em SIG (adaptado de ESRI, 2018).....	11
Figura 4- A origem dos SIG-T: cruzamento entre os SIG e os TIS (adaptado de Vonderohe <i>et al.</i> , 1993).	12
Figura 5- Planeamento de uma viagem na plataforma Transporlis (Transporlis, 2017).....	19
Figura 6- Plataforma Coimbra.MOVE-ME e a ausência de informação para a Região de Coimbra. ...	21
Figura 7- Interface da plataforma RATP.....	23
Figura 8- Representação de um grafo (adaptado de Matos, 2008).	26
Figura 9- Grafo com valores associados aos vértices – Rede (adaptado de Matos, 2008).	26
Figura 10- Visualização de Königsberg e as sete pontes sobre o rio Pregel (Gomes <i>et al.</i> , 2009).	27
Figura 11- Grafismo proposto por Euler, 1736 (Gomes <i>et al.</i> , 2009).....	28
Figura 12- Representação do Problema do Caixeiro-Viajante (adaptado de Rocha and Soares, 2006). 29	
Figura 13- Representação da árvore de Branch and Bound (Rust, 1983).....	31
Figura 14- Algoritmo Dijkstra (Jasika <i>et al.</i> , 2012 <i>apud</i> Barreira, 2016).....	32
Figura 15- Exemplo do algoritmo A-Star (adaptado de Barreira, 2016).....	33
Figura 16- Representação da tipologia dados da rede construída (adaptado de ESRI, 2018).	35
Figura 17- Rede de transporte para o centro de paris (adaptado de ESRI Network Analyst, 2017).	41
Figura 18- Erros topológicos: <i>undershoot</i> (esquerda) e <i>overshoot</i> (direita) (adaptado de Chang, 2010).....	42
Figura 19- Erro topológico: Pseudo-nó (adaptado de Chang, 2010).	43
Figura 20- O From-node (FT) e o To-node (TF) num arco determinam as direções do mesmo (adaptado de Chang, 2010).....	43
Figura 21- Concelhos da CIM Região de Coimbra.	47
Figura 22- Heterogeneidade na CIM Região de Coimbra (Comunidade Intermunicipal da Região de Coimbra, 2018).	48
Figura 23- População residente e densidade populacional por concelho em 2011 (Comunidade Intermunicipal de Coimbra, 2016).....	50
Figura 24- Os transportes por concelho (Comunidade Intermunicipal de Coimbra, 2016).....	52
Figura 25- Fluxos intra-CIM RC de entrada e saída de trabalhadores, por concelho (Comunidade Intermunicipal de Coimbra, 2016).....	53
Figura 26- Grau de cobertura dos operadores de transporte coletivo rodoviário (Comunidade Intermunicipal de Coimbra, 2016).....	55
Figura 27- Rede ferroviária na CIM RC (Comunidade Intermunicipal de Coimbra, 2016).	57
Figura 28- Esquema dos Urbanos de Coimbra e representação da isolinha de 60 minutos atual (Comunidade Intermunicipal de Coimbra, 2016).....	58
Figura 29- Tipologia de interfaces (Comunidade Intermunicipal Região de Coimbra, 2017).	59
Figura 30- Modelo conceptual da metodologia utilizada (adaptado de Morais <i>et al.</i> , 2013).	62
Figura 31- Simplificação das fases do projeto e plataformas utilizadas (adaptado de Morais <i>et al.</i> , 2013).	63

Figura 32- Representação simplificada dos dados utilizados.....	69
Figura 33- A ligação entre as diferentes sub-redes (com os arcos de ligação).....	70
Figura 34- A ligação entre as diferentes sub-redes (sem arcos de ligação).....	70
Figura 35- Integração inicial dos horários.....	73
Figura 36- Diagramas Entidade- Relacionamento para a relação n-1.....	74
Figura 37- Representação esquemática da deslocação entre os diferentes modos de transporte da rede topológica criada (adaptado de Morais <i>et al.</i> , 2013).....	76
Figura 38- Diferentes modos de transporte (com as suas diferentes rotas e paragens/ estações) da rede constituída.....	77
Figura 39- Rotas e respetivas paragens dos SMTUC da rede constituída.....	77
Figura 40- Rotas e respetivas paragens da carreira 103 (SMTUC) da rede constituída.....	78
Figura 41- Rotas e respetivas paragens da carreira 7 (SMTUC) da rede constituída.....	78
Figura 42- Rotas e respetivas paragens da carreira 7T (SMTUC) da rede constituída.....	79
Figura 43- Representação das estações e apeadeiros da rede ferroviária da CIM RC.....	80
Figura 44- Representação das paragens da rede rodoviária Moisés.....	81
Figura 45- Criação do Network Dataset (passo número 1- criar novo Network Dataset).....	83
Figura 46- Criação do Network Dataset (passo número 2- atribuição de um nome à rede).....	83
Figura 47- Criação do Network Dataset (passo número 3 – definição da conectividade).....	85
Figura 48- Exemplificação da constituição da rede e do elemento “entrada”.....	85
Figura 49- Criação do Network Dataset (passo número 4 – criação e edição dos atributos).....	86
Figura 50- Criação do Network Dataset (impedância distância pedestre).....	87
Figura 51- Criação do Network Dataset (impedância preço da viagem).....	88
Figura 52- Criação do Network Dataset (impedância tempo de percurso).....	88
Figura 53- Criação do Network Dataset (impedância tempo de percurso com valor tempo de espera).....	89
Figura 54- Criação do Network Dataset (passo número 5- propriedades das direções).....	90
Figura 55- Importação das paragens do cenário para análise e respetiva representação na rede.....	92
Figura 56- Cálculo da distância (metros) entre o ponto selecionado e a entrada na rota.....	93
Figura 57- Definição das propriedades da camada da rota.....	94
Figura 58- Resultado do exemplo apresentado (Cenário 1 com a impedância Distância Pedestre).....	95
Figura 59- Resultado do exemplo apresentado ao pormenor do destino (Cenário 1 com a impedância Distância Pedestre).....	95
Figura 60- Direções resultantes da rota do Cenário 4 com menor tempo de viagem.....	96
Figura 61- Tabela de atributos da rota do Cenário 1 com menor distância pedestre.....	97
Figura 62- Exemplo 1 de implementação das Janelas de Tempo.....	98
Figura 63- Exemplo 2 de implementação das Janelas de Tempo.....	98
Figura 64- Utilização do tempo na rota.....	99
Figura 65- Resultado da rota e respetivas direções.....	100
Figura 66- Configuração do recurso tempo nas camadas.....	101
Figura 67- Demonstração do time slider para as paragens Moisés no decorrer do tempo (horário).....	101
Figura 68- Definição nas propriedades da camada para a utilização de <i>hyperlinks</i>	102
Figura 69- Representação do acrescento do <i>hyperlink</i> a um ponto (paragem).....	102
Figura 70- Abertura do <i>hyperlink</i> da paragem selecionada.....	103
Figura 71- Exemplo de criação de dados GTFS (Google Transit, 2018).....	104

Figura 72- Fluxograma do código desenvolvido em Python.....	106
Figura 73- Ficheiro CSV “mytimeline.csv” do Cenário 1 com menor distância pedestre.....	106
Figura 74- Resultado do Código em Python do Cenário 1 com menor distância pedestre.	107
Figura 75- Representação do Cenário 1.....	110
Figura 76- Rota do Cenário 1 com menor distância pedestre.....	111
Figura 77- Rota mais rápida do Cenário 1.	112
Figura 78- Rota mais económica do Cenário 1.	113
Figura 79- Rota mais curta do Cenário 1.	114
Figura 80- Representação do Cenário 2.....	115
Figura 81- Rota com menor distância pedestre do Cenário 2.....	116
Figura 82- Rota com menor tempo de viagem do Cenário 2.	117
Figura 83- Rota mais económica do Cenário 2.	118
Figura 84- Rota mais curta do Cenário 2.	119
Figura 85- Representação do Cenário 3.....	120
Figura 86- Rota com menor distância pedestre do Cenário 3.....	121
Figura 87- Rota com menor tempo de viagem do Cenário 3.	122
Figura 88- Rota mais económica do Cenário 3.	123
Figura 89- Rota mais curta do Cenário 3.	123
Figura 90- Representação do Cenário 4.....	125
Figura 91- Rota com menor distância pedestre do Cenário 4.....	126
Figura 92- Rota com menor tempo de viagem do Cenário 4.	127
Figura 93- Rota mais económica do Cenário 4.	128
Figura 94- Rota mais curta do Cenário 4.	128
Figura 95- Importação do ficheiro de texto das direções no programa Timeline Maker Pro.	130
Figura 96- Edição da informação das direções	131
Figura 97- <i>Timeline</i> 1 da viagem entre Figueira da Foz e Coimbra a iniciar às 9h.	131
Figura 98- Importação do ficheiro CSV “mytimeline.csv” no programa Timeline Maker Pro.....	132
Figura 99- <i>Timeline</i> 2 da viagem entre Figueira da Foz e Coimbra a iniciar às 9h.	133
Figura 100- A rede de transportes disponibilizada no ArcGIS Online.	134
Figura 101- Representação da rede ferroviária e rodoviária do Moisés na interface do ArcGIS Online.	134
Figura 102- Representação de toda a rede de transportes.	135
Figura 103- Representação fundamentalmente da rede rodoviária dos SMTUC no limite urbano de Coimbra.	135

Índice de Tabelas

Tabela 1- Tecnologias e plataformas nacionais e internacionais analisadas.....	16
Tabela 2- Densidade Populacional na CIM RC (INE, 2018)	49
Tabela 3- Operadores de transporte público rodoviário (adaptado de Comunidade Intermunicipal da Região de Coimbra, 2017).....	56
Tabela 4- Esquematização dos dados recolhidos.....	66
Tabela 5- Dados após tratamento.	69
Tabela 6- Representação dos atributos dos dados.	71
Tabela 7- Tabela descritiva dos avaliadores presentes (adaptado de ESRI Network Analyst, 2017). ...	89
Tabela 8- Exposição dos resultados obtidos no cálculo das rotas do Cenário 1.	114
Tabela 9- Exposição dos resultados obtidos no cálculo das rotas do Cenário 2.	119
Tabela 10- Exposição dos resultados obtidos no cálculo das rotas do Cenário 3.	124
Tabela 11- Exposição dos resultados obtidos no cálculo das rotas do Cenário 4.	129

Abreviaturas, Acrónimos e Siglas

AML	Área Metropolitana de Lisboa
AMP	Área Metropolitana do Porto
App	Aplicação móvel
CAOP	Carta Administrativa Oficial de Portugal
CCDRC	Comissão de Coordenação e Desenvolvimento Regional do Centro
CIM RC	Comunidade Intermunicipal da Região de Coimbra
CP	Comboios de Portugal
ESRI	<i>Environmental Systems Research Institute</i>
ETRS	<i>European Terrestrial Reference System</i>
GIS-T	<i>Geographical Information System in Transportation</i>
GPS	Sistema de Posicionamento Global
GTFS	<i>General Transit Feed Specification</i>
IMTT	Instituto da Mobilidade e dos Transportes
INE	Instituto Nacional de Estatísticas
IVR	<i>Interactive Voice Response</i>
OSM	<i>OpenStreetMap</i>
REFER	Rede Ferroviária Nacional
SCR	Simplificar Coimbra e sua Região
SIG	Sistemas de Informação Geográfica
SIG-T	Sistemas de Informação Geográfica nos Transportes
SIT's	Sistemas Inteligentes de Transportes
SMTUC	Serviços Municipalizados de Transportes Urbanos de Coimbra
TC	Transporte Coletivo
TI	Transporte Individual

I. Introdução

I.1. Enquadramento geral e motivação

O transporte representa uma das atividades humanas mais importantes. É uma componente indispensável da economia e desempenha um papel importante nas relações espaciais. O transporte cria ligações valiosas entre as regiões e atividades económicas, entre as pessoas e o resto do mundo (Rodrigue *et al.*, 2009).

Devido ao acelerado crescimento dos centros urbanos, a população desloca-se para a periferia das cidades, afastando-se dos seus locais de trabalho que, em regra geral, se encontram nos centros urbanos. Este acontecimento tem como consequência o aumento do tempo nas deslocações pendulares e o uso do transporte individual em detrimento do transporte público.

O transporte individual consiste no transporte de pessoas em viatura própria, sendo operado pelo condutor do próprio veículo, como é exemplo o automóvel, a bicicleta e o motociclo (Vuchic, 1981 *apud* Ferraz, 2012) e o transporte público, é um transporte “para uso da população que paga uma tarifa pré-estabelecida e que opera em rotas específicas e horários fixos”. No transporte público, estão incluídos o autocarro, metro, comboio e elétrico, entre outros (Vuchic, 1981 *apud* Ferraz, 2012).

Atualmente, verifica-se uma maior preocupação por parte das políticas públicas e de estratégias ao nível do planeamento regional em proporcionar melhores condições de deslocação aos cidadãos, permitindo-lhes escolhas que garantam segurança, conforto, custos acessíveis, tempos aceitáveis de espera e percursos de curta distância (Ferraz, 2012).

Apesar da maior preocupação na promoção do transporte público, uma parte da população não efetua a transição para o sistema de transportes públicos, devido à complexidade do sistema de transportes ou à falta de informação necessária para o adequado acesso aos transportes públicos coletivos.

Por outro lado, os utilizadores regulares dos transportes públicos são confrontados com determinados problemas provenientes da utilização do sistema, como a ausência de informação necessária para a utilização diária dos transportes públicos (Levita, 2012) e a complexidade no planeamento de viagens em que é necessário conciliar diferentes meios e modos de transporte.

Parafraseando a Comunidade Intermunicipal da Região de Aveiro (2014), “a articulação entre diferentes modos de transporte, visa a implementação de um sistema integrado de mobilidade, permite

diminuir o uso do transporte individual e, simultaneamente, garante a adequada mobilidade das populações, promovendo a inclusão social e a qualidade de vida da região”.

Segundo Ferraz (2012), de forma a combater o uso do transporte individual e a promover a utilização do transporte público, é fulcral que as empresas responsáveis pela gestão melhorem os serviços de disponibilização de informação ao público, através de mapas e horários em papel com os respetivos circuitos, mas também através de páginas Web criadas especificamente para esse efeito, com mapas interativos, aplicações para telemóveis, consulta de horários e circuitos, pontos de paragem e transbordo de passageiros, permitindo informação atempada antes da realização da viagem e desenvolvendo soluções necessárias ao melhoramento da acessibilidade ao transporte público. Por acessibilidade entende-se a maior ou menor facilidade de aceder a determinadas atividades, desde um dado ponto no território, utilizando um modo de transporte.

Percebendo que o uso do transporte é uma dualidade - condiciona e facilita a vida da população, possibilita a acessibilidade e condiciona a liberdade - a multimodalidade e a intermodalidade apresentam-se como uma premissa para a melhor utilização dos Transportes Públicos Coletivos em qualquer região metropolitana ou intermunicipal, nomeadamente na Comunidade Intermunicipal da Região de Coimbra (CIM|RC).

A multimodalidade (acesso a diferentes modos de transporte) já está presente na Região de Coimbra (por exemplo, comboio, autocarro urbano e autocarro regional). Contudo, a integração de diferentes modos ainda não é considerada na Região e é uma das condições essenciais para a promoção de uma mobilidade que vai ao encontro das necessidades dos utilizadores e promoção do uso do transporte público em detrimento do transporte individual.

A integração de diferentes modos de transporte (intermodalidade), é a possibilidade de a população articular na sua viagem diferentes transportes, para que a acessibilidade entre a origem e o destino seja facilitada. Para que a integração seja praticável, é fundamental a incorporação numa página Web ou numa aplicação, dos diferentes serviços de transportes da Região, com informação para o público, que permita um planeamento adequado da viagem.

As interfaces aparecem igualmente como uma supremacia à integração dos diferentes modos de transporte, sendo essenciais na promoção da articulação modal uma vez que se apresentam como elos fundamentais para o bom funcionamento das redes de transportes da Região e concelhos, correspondendo a elementos de dinamização dos diferentes níveis (urbanos/suburbanos, locais/concelhos, regionais, inter-regionais e internacionais) do sistema de transporte público numa determinada área. Assim, as interfaces contribuem para a dinamização da mobilidade na região e promovem a acessibilidade (Plano Estratégico de Mobilidade e Transportes, 2016).

Como exemplo de interfaces na CIM|RC temos a estação ferroviária de Coimbra-B e da Figueira da Foz, uma vez que contemplam modos como o comboio, táxi, pedonal, bicicleta, automóvel e autocarro urbano, e a estação rodoviária de Coimbra que agrega o transporte rodoviário, pedonal, táxi e o autocarro urbano.

Com o avanço das tecnologias e a preocupação em dinamizar e incluir o uso do transporte público no quotidiano dos cidadãos, surgiram os Sistemas de Transportes Inteligentes (SIT's).

Os SIT's são aplicações avançadas que se destinam a prestar serviços inovadores em matéria de modos de transporte e de gestão do tráfego e a permitir que diversos utentes fiquem melhor informados e utilizem as redes de transportes de forma mais segura, coordenada e inteligente (Oliveira, 2015).

A aplicação de tecnologias de informação e das comunicações no setor dos transportes rodoviários e nas suas interfaces com outros modos de transporte, contribuiu significativamente para melhorar o acesso por parte da população aos transportes públicos (Oliveira, 2015).

Levita (2012) menciona que “muitos utilizadores são confrontados com a necessidade de se deslocarem entre pontos geográficos com recurso aos transportes públicos. A tarefa de planear uma viagem deste tipo poderá tornar-se complicada e demorada devido ao leque de opções existentes e da necessidade de consultar toda a informação relevante. A complexidade do plano aumenta quando é necessário envolver o uso de mais do que uma linha de transporte. Assim, a consulta de informação relativa a paragens, pontos de transbordo entre carreiras e horários para traçar um plano de viagem, traduz-se num processo difícil e com a possibilidade de os resultados serem inadequados ou pouco eficientes em termos de tempo ou custo total”.

Perante as fragilidades presentes na integração e utilização do transporte público multimodal a nível intermunicipal, surgiu o projeto-piloto “Simplificar Coimbra e sua Região”.

As fragilidades presentes correspondem à informação ao público sobre os serviços de transporte público, do conhecimento das rotas efetuadas, horários, tarifas, e a impossibilidade de planear uma viagem, numa só plataforma, que resulte na integração de mais do que um serviço de transporte, com a finalidade de chegar à melhor solução.

Como área de estudo considerou-se a Região de Coimbra, constituída por dezanove concelhos, com uma extensa rede de transportes e caracterizada pela vulnerabilidade referida, na disponibilização de informação para o público e integração de vários modos de transporte público.

Esta dissertação tem como objetivo geral a criação de um protótipo de disponibilização de informação para o público de uma rede intermunicipal e multimodal de transportes na Região de Coimbra, em que é possível, com a disponibilização por parte do utilizador da informação da origem

e do destino, a geração de uma rota consoante a impedância que se considerou (menor distância pedestre, menor tempo de viagem, menor distância total ou menor custo associado à viagem).

Os objetivos específicos definidos são:

- Investigar as tecnologias existentes de disponibilização de informação ao público;
- Rever os conceitos e metodologias utilizadas nas tecnologias existentes;
- Conhecer a área de estudo considerada, a nível geográfico, demografia e de serviços de transportes e mobilidade;
- Caracterizar e diagnosticar as fragilidades do sistema de transporte público de passageiros na região;
- Aprofundar o conhecimento sobre algoritmos de otimização para conceção da rede topológica;
- Conceber e modelar uma rede topológica recorrendo a um *software* de tecnologias de informação geográfica (ArcGIS);
- Executar a rede topológica de forma a contemplar os cenários e a obter os resultados previstos;
- Implementar a rede topológica em ambiente ArcMap, ArcGIS Pro e ArcGIS Online;
- Visualizar as informações sobre a viagem, incluindo direções, horário e tempo de espera, da rota resultante.

Com isto, foram considerados quatro cenários distintos, com a finalidade de apresentar as características e potencialidades do protótipo SCR (Simplificar Coimbra e sua Região):

Cenário 1: Viagem entre Figueira da Foz (Avenida Saraiva de Carvalho) e o Hospital Central da Universidade de Coimbra (UC);

Cenário 2: Viagem entre Souselas (Rua 1º de Maio) e o Hospital Central da UC;

Cenário 3: Viagem entre a Solum (Rua de Angola) e o Hospital Central da UC;

Cenário 4: Viagem entre o Palácio da Justiça e o Hospital Central da UC, passando pelo Penedo da Saudade a fim de fazer uma paragem intermédia.

Estes cenários têm como origem diferentes localizações da Região de Coimbra e como destino o Hospital Central da Universidade de Coimbra.

1.2. Principais contribuições previstas

O desenvolvimento deste projeto prevê contribuir para a consciencialização das entidades competentes, sobre a importância da criação de uma plataforma que inclua o transporte multimodal e intermunicipal numa região como a Comunidade Intermunicipal de Coimbra. A criação de uma plataforma para o público com estas particularidades (transporte multimodal e intermunicipal) é fulcral na medida que possibilita um planeamento ajustado e atempado das viagens a realizar pelos utilizadores, entre os concelhos da Região de Coimbra, recorrendo a diferentes operadores de viagens.

Atualmente, consultando o Google Maps - serviço de pesquisa de rotas e visualização de mapas e imagens de satélite gratuito na Web - verifica-se a inexistência de informação perante o pedido de criação de uma rota (com transportes públicos), por exemplo, entre a Figueira da Foz (estação de comboios) e o Hospital Central da UC (Figura 1). Além disso, ao pedir a criação de uma rota com transportes públicos, entre a Praça da Estação Nova (Coimbra) e o Hospital Central da UC, a sugestão é a realização do percurso a pé com uma distância de 2,7 km e 38 minutos de tempo médio de deslocação o que, mais uma vez, demonstra a inexistência de informação para criação de rotas de transporte público nesta Região, uma vez que o mesmo se verifica nos restantes concelhos (Figura 2).

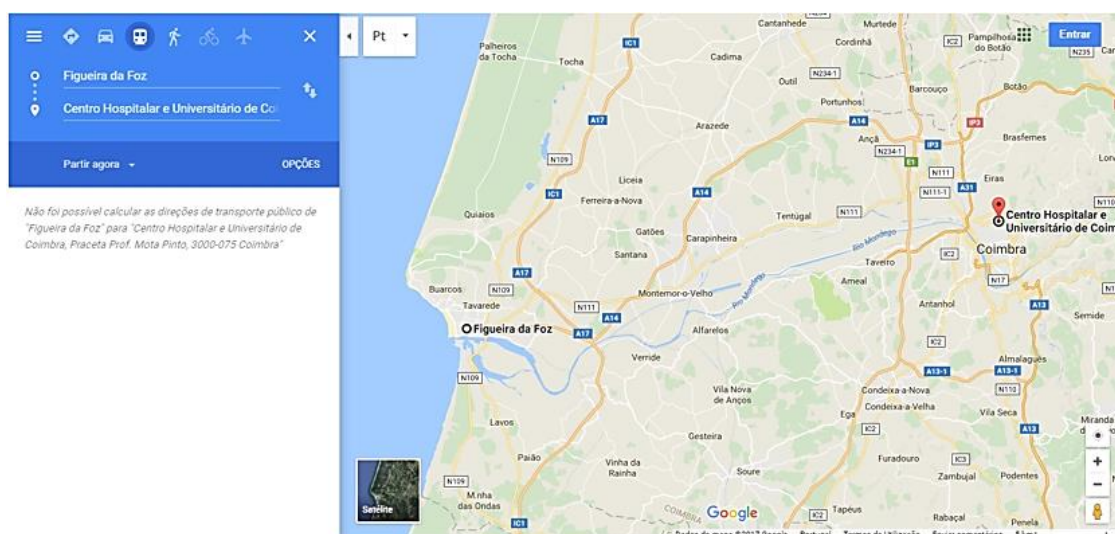


Figura 1- Demonstração da inexistência de informação para a criação de rotas de transportes públicos entre a Figueira da Foz e o Hospital Central da UC.

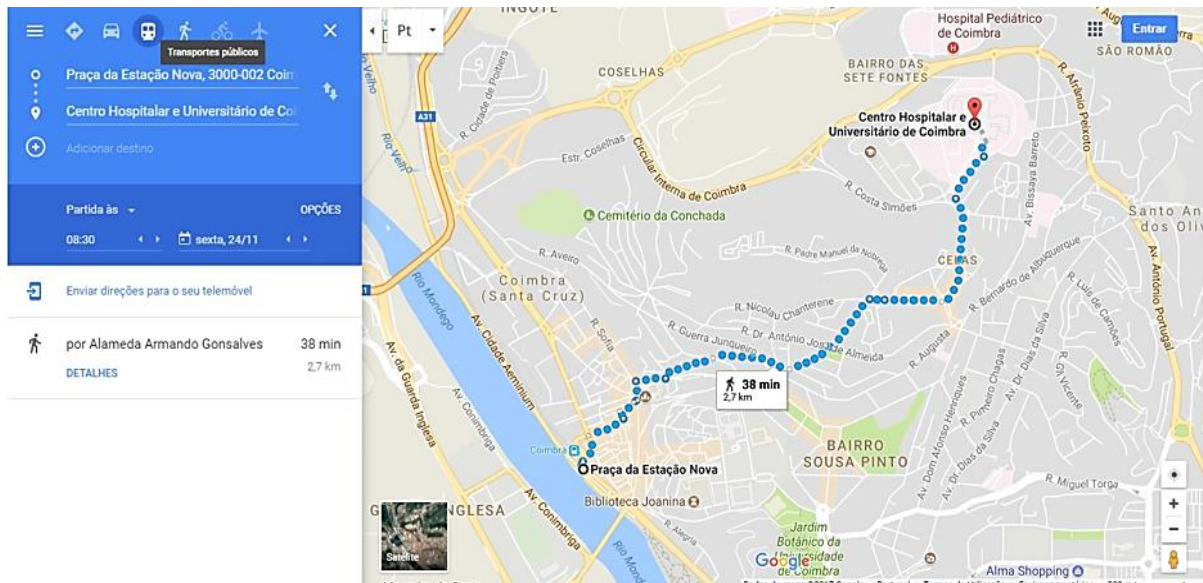


Figura 2- Representação da sugestão do Google Maps no pedido de rota entre a Praça da Estação Nova e o Hospital Central da UC.

O desenvolvimento deste trabalho é fundamental para facilitar o acesso aos transportes públicos e tem como finalidade responder a problemas-tipo como “Estamos na Figueira da Foz e temos uma consulta às 12h10min no Hospital Central da Universidade de Coimbra, no dia 24 de novembro (Sexta-feira). Neste contexto, é necessário planear a viagem e obter resposta às seguintes questões:

- Como se deslocar até ao Hospital?
- Que modo(s) de transporte utilizar?
- Quais os transbordos?
- Qual o tempo de espera?
- Quais os custos associados?
- Qual a distância pedestre a percorrer?
- Qual o tempo de viagem?”

O projeto-piloto que foi desenvolvido permite a simulação de viagens que vão ao encontro das necessidades do utilizador e das suas preferências (impedâncias). Desta forma, através de um ponto de origem e um de destino, definidos pelo utilizador, é apresentada a rota que permite a deslocação entre esses pontos, conforme as suas preferências. Para cada impedância, é gerada apenas uma rota como resultado. Consideraram-se como impedâncias, a distância máxima a percorrer, o tempo de viagem, a distância a percorrer a pé e tarifa associada.

Com isto, verificar-se-á a implementação de uma rede de transportes intermodal na Região de Coimbra com informação dos operadores SMTUC, CP e Moisés; e com quatro cenários - já mencionados - que serão representativamente expressivos para demonstração das potencialidades da plataforma e da efetividade dos resultados.

1.3. Estrutura da dissertação

Esta dissertação é composta por seis capítulos. O primeiro capítulo diz respeito à introdução, enquadramento geral e à motivação. Neste capítulo são também apresentadas as principais contribuições previstas com esta dissertação

O segundo capítulo é constituído pela revisão bibliográfica em que se faz uma descrição geral dos Sistemas de Informação Geográfica (SIG) com enfoque nos Sistemas de Informação Geográfica nos Transportes (SIG-T) e nas suas potencialidades, mencionando-se e caracterizando-se plataformas existentes de SIG-T a nível nacional e internacional. Ainda neste capítulo, introduz-se o conceito de Teoria de Grafos, a importância do Problema do Carteiro-Chinês e o Problema do Caixeiro-Viajante, explicando-se os algoritmos para a otimização de redes topológicas, como é exemplo o algoritmo de Dijkstra, cuja compreensão foi essencial para a realização deste trabalho.

O capítulo três é o capítulo em que se descreve a componente prática desta dissertação, começando por descrever a componente de análise de redes de transporte e os atributos da rede topológica. Seguidamente, menciona-se a complexidade da realização da conectividade da rede topológica, os erros topológicos tipicamente verificados e explica-se a conceção de uma rede topológica com base na extensão Network Analyst do ArcGIS e o algoritmo usado para o cálculo do caminho mais curto.

No capítulo quatro, apresenta-se o caso de estudo (Região de Coimbra), fazendo a sua caracterização a nível sociodemográfica, da mobilidade e o potencial dos transportes públicos nesta região. Neste capítulo é descrita toda a componente prática desta dissertação, - a metodologia utilizada, os problemas encontrados e soluções, a recolha e tratamento dos dados, a conceção e configuração da rede e restantes fases à visualização da rede multimodal e intermunicipal - em ArcMap 10.4.1, ArcGIS Pro e ArcGIS Online.

Relativamente ao capítulo cinco, é o capítulo em que são apresentados e discutidos os resultados que se obtiveram com a conceção da rede multimodal e intermunicipal e o cálculo das rotas, conforme os cenários e as impedâncias consideradas, e a representação e visualização dos resultados numa linha do tempo (*Timeline*), - com recurso a programação em Python - e no ArcGIS Online.

Por fim, no capítulo 6, apresentam-se as considerações finais do estudo desenvolvido e os possíveis desenvolvimentos futuros.

2. As redes de transporte em ambiente de Sistemas de Informação Geográfica (SIG)

2.1. Descrição geral dos SIG

Os SIG não são uma tecnologia recente, mas sim uma tecnologia que remonta à década de 1960, quando os computadores foram usados pela primeira vez para armazenar e processar dados geograficamente referenciados. Os primeiros exemplos de trabalhos relacionados com os SIG no final dos anos 60 e 70 referem-se ao mapeamento de computadores na Universidade de Edimburgo, no Laboratório de Computação Gráfica de Harvard e na Unidade de Cartografia Experimental e no subsequente desenvolvimento dos Sistemas de Informações Geográficas no Canadá. Porém, durante muitos anos, os SIG foram considerados de difícil utilização, proprietários e consequentemente, muito dispendiosos, o que adiou o desenvolvimento e utilização desta tecnologia (Chang, 2010).

Chang (2010) descreve os SIG como um sistema computacional para capturar, armazenar, consultar, analisar e exibir dados geoespaciais. Estes dados, também denominados dados geograficamente referenciados (georreferenciados), descrevem os locais e as características espaciais. Para descrever uma estrada, por exemplo, referimo-nos à sua localização (ou seja, onde está) e às suas características (comprimento, nome, velocidade máxima e direção).

Segundo Wade and Sommer (2006) citado em Theobald (2007), os SIG são coleções integradas de *software* e dados computacionais, usados para visualizar e gerir informação sobre locais geográficos, analisar relações espaciais e modelar processos espaciais. Os SIG fornecem uma estrutura para recolha e organização de dados espaciais, e informações relacionadas para que possam ser exibidos e analisados.

Burrough (1986) define um SIG como uma ferramenta informática, suportada em bases de dados que contêm informação gráfica e alfanumérica. A sua principal característica é a capacidade de integrar e atualizar informação de diferentes e variados níveis de agregação e poder representá-los como mapas. Nesta década, Burrough já caracterizava os SIG como um sistema automatizado de recolha, armazenamento, manipulação e saída de dados.

Para além dos dados geoespaciais, os SIG são compostos pelas componentes: *hardware*, *software*, pessoas e infraestrutura (Chang, 2010).

Do *hardware* fazem parte os computadores e respetivas estações de trabalho, bem como equipamentos adicionais que podem incluir monitores para visualização, digitalizadores e scanners para digitalização de dados espaciais, recetores de GPS (Sistema de Posicionamento Global), dispositivos móveis para o trabalho de campo, impressoras e *plotters* para exibição dos dados impressos. No *software* incluem-se os sistemas operativos, os sistemas de informação, as aplicações com código-fonte e a interface com o utilizador. O código pode ser escrito em C++, Visual Basic e Python, entre outras

linguagens de programação. As interfaces mais comuns são os menus, os ícones gráficos, as linhas de comando e os *scripts*. Na componente das pessoas estão presentes os profissionais dos SIG que definem o propósito e os objetivos para o uso desta tecnologia. As infraestruturas referem-se aos ambientes físicos, organizacionais, administrativos e culturais necessários para suportar as operações nos SIG (Chang, 2010).

Com o advento da interface gráfica do utilizador com *hardware* e *software* poderosos e acessíveis, e com a disponibilização pública de dados digitais, as aplicações dos SIG aumentaram e seu uso passou a ser mais frequente nos anos 90 (Chang, 2010). A capacidade dos SIG para lidar e processar dados geoespaciais permite que estes se distingam de outros sistemas de informação e faz com que seja uma tecnologia com grande potencial de utilização tanto nas áreas dos recursos naturais, como da saúde, dos transportes públicos coletivos e turismo, entre outros, permitindo a tomada de decisões estratégicas. Este sistema inclui a combinação do *software*, *hardware* e dados geográficos. A visualização de dados geográficos é a chave para transformar dados geográficos em informação útil e poderosa (Theobald, 2007).

Uma das características fulcrais dos SIG é o acesso a entidades georreferenciadas contendo atributos e organizadas por camadas. O termo “georreferenciados” concede aos dados geográficos uma particularidade espacial, ou seja, têm um sistema de coordenadas associado. Como cada entidade no espaço tem uma presença conhecida nesse espaço, os atributos (informações não espaciais) podem ser vinculados a uma entidade geométrica (Theobald, 2007).

Como se pode observar na Figura 3, as características geográficas podem ser organizadas em camadas de acordo com estradas, uso do solo e hidrografia, entre outros, e estão integradas verticalmente umas sobre as outras, possibilitando a obtenção de informação mais precisa.

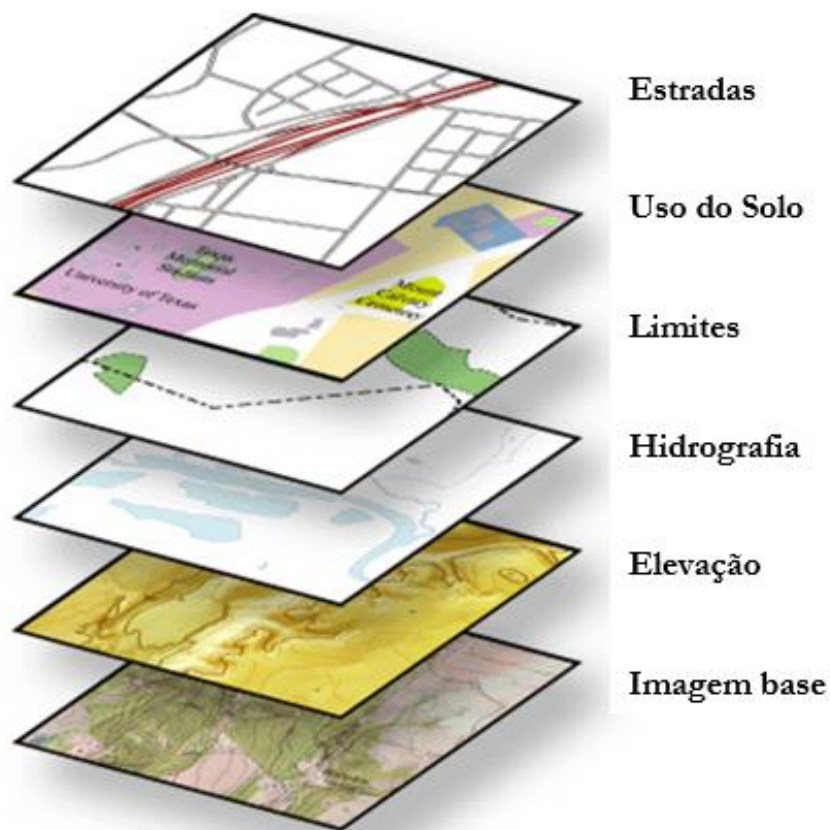


Figura 3 – Representação das camadas em SIG (adaptado de ESRI, 2018).

A acessibilidade a empregos, escolas, serviços e outros destinos de interesse à população, é reconhecido como uma das premissas ao desenvolvimento sustentável dos transportes. A relação entre os SIG e os transportes, apesar de ser relativamente recente, tem sido avaliada desde os primórdios do seu desenvolvimento, até porque alguns dos pioneiros desta tecnologia eram investigadores na área dos transportes nas Universidades norte-americanas de Washington e Northwestern. As primeiras técnicas de SIG-T (Sistemas de Informação Geográfica dos Transportes) serviram de suporte a estudos de transportes em Chicago (Goodchild, 2000 *apud* Catalão, 2015).

O acrónimo SIG-T é muitas vezes usado para se referir à aplicação e adoção dos SIG na pesquisa, planeamento e gestão dos transportes (Thill, 2002 *apud* Catalão, 2015).

Vonderohe *et al.* (1993) *apud* Catalão (2015), argumenta que os SIG-T é o cruzamento entre os Sistemas de Informação de Transportes (TIS) e os Sistemas de Informação Geográfica (SIG), dando origem a aplicações direcionadas para a análise de transportes e redes, como se representa na Figura 4, sendo utilizadas para a gestão e estudo de redes de transporte público, bem como para facilitar a comunicação com os utilizadores (Catalão, 2015).

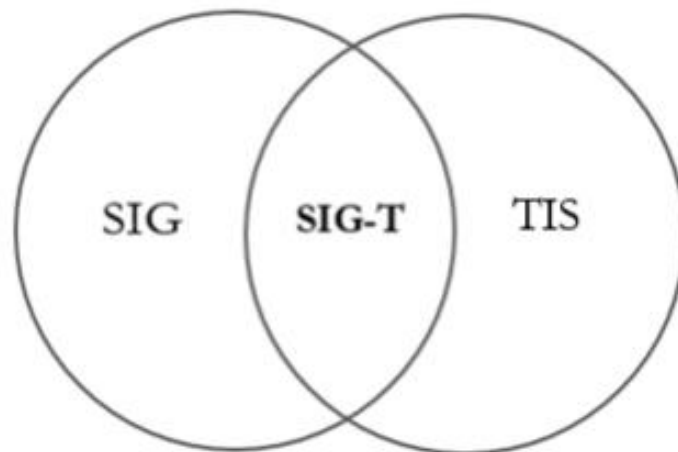


Figura 4- A origem dos SIG-T: cruzamento entre os SIG e os TIS (adaptado de Vonderohe *et al.*, 1993).

Os SIG-T foram difundidos inicialmente nos Estados Unidos da América com a publicação de legislação para os vários modos de transportes nos anos 90 do século XX. Todos esses documentos continham afirmações quanto à interdependência do sistema de transportes e outros fatores naturais, sociais e económicos, levando a que surgissem diversos estudos ligados ao setor de transportes que avaliam as redes nas mais variadas perspetivas.

Silva (2006) designa que “há uma série de capacidades dos SIG que são de grande utilidade em estudos e gestão de sistemas de transporte, tais como visualização de informação geográfica (e possibilidade de alterar a simbologia dos diversos temas), a edição de informação (adição de uma nova via, por exemplo), as funções de *buffering*, geocodificação e sobreposição de temas (*overlay*)”.

Miller (1999), citado em Catalão (2015), refere que os problemas dos transportes do próximo milénio seriam completamente diferentes dos do século anterior e que levariam ao paradigma da maximização da eficiência da globalidade do sistema de transportes multimodal.

Rodrigue *et al.* (2009) dividem as componentes de qualquer estudo SIG em quatro fases: codificação (representação dos dados no espaço), tratamento da base de dados (espacial, temática e temporal), análise (operações tabulares e espaciais) e resultados (visualização cartográfica dos dados). A fase da codificação passa pela abstração da realidade e a passagem para o formato digital, como por exemplo da rede viária, com a vectorização dos eixos viários e todas as suas interseções, e à associação destes dados espaciais com informação alfanumérica (nome da rua, sentido, velocidade, restrições e velocidade, entre outros). A fase do tratamento da base de dados passa por organizar a estrutura dos dados segundo uma lógica espacial, temática e temporal. Quanto à análise, engloba as ferramentas e

metodologias disponíveis para a temática dos transportes, como por exemplo a criação de *queries* tabulares ou espaciais, permitindo dar respostas na fase da apresentação dos resultados (Catalão, 2015).

A representação dos dados referentes aos transportes pode ser apresentada em formato vetorial ou matricial.

Nos dados vetoriais representa-se a localização das paragens com a geometria ponto; a rede viária, a rede pedonal ou o próprio trajeto do modo de transporte, são representados pela geometria linha; enquanto a área de estudo é representada por um polígono (concelhos da Região de Coimbra).

Aos dados tidos em conta, é possível a associação de diversos atributos, dependendo dos objetivos a alcançar. Por exemplo, na representação das paragens de autocarro, podemos associar a cada ponto, o nome da paragem, o tipo de paragem e as carreiras que as servem, entre outros. O mesmo acontece nas representações com linhas e polígonos.

A escolha do formato para a representação dos resultados depende sempre do tipo de dados que se quer representar. Por exemplo, as análises de redes associadas à Teoria de Grafos são um conjunto de linhas e nós que devem ser representados sobre o formato vetorial (linhas e pontos, neste caso).

Fletcher (2000) *apud* Silva (2006) afirma que a aplicação dos SIG aos transportes tem particularidades que o distinguem perante outros domínios de aplicação dos SIG, sobretudo pela importância dada aos sistemas de transportes e às análises de redes, e pela utilização, por parte dos SIG-T, de metodologias, modelos de dados e análises próprias. As análises que obrigam à existência de “metodologias e procedimentos de modelação particulares, assim como à utilização de tecnologias e ao desenvolvimento de algoritmos específicos, que não se encontram num convencional *software* de SIG” é a “análise do caminho mais curto, análises de fluxos na rede e gestão de tráfego, análises de procura de transportes, áreas de influência de um determinado local (um equipamento público, por exemplo) pela infraestrutura de transportes, análises de acessibilidade multimodal, impacte dos sistemas de transportes, entre muitos outros” (Silva, 2006).

2.2. As potencialidades dos SIG na gestão dos transportes públicos (SIG-T)

Nas últimas décadas, a aplicação das tecnologias dos sistemas de informação, comunicação, controlo e eletrónica, permitiu que se concebesssem vias de comunicação, veículos e utilizadores “mais inteligentes”, caracterizando os Sistemas Inteligentes de Transporte (SIT’s).

Os SIT’s podem ser aplicados em áreas como a gestão de viagens/planeamento, o controlo e a informação sobre o tráfego e a otimização da frota, por exemplo (Figueiredo *et al.*, 2002).

A otimização do acesso à rede de transportes coletivos públicos, uma das aplicações dos SIT's, tem como objetivo fundamental a promoção do acesso ao transporte público, conforme as necessidades dos utentes, e o seu usufruto em detrimento do transporte individual.

A utilização frequente dos transportes públicos é possível através da adequação permanente da oferta dos serviços de transporte às necessidades dos utentes, sob os aspetos quantitativos e qualitativos, e da progressiva redução dos custos sociais e económicos do transporte (Lei de Bases do Sistema de Transportes Terrestres, 1990).

No Artigo 1.º do Decreto de Lei nº 52/2015 refere-se que o “Regime Jurídico do Serviço Público de Transporte de Passageiros (RJSPTP) estabelece o regime aplicável ao planeamento, organização, operação, atribuição, fiscalização, investimento, financiamento, divulgação e desenvolvimento do serviço público de transporte de passageiros, por modo rodoviário, fluvial, ferroviário e outros sistemas guiados, incluindo o regime das obrigações de serviço público e respetiva compensação”. Referindo no Artigo 13.º do mesmo Decreto de Lei que o “planeamento e a coordenação do serviço público de transporte de passageiros, por cada autoridade de transportes, devem: ser articulados com o serviço público de transportes de passageiros existente ou planeado na respetiva área geográfica; e pressupor a articulação e otimização da exploração, visando a eficiência e eficácia do serviço público de transporte de passageiros no seu conjunto, independentemente da sua finalidade, natureza ou tipo de exploração, considerando, designadamente o serviço público de transporte de passageiros regular; o serviço público de transporte de passageiros flexível; o transporte em táxi; os serviços de transporte escolar; e outras soluções de mobilidade”.

Nas plataformas, está presente a integração de vários modos de transportes e disponibiliza a indicação da viagem que se pretende realizar, a informação e localização dos transbordos a efetuar, obtendo, desta forma, informações operacionais do sistema de transportes.

É essencial que o transporte público seja planeado e operado de forma integrada, com a participação de todos os serviços de transportes, sendo reservado a cada um, o papel que melhor se adequa às suas características. Desta forma, ter-se-á uma rede de transporte público. É importante também disponibilizar aos utilizadores informações relativas a todos os meios, para que estes tenham um total entendimento sobre o sistema, tornando a sua utilização fácil e atrativa (Filho, 2002).

O objetivo de implementar mecanismos de integração intermodal que assegurem condições universais de acesso e de circulação, potencia a qualidade de vida dos cidadãos.

Atualmente, ao planear-se a integração dos serviços de transportes, tem-se dado cada vez maior ênfase à integração das informações, que consiste em disponibilizar aos utilizadores informações completas sobre toda a rede de transporte da cidade ou região, e não somente de um modo ou

operador, de forma que estes tenham uma fácil compreensão dos serviços que lhes são disponibilizados, estimulando assim a sua utilização (Filho, 2002).

Parafrazeando Ferraz e Torres (2001) *apud* Filho (2002), entre os meios de informação do transporte público para os utilizadores, possibilitando melhor entendimento do sistema, destacam-se as:

- Informações nos veículos, tanto na parte externa como interna;
- Informações nos pontos de paragem;
- Informações nas estações (terminais);
- Informações impressas em folhetos;
- Informações por telefone;
- Informações via internet;
- Informações pelos órgãos de comunicação.

Estas informações podem ser disponibilizadas por meio de placas, painéis digitais e terminais de computadores, entre outros. No que diz respeito aos principais tipos de informações, destacam-se os relativos a horários de operação, tarifas, locais de integração e a esquematização da rede de transporte com os seus diversos modos e carreiras (Filho, 2002).

2.2.1. As tecnologias e plataformas existentes de SIG-T

O acesso aos transportes públicos é condicionado pela oferta de serviços e frota e, fundamentalmente pela disponibilização de informação ao público.

Com a finalidade de facilitar o planeamento das viagens e de disponibilizar informação dinâmica (muitas vezes em tempo real) e estática (horários, por exemplo), foram criadas tecnologias (painéis informativos nas paragens e linha telefónica e/ou mensagens pelos serviços de transportes) para a prestação de informação e plataformas, como páginas Web e aplicações móveis.

A Tabela 1 resume os sistemas nacionais e internacionais analisados, que serão descritos e caracterizados pormenorizadamente.

Tabela 1- Tecnologias e plataformas nacionais e internacionais analisadas.

Sistema	Interfaces de Acesso				Tipo de Informação		Funcionalidades				Meios de Transporte do Simulador				Âmbito Geográfico
	Web	SMS	APP	IVR**	Dinâmica-tempo real	Estática	Simulador Viagem	Localização Transporte	Serviço Alerta	Previsão Tempo Real	Público	Privado	Pessoal	Pedestre	
OneBusAway	X	X	X	X	X		X	X	X	X	XXX			X	Puget Sound (Washington); Rogue Valley (Oregon); San Diego (California); Tampa Bay (Florida)
Google Maps	X		X		X		X			X	XXXX		X	X	Mundial (Regional)
VIAMICHELIN	X		X		X		X			X			X	X	Europa
TFL London	X					X	X			X	XXXXX	X	X	X	Londres
RATP Paris	X		X		X		X	X		X	XXX			X	Paris
Transporlis	X		X*		X		X	X		X	XXXXX			X	AMLisboa
MOVE-ME	X		X		X		X	X		X	XXX			X	AMPorto
SMTUC	X					X	X			X	X			X	Coimbra
MOOVIT	X		X			X	X			X	XXX			X	Mundial (Cidades)

*BREVEMENTE

X- Autocarro

XXXX - Autocarro, Comboio, Metro e Elétrico

XX – Autocarro, Comboio

XXXXX- Autocarro, Comboio, Metro, Elétrico e Barco

XXX – Autocarro, Comboio, Metro

A Unidade de Resposta Audível (IVR), como se verifica no OneBusAway, é o atendimento por um *call center* que fornece serviços automáticos para os utilizadores que os contactam para esclarecer dúvidas. Fornecem informação sem a intervenção de uma pessoa. O áudio está pré-gravado ou dinamicamente gerado de forma a orientar os utilizadores.

O Google Maps, a VIAMICHELIN e a MOOVIT são três plataformas com informação a nível nacional e internacional. O Google Maps, tem como interfaces de acesso a página Web e aplicação móvel com informação dinâmica (tempo real). As funcionalidades caracterizadoras desta plataforma são a simulação de viagens e a previsão em tempo real para os autocarros, comboio, metro e elétrico, desde que os operadores forneçam os ficheiros GTFS (*General Transit Feed Specification*) com as informações das rotas prestadas por eles ou que esses ficheiros GTFS sejam criados por empresas ligadas aos transportes ou particulares. Temos também informação ao nível do transporte pessoal e pedestre. Em algumas cidades, na simulação de viagens no Google Maps, já são apresentadas também as tarifas associadas à viagem nos transportes públicos privados (Uber). O Google Maps também permite planejar viagens de forma adequada e correspondendo às necessidades dos utilizadores. É possível selecionar as preferências para o cálculo da rota, como é exemplo, o modo de transporte que se pretende utilizar e impedâncias, como o melhor trajeto, menos transbordos, menos trajetos a pé e a acessibilidade a cadeira de rodas.

O simulador de viagem do Google Maps, desenvolvido pela Google, permite obter um plano de viagem ótimo considerando os dados submetidos em ficheiros GTFS. Dependendo da região de viagem, poderá existir mais do que um modo de transporte. Desta forma, caso reduza o tempo total de viagem, os planos de viagem podem estar sujeitos a transições entre diferentes tipos de transportes conjugados com distâncias que devem ser percorridas a pé (Levita, 2012).

Como foi mencionado, do ponto de vista da empresa, para representar a informação de um determinado meio de transporte, é necessário submeter um conjunto de ficheiros que definem a informação crítica do negócio, isto é, paragens, rotas, horários, calendários, tarifas e nome da agência administrativa, entre outros. Cada ficheiro deverá respeitar a estrutura do GTFS (esta questão será desenvolvida na secção 4.2.4.3.) para ser aceite e incorporado no sistema. Desta forma, a Google Maps está ao alcance de todos os países e zonas com transportes públicos, bastando para isso a submissão dos ficheiros GTFS que representam o funcionamento de cada agência e incorpora vários meios de transporte para a determinação dos planos e viagem (Levita, 2012).

Relativamente à VIAMICHELIN, também possui uma interface de página Web e de aplicação móvel com informação dinâmica em que simula viagens com previsão em tempo real e simulação das despesas associadas à viagem em portagens e combustível. Tem informação apenas para a modalidade de transporte pessoal e pedestre.

A MOOVIT está presente em cidades a nível nacional (Bragança, Coimbra, Funchal, Leiria, Lisboa, Porto, Braga e Vila Real) e internacional. Esta plataforma disponibiliza informação estática na página Web e por aplicação móvel, simulando viagens para autocarro, comboio e metro.

De seguida, caracterizar-se-ão outras plataformas, distinguindo-as entre plataformas que operam a nível nacional apenas e a nível internacional.

2.2.1.1. A nível nacional

Nestas tecnologias, em geral, está presente a integração de vários modos de transportes e ao disponibilizar o planeamento/indicações da viagem que pretendemos realizar, a informação dos transbordos a efetuar, é fornecida por estas plataformas, obtendo, desta forma, informações operacionais do sistema. As informações podem ser disponibilizadas por meio de placas, painéis digitais e terminais de computadores, entre outros (Filho, 2002).

No que diz respeito aos principais tipos de informações, destacam-se os relativos a horários de operação, tarifas, locais de integração e a esquematização da rede de transporte com os seus diversos modos e carreiras (Filho, 2002).

Na área metropolitana de Lisboa existe um sistema de informação multimodal em que o utilizador pode aceder a um conjunto de informação referente a um ou vários operadores e modos de transporte (Transporlis - Figura 5). A Transporlis disponibiliza a informação em página Web e, atualmente, está em fase de testes da aplicação móvel (que pode ser descarregada de forma ao utilizador testar e reportar os erros encontrados). Disponibiliza informação dinâmica em que se simula viagens, visualiza-se a localização (em tempo real) dos transportes com previsão em tempo real da chegada, perante congestionamento e incidentes. A Transporlis tem como extensão geográfica a Área Metropolitana de Lisboa e contempla informação dos autocarros, comboio, metro, elétrico e barco. Nesta plataforma há a descrição das rotas resultantes da pesquisa realizada e disponibilização de informações como a distância, o tempo, o modo de transporte e respetiva rota, e a tarifa associada.

transporlis.pt
 Um só caminho, o seu!

RESULTADO DA PESQUISA

Origem: Centro Comercial Campo Pequeno Praça De Touros Do Campo Pequeno(Lisboa)

Destino: Rua Rufino Soares Dos Santos,2010 (Vale De Flores De Cima)

Hora de partida: 10:30 **Hora de chegada:** 11:39

Transbordos: 1 **CO₂:** 779g

Duração: 1h0m **Preço:** 5,60 € **Distância:** 14951 m

Percurso:

- Etapa 1:** Hora de partida: 10:30
 Centro Comercial Campo Pequeno Praça De Touros Do Campo Pequeno(Lisboa)
 Andar 210m
- Etapa 2:** Hora de partida: 10:39
 Tempo de espera: 05min
 Ir até paragem Lisboa (Campo Pequeno) 40 João XXI (Pr. Touros), apertar a camera 160 - LISBOA (Praça do Anjo) - ALMADA (vã Alameda (TST)) - 3,30 € Sair na paragem Praça (Portagem)
- Etapa 3:** Hora de partida: 11:29
 Tempo de espera: 23min
 Apertar a camera 151 - LISBOA (Marquês de Pombal) - CHARMECA DE CAP (TST) - 2,30 € Sair na paragem Freg (Vale Mourões, 3)
- Etapa 4:** Hora de partida: 11:36
 Tempo de espera: 0

Figura 5- Planeamento de uma viagem na plataforma Transporlis (Transporlis, 2017).

A Plataforma MOVE-ME tem sido desenvolvida para a Área Metropolitana do Porto (AMP), de Lisboa (AML) e, recentemente, para Coimbra. A MOVE-ME.AMP (Porto) é atualmente a mais conceituada, uma vez que foi a primeira a ser desenvolvida (em 2012) e tem sido atualizada regularmente, enquanto a de Lisboa, não é atualizada desde 2017 pelos operadores de serviço de transportes.

A empresa OPT (Otimização e Planeamento de Transportes), - empresa que tem vindo a desenvolver estas plataformas - em 2012 afirmava que a “MOVE-ME.AMP é um protótipo de uma aplicação que permite o acesso móvel a um conjunto diversificado e completo de informação sobre os transportes públicos disponíveis na AMP; disponibiliza ao utilizador final, um vasto e detalhado conjunto de informação proveniente de diferentes operadores de transporte público e, permite planear rotas intermodais em tempo real e para diferentes meios de transporte”. Nesta plataforma, é possível a “pesquisa por próximas partidas e consultar os tempos de espera e os destinos associados às próximas viaturas a passar num determinado local, indicado pelo utilizador. Permite também a consulta através da indicação da sua localização no mapa ou definindo-a textualmente, identificando quais as paragens que se encontram mais próximas da sua posição e quais as próximas viagens e os respetivos destinos. Adicionalmente existe a opção de cálculo de rota, onde o utilizador pode calcular uma rota que interligue vários pontos por si definidos. Estes pontos podem ser paragens, pontos de interesse ou posições GPS seleccionadas. Os resultados desenvolvidos têm em consideração a posição real das viaturas o que permite dar a informação do melhor percurso num dado momento. O sistema informa a hora de passagem em cada uma das paragens, bem como os locais de transbordo e percurso a pé, entre eles”.

A MOVE-ME.AMP disponibiliza informação dinâmica via página Web e aplicação móvel. Desta forma, permite simular viagens e operar a nível dos autocarros, comboio, metro e percursos pedestre na AMP.

Como foi mencionado, a plataforma MOVE-ME foi lançada em dezembro de 2017, para a cidade de Coimbra (Coimbra.MOVE-ME), contendo informação a nível do cálculo de rotas e disponibilizando informação sobre a rede de transportes, como horários, paragens e destinos, sendo da responsabilidade exclusiva dos operadores e não estando atualizada desde março de 2018. Contudo, esta plataforma é apenas para a cidade de Coimbra, não contendo informação para a sua Região, que é uma premissa do trabalho desenvolvido (Figura 6).

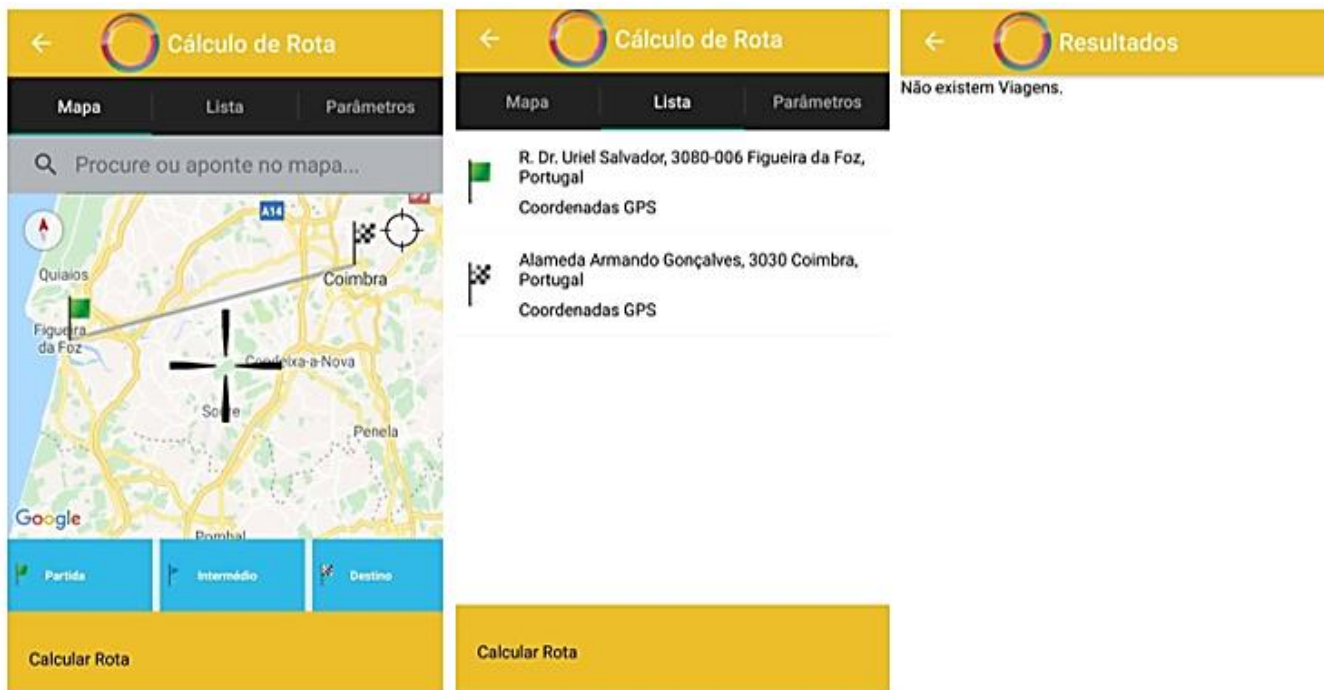


Figura 6- Plataforma Coimbra.MOVE-ME e a ausência de informação para a Região de Coimbra.

Os SMTUC, antes do aparecimento do Coimbra.MOVE-ME, também continham uma plataforma em página Web (denominada de Rumos) que permitia simular viagens do operador SMTUC. Contudo, foi sempre uma plataforma instável e de utilização pouco intuitiva.

De referir que existem outras plataformas a nível nacional, como é exemplo dos STCP (Sociedade de Transportes Colectivos do Porto) - Itinerarium; dos TCB (Transportes Colectivos do Barreiro) - a TCB; entre outras, com as mesmas características das que foram mencionadas anteriormente.

2.2.1.2. A nível internacional

A nível internacional temos plataformas que se diferenciam das nacionais devido às suas particularidades como por exemplo, o sistema IVR e o serviço de notificações com alertas para condicionamentos da viagem do utilizador (congestionamentos, acidentes e subtração de rotas, entre outros).

O OneBusAway utiliza as novas tecnologias disponíveis, implementando um sistema intermodal de informação aos utilizadores, denominado de IVR. Neste sistema, através de um número de telefone público, os utilizadores têm acesso aos horários de todos os modos de transporte público, bem como sugestão da melhor maneira de chegar ao seu destino (Filho, 2002). Este sistema, presente em diversas cidades dos Estados Unidos, permite o acesso a informações em tempo real e ao

planeamento de viagens, aumentando consideravelmente a usabilidade do sistema de transportes públicos. Permite, também, gerir melhor o tempo dos utilizadores e ir ao encontro das suas necessidades. Esta aplicação móvel é uma mais-valia para os utilizadores e vai ao encontro das suas necessidades, reduzindo o tempo de espera pelo transporte, bem como o tempo de planeamento de viagens e transbordos (Levita, 2012). Este sistema disponibiliza informação dinâmica na página Web, por mensagem (*sms*), IVR e aplicação móvel em que é possível simular viagens, visualizar a localização dos transportes, alertar através de notificações informações importantes e de última hora, para autocarro, comboio e metro.

A plataforma TFL (Londres) disponibiliza informação estática em página Web. É possível simular viagens e prever a chegada do transporte para um grande leque de modos de transportes, como autocarro, comboio, metro e barco. Apesar de a informação ser estática, é a plataforma que contempla mais modos de transportes e disponibiliza informação sobre o transporte privado (táxis), pessoal e pedestre.

Por último, a plataforma RATP (Paris) disponibiliza informação dinâmica em página Web e aplicação móvel, sendo possível simular viagens, prever em tempo real e visualizar a localização do autocarro, comboio ou metro (Figura 7). A plataforma é bastante intuitiva e é uma grande ferramenta para a promoção da utilização dos transportes públicos, em detrimento do transporte pessoal.

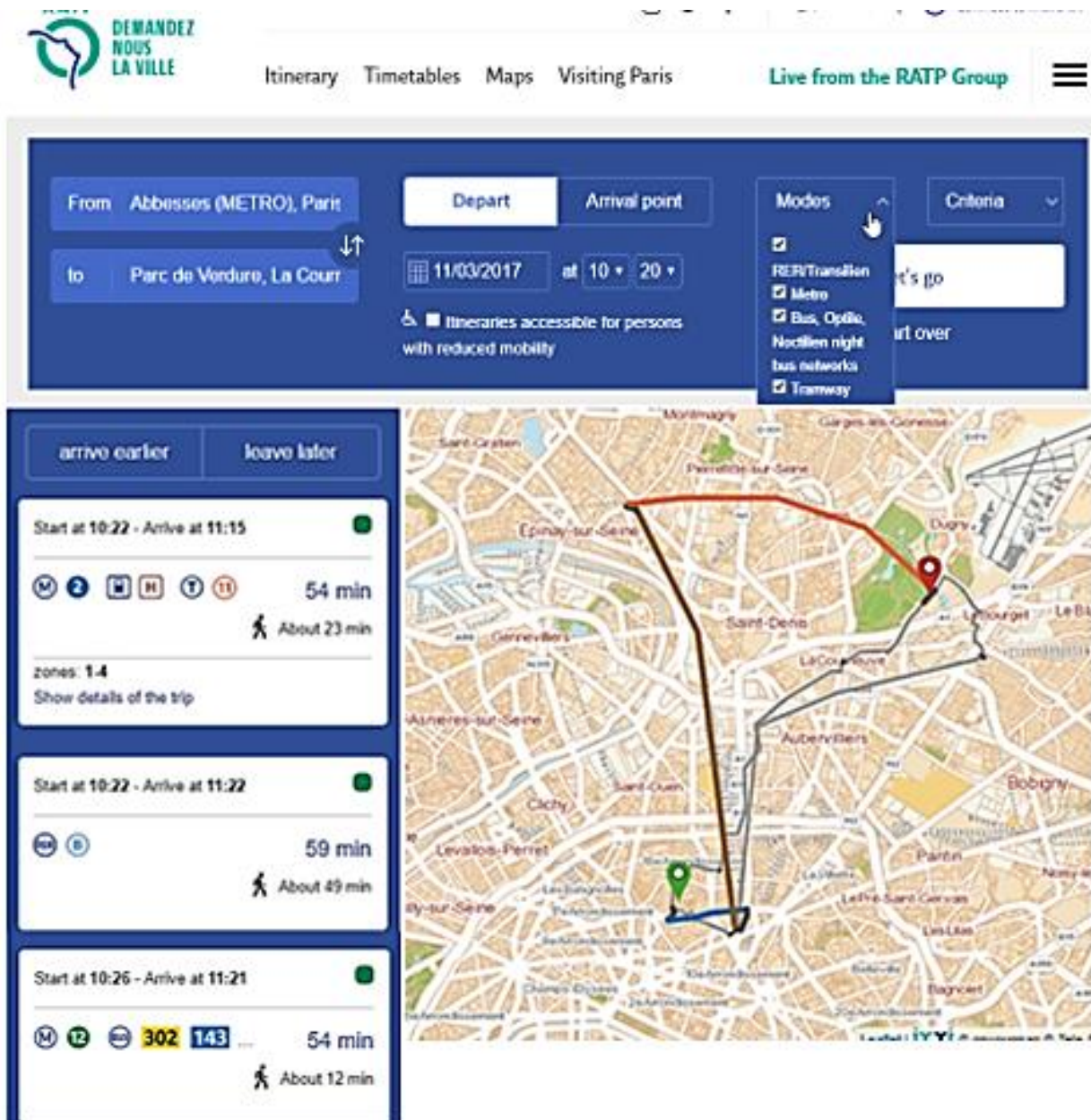


Figura 7- Interface da plataforma RATP (Régie Autonome des Transports Parisiens, 2017).

Existem plataformas para outras cidades como Varsóvia, Berlim, com as características idênticas à RATP.

2.2.2. O Projeto Simplificar Coimbra e Sua Região e as tecnologias existentes

Simplificar Coimbra e Sua Região (SCR), é um projeto piloto que permite a simulação de viagens que vão ao encontro das necessidades do utilizador e das suas preferências, e surgiu da necessidade de integrar numa só plataforma, todos os modos de transporte da Região de Coimbra, promovendo a acessibilidade intermunicipal por meio de transporte público.

Nesta plataforma, o utilizador depois de selecionar a origem e o destino da sua viagem, poderá escolher se pretende uma rota com menor distância máxima a percorrer, menor tempo de viagem, menor distância a percorrer a pé ou uma rota mais económica. Após a seleção da impedância a considerar, o sistema devolve-lhe uma rota que vai ao encontro das necessidades do utilizador, descrevendo pormenorizadamente a rota, desde o ponto de origem ao ponto de destino, e contendo informação sobre a distância total, a distância a percorrer a pé, o tempo da viagem, o custo, o número de transbordos e a sua localização, e o tempo de espera pelo transporte.

Das plataformas existentes a nível nacional e internacional, destacam-se o Google Maps, a Transporlis e a OneBusAway.

O Google Maps evidencia-se pela visualização da informação numa interface intuitiva e de fácil acesso, contendo informações detalhadas sobre as rotas que simula, incluindo vários modos de transporte. O utilizador, para simular as viagens, pode selecionar as suas preferências, sendo elas o modo de transporte em que se prefere deslocar, o melhor trajeto, o menor número de transbordos, menor distância a percorrer a pé e a acessibilidade a cadeira de rodas.

A Transporlis evidencia-se sobretudo, pela possibilidade de visualizar em tempo real a localização dos transportes públicos e prever a chegada à paragem mais próxima de onde o utilizador se encontra. Esta plataforma é das poucas a nível nacional que não foi implementada apenas para a cidade em questão (Lisboa), mas sim para toda a sua área metropolitana, como é o caso da plataforma SCR, que é para toda a região de Coimbra.

A nível internacional, a OneBusAway revela-se uma plataforma muito completa na medida que contém o sistema IVR para a prestação de informação ao público e o serviço de notificações e alertas, via *sms*, de condicionamentos da viagem do utilizador.

As referidas plataformas serviram de suporte para a definição das características da plataforma Simplificar Coimbra e Sua Região contudo, as plataformas têm quatro particularidades que não foram integradas, mas que num futuro poderão vir a ser, sendo elas, a seleção das preferências da viagem pelo menor número de transbordos, a visualização em tempo real dos transportes com previsão da sua chegada, a seleção da origem da viagem pela localização atual do utilizador e o serviço de notificação e alertas sobre a viagem do utilizador.

2.3. A Teoria de Grafos e algoritmos de otimização

2.3.1. Introdução

Segundo McDonnell and Kemp (1995), a topologia é o estudo das propriedades topológicas de figuras geométricas que são invariantes perante a deformação contínua. Em SIG, as relações topológicas, como a conectividade, adjacência e posição relativa, são geralmente expressas como relações entre nós, arcos (linhas) e polígonos.

Chang (2010) define a topologia como o estudo das propriedades dos objetos geométricos que permanecem invariáveis perante transformações (por exemplo, dobrar ou esticar), embora a sua forma possa ser alterada.

As propriedades topológicas são as propriedades que definem os relacionamentos relativos entre elementos espaciais numa base de dados. Estes incluem as adjacências, conectividades, incidências e interseções, mas não incluem ângulos e distâncias. Assim, a localização relativa aos fenómenos geográficos é independente da sua posição exata. Por exemplo, os mapas representativos das redes de transporte dos comboios geralmente mostram uma localização relativa em prejuízo da real (McDonnell and Kemp, 1995).

Deste modo, a topologia é explicada perante a Teoria de Grafos, uma vez que se refere à relação e ligação entre os objetos no espaço.

2.3.2. Teoria de Grafos

2.3.2.1. Generalidades

Hagget e Chorley (1969) *apud* Silva (2006) consideram que a representação e análise de redes de transportes baseiam-se em alguns princípios da Teoria de Grafos. Os grafos são conjuntos de pontos que estão conectados, de forma direta ou não, com outros pontos por intermédio de linhas.

Parafraseando Magalhães (2011) *apud* Matos (2008), um grafo é constituído por vértices (nós) e arestas (arcos), sendo que cada aresta irá ligar um par de vértices.

Rodrigue *et al.* (2004) *apud* Silva (2006) simplificam a representação de uma rede, declarando que essa representação implica uma abstração a partir de um conjunto de pontos (vértices), interconectados por linhas (arcos).

Os vértices são pontos iniciais ou finais, ou interseções de linhas (como por exemplo, paragens, cruzamento de vias ou terminal de transportes), enquanto as linhas representam ligações entre os vértices (por exemplo, rede viária, rede de transporte).

A principal preocupação na representação de uma rede num grafo é a consistência topológica (todos os vértices têm que estar ligados pelo menos a uma linha), como iremos desenvolver no decorrer desta exposição escrita.

Na Figura 8, a exemplificação de um grafo é realizada de forma intuitiva por uma representação esquemática de uma rede de autocarros em que as estações são apresentadas por pontos (nós) e ligadas por segmentos de reta (arcos) (Matos, 2008).

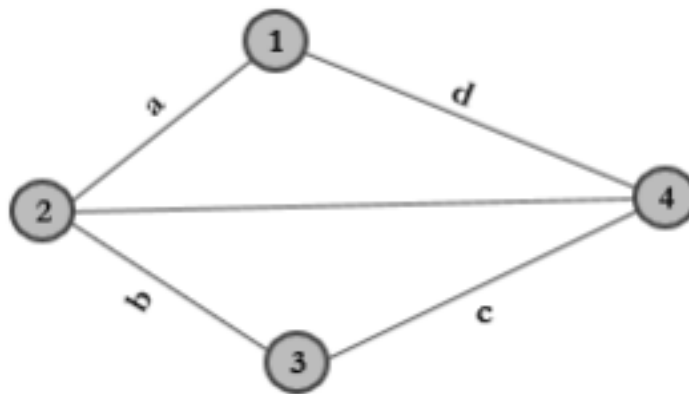


Figura 8- Representação de um grafo (adaptado de Matos, 2008).

Nesta figura, os vértices 1, 2, 3 e 4 são ligados pelos segmentos a, b, c e d, formando um grafo.

Num grafo, que pode ser considerado uma rede após ser trabalhado, os vértices e os arcos podem ter valores associados, os atributos. Na Figura 9 os vértices têm valores associados (A, B, C e D), reconhecendo os vértices uns dos outros. A cada arco da rede está associado um determinado número. Este poderá dizer respeito a diversas características de um elemento espacial, tais como distância, custos e velocidade, entre outros.

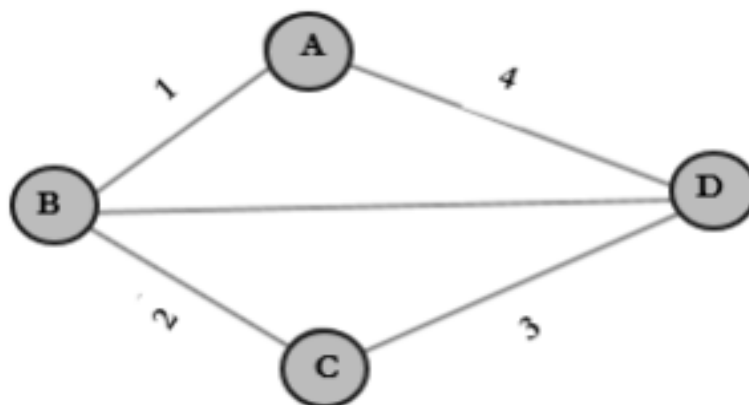


Figura 9- Grafo com valores associados aos vértices – Rede (adaptado de Matos, 2008).

A conectividade descreve a ligação entre pontos ou polígonos entre si. Existem algumas ferramentas em SIG que permitem determinar quais as entidades espaciais que estão conectadas entre si.

McDonnell and Kemp (1995) descrevem o nó como sendo um ponto de interseção onde dois ou mais arcos se encontram e os arcos como sendo uma linha constituída por uma sequência ordenada de pontos. Dois ou mais arcos são unidos por um nó.

Se um arco unir dois nós, os nós serão considerados adjacentes e incidentes com o arco (Chang, 2010).

A acessibilidade de uma rede permite avaliar a facilidade de acesso de um lugar a outro, podendo aquela ser medida recorrendo à distância, tempo ou custo. Por outro lado, a impedância mede a resistência, dificuldade ou custo associado a um determinado percurso (Gaspar, 2008).

Uma rede é representada por um grafo G , em que:

$$G = (V, E)$$

Onde:

$V = (v1, v2, v3, \dots, xv)$ representa o conjunto de vértices;

$E = (e1, e2, e3, \dots, xe)$ representa o conjunto de arestas.

A primeira referência que se relaciona com a Teoria de Grafos é o problema das Sete Pontes de Königsberg. Neste problema, pretendia-se saber se havia um caminho fechado que atravessasse, exatamente uma vez, as sete pontes sobre o rio Pregel em Königsberg, que dividia a cidade em quatro partes (Figura 10).



Figura 10- Visualização de Königsberg e as sete pontes sobre o rio Pregel (Gomes *et al.*, 2009).

A preocupação do matemático suíço Leonhard Euler era a resolução de um caminho fechado entre as sete pontes de Königsberg, ou seja, pretendia realizar um percurso em que passasse uma única vez em cada ponte (Figura 11). Em 1736, Euler resolveu o problema, encontrando as condições para a existência de um percurso fechado e, desta forma, introduziu a Teoria de Grafos.

Euler, para a resolução do problema, transformou os caminhos em linhas e as suas interseções em pontos, criando o primeiro grafo que se tem conhecimento.

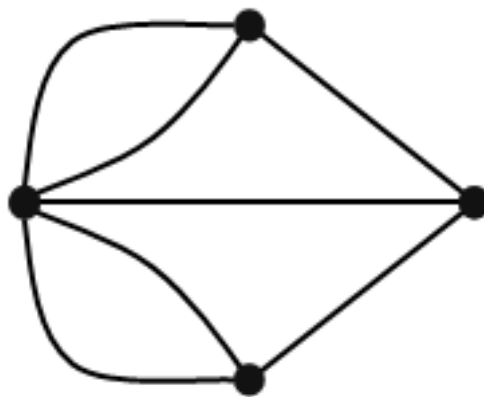


Figura 11- Grafismo proposto por Euler, 1736 (Gomes *et al.*, 2009).

Na Teoria de Grafos, são aplicados algoritmos para a resolução de problemas, como é exemplo, encontrar o caminho mais curto, o caminho mais rápido e/ou o caminho com menor custo. O custo depende do objetivo e pode ser calculado perante o comprimento, a velocidade, o tempo e o preço, entre outros atributos, de forma a determinar um percurso onde o custo associado é mínimo.

2.3.3. Problema do Caixeiro-Viajante

Parafrazeando Matai *et al.* (2010) *apud* Campos (2014), o Problema do Caixeiro-Viajante consiste na procura de um único circuito que será percorrido por um dado veículo, que se desloca a cada nó apenas uma vez e cujo custo associado é mínimo. Isto é, o Caixeiro começa numa cidade à escolha, entre várias, e visita cada cidade precisamente uma vez, regressando à cidade inicial. As cidades são os vértices e as estradas definem as arestas (Figura 12).

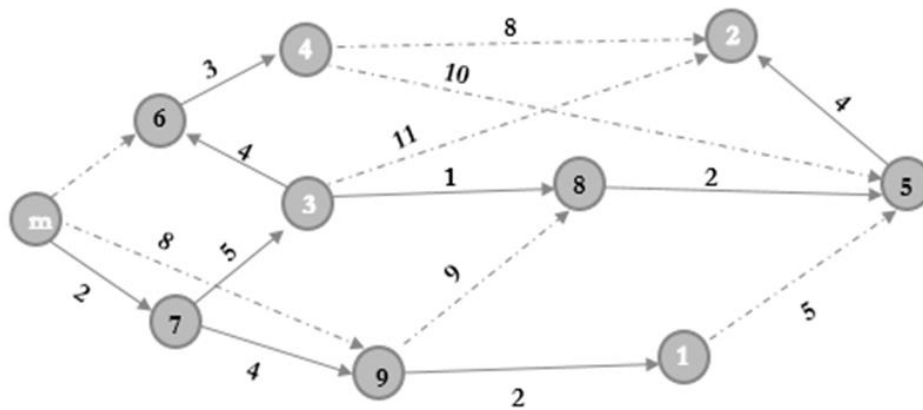


Figura 12- Representação do Problema do Caixeiro-Viajante (adaptado de Rocha and Soares, 2006).

Dado um conjunto de cidades e conhecidas as distâncias entre cada uma delas, pretende-se determinar o circuito de menor comprimento que passa por todas as cidades, exatamente uma vez e que termina na cidade de onde partiu (Rocha and Soares, 2006). A estrutura matemática do Problema do Caixeiro-Viajante é um grafo, em que cada cidade é um nó e as linhas que unem todos os nós, são denominadas por arcos. Associada a cada linha está uma distância ou custo. Citando Rocha and Soares (2006), uma viagem que passa por todas as cidades uma única vez, corresponde a qualquer subconjunto de linhas do grafo e é designado por circuito Hamiltoniano na Teoria de Grafos. O comprimento de um circuito é a soma do comprimento das linhas que fazem parte da viagem. No caso do Problema do Caixeiro-Viajante assimétrico, as distâncias entre duas cidades podem ser diferentes, consoante os trajetos são percorridos num ou outro sentido. Este problema pode ter aplicação para a determinação de percursos ótimos em transporte de pessoas ou mercadorias, ou seja, para otimização de redes topológicas.

2.3.4. Problema do Carteiro-Chinês

O Problema do Carteiro-Chinês é uma variação do problema do caixeiro-viajante e pretende encontrar um caminho fechado (com início e fim no mesmo vértice) que atravesse cada arco, pelo menos uma vez.

Segundo Gomes *et al.* (2009), este problema foi resolvido em 1962. Um matemático da Universidade Normal de Shangtun, Kwan Mmei-Ko, após exercer a atividade de carteiro, preocupou-se com uma situação semelhante à de Euler, porém adequada ao percurso dos carteiros que exerciam a atividade nas ruas da sua cidade. Neste caso, Kwan mostrou-se interessado em definir o melhor percurso e a forma mais económica de o fazer, com a menor distância possível.

Kwan definiu o problema da seguinte forma: Um carteiro tem que cobrir o seu local de trabalho, antes de regressar ao posto. Assim, o objetivo é encontrar a menor distância de percurso para o carteiro, passando por todas as ruas. (Gribkovskaia *et al.*, 2007 *apud* Gomes *et al.*, 2009).

2.3.5. Algoritmos para a otimização de redes topológicas

Barreira (2016) caracteriza a área da otimização de rotas como sendo complexa e com a necessidade de recorrer a modelação matemática e à tecnologia, de modo a simplificar o problema. Qualquer simulador de viagem necessita de um algoritmo para calcular quais as possíveis rotas que satisfaçam os requisitos do pedido do utilizador. Para além dos algoritmos típicos de caminho mais curto, existe a necessidade de introduzir outros fatores que devem influenciar o cálculo da rota (Levita, 2012).

No sistema desenvolvido neste trabalho, fará sentido saber o custo total do percurso (€), o tempo necessário para executar o percurso, as transições a realizar entre transportes públicos no decorrer da viagem, a distância total da viagem e a distância a percorrer a pé.

De seguida apresentamos alguns dos algoritmos que se adequam à resolução deste problema.

2.3.5.1. Algoritmos de Métodos Exatos

Os métodos exatos são algoritmos exaustivos que verificam todas as soluções de determinado problema até encontrar a solução ótima e distingue-se pelo facto de encontrar a solução ideal para o problema apresentado. Porém, a modelação deste método é complexa e a aplicação a problemas mais complicados ou com muitos dados revela-se com dificuldades em encontrar a solução ótima num intervalo de tempo adequado, ou seja, o tempo de processamento para a sua resolução cresce exponencialmente (Roque and Junior, 2006 *apud* Barreira, 2016).

a) Branch and Bound

O algoritmo Branch and Bound tem três fases distintas, isto é, inicia-se com a construção de árvores de nós onde divide o problema em conjuntos menores ou subproblemas menores (Figura 13). Com isto, cria de seguida estratégias para escolher o próximo subproblema a tratar e realiza comparações com o seu limite superior e inferior (parâmetros que se estabelecem), onde uma solução tem que obedecer aos parâmetros que se estabeleceram para ser considerada viável (Barreira, 2016). O

algoritmo consiste na enumeração de todas as soluções possíveis e conseqüentemente, na eliminação das soluções inadequadas, estimando-se limites superiores e inferiores da quantidade a ser otimizada.

O processo de separação e avaliações sucessivas pode ser visualizado como uma árvore, onde a raiz (nó N^0) representa o problema p^0 e os demais nós N^j representam os problemas p^j gerados sucessivamente a partir de p^0 (Rust, 1983).

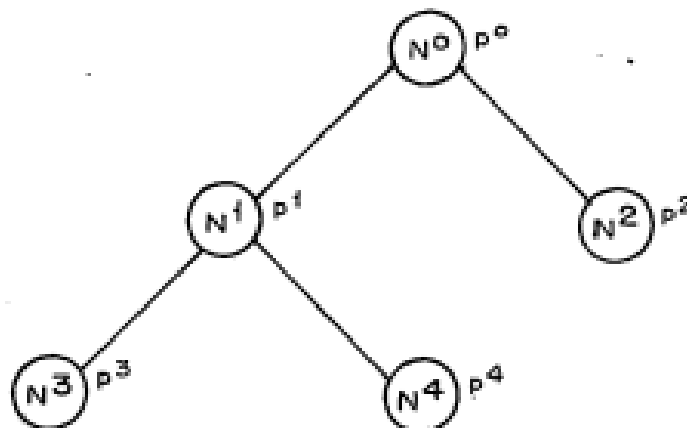


Figura 13- Representação da árvore de Branch and Bound (Rust, 1983).

A ramificação de um nó N^j é a geração de dois novos nós a partir de N^j , em função da separação do problema p^j (Rust, 1983).

Este algoritmo é utilizado para resolver vários problemas conhecidos, como é o caso do Problema do Caixeiro-Viajante.

b) Algoritmo de Dijkstra

O objetivo do algoritmo Dijkstra é o de encontrar o caminho mais curto entre dois vértices do mesmo grafo, sendo que calcula o custo mínimo de um vértice para todos os outros vértices do grafo.

Chao (2010) *in* Barreira (2016) refere que o “algoritmo parte de uma estimativa inicial para o custo mínimo e vai sucessivamente ajustando essa estimativa. À medida que vai percorrendo o grafo, ele vai considerar que um vértice está fechado quando for obtido o custo mínimo do vértice do caminho principal, caso não seja, ele considera-o aberto. Quando todos os vértices tiverem sido executados, a solução obtida será a de menor custo” (Figura 14).

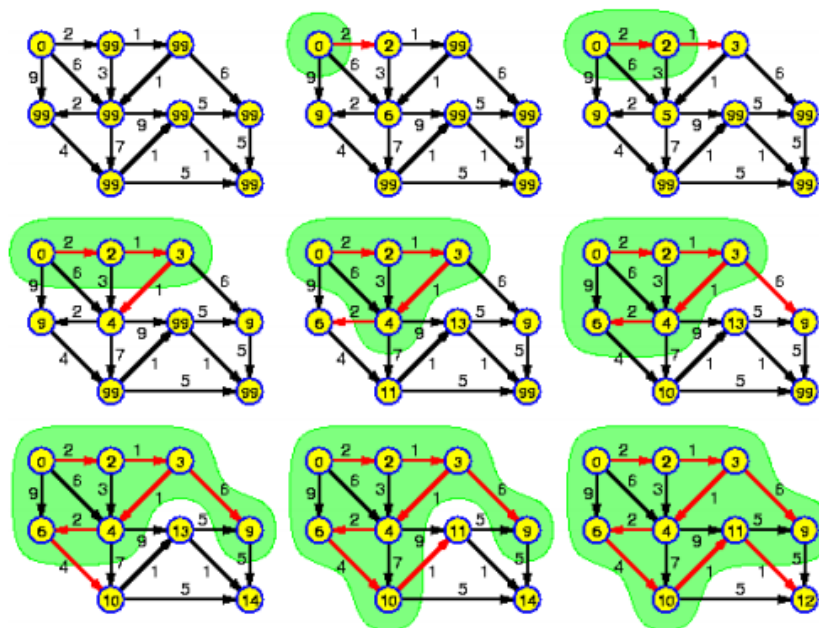


Figura 14- Algoritmo Dijkstra (Jasika *et al.*, 2012 *apud* Barreira, 2016)

2.3.5.2. Algoritmos Heurísticos

Os algoritmos heurísticos foram desenvolvidos de forma a evitar a demora na procura de uma solução ótima. Nisto, pretendia-se que fossem de fácil implementação e que produzissem soluções ótimas rapidamente.

Segundo Malaquias (2006) *in* Barreira (2016), num problema estipulado, o esperado seria analisar todas as soluções possíveis até chegar à ideal (métodos exatos) porém, as heurísticas exploram parcialmente a totalidade das soluções possíveis, adotando uma estratégia que se apoia numa abordagem intuitiva.

Desta forma, não garantem uma solução ótima ou uma solução próxima da ótima, mas encontram soluções adequadas num tempo razoável.

c) A-Star

A-Star é um algoritmo que surge de forma a aperfeiçoar o Dijkstra e de encontrar o caminho ideal de forma eficiente. Este algoritmo encontra um caminho desde um ponto inicial até um ponto final e como é um algoritmo heurístico, tem como principal característica a intuição.

Citando Ji *et al.* (2015) *apud* Barreira (2016), o algoritmo A-Star usa outras heurísticas para decidir qual o caminho que deve seguir e apresenta melhores desempenhos do que o algoritmo Dijkstra, em termos de tempo de execução.

Barreira (2016), recorrendo à Figura 15, explica as decisões feitas pelo algoritmo para alcançar o caminho ideal, da seguinte forma: “Os números 1’s são as paredes que terão que ser contornadas. Assim o A-Star começa por percorrer junto às paredes efetuando o percurso e quando se depara com um espaço mais aberto, em que tem várias hipóteses para continuar o caminho (parede ao meio da figura), ele vai adotar uma abordagem intuitiva, proveniente das heurísticas, tentando percorrer o menor caminho até alcançar a parede mais à direita”.

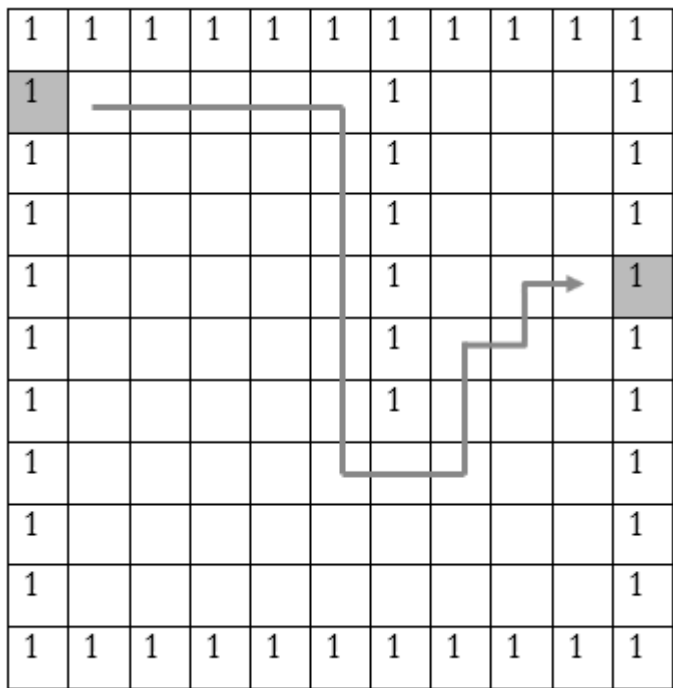


Figura 15- Exemplo do algoritmo A-Star (adaptado de Barreira, 2016).

O algoritmo de Dijkstra foi considerado na realização deste projeto, visto que é o algoritmo utilizado pela extensão Network Analyst, do ArcGIS, para o cálculo do caminho mais curto, como será explicado no decorrer desta exposição escrita.

3. Conceção e implementação de redes topológicas de transporte em SIG

3.1. Análise de redes de transporte

Uma rede pode definir-se como um conjunto de linhas interconectadas que permitem representar a circulação ou movimento de um transporte, pessoas, bens e comunicações, entre outros (Kemp, 2008), ou por um conjunto de elementos conectados entre si, onde é possível simular o movimento de acordo com determinadas condições pré definidas (Miller and Shaw, 2001).

Silva (2006) define a análise de redes como sendo operações de simulação do comportamento dos sistemas de transporte, através da representação da rede e dos fluxos que operam sobre a mesma.

A análise de redes é um dos principais pilares dos SIG, podendo ser dinâmicas, em que se atribuem pesos aos atributos da rede e se calculam as rotas ideais, dependendo das condições variáveis e dos objetivos a considerar. Define-se como o conjunto de operações de análise espacial realizada sobre redes geográficas. A otimização de percursos corresponde à determinação dos percursos mais curtos ou económicos entre os dois vértices e é uma operação típica da análise de redes.

A generalidade dos sistemas de informação geográfica opera com as três classes de objetos (pontos, linhas e polígonos), organizadas em estruturas ditas topológicas e constituem grafos (Matos, 2008). Os grafos têm uma grande importância na estruturação da informação e consequentemente na funcionalidade dos SIG.

Os conjuntos de dados de rede (Network Dataset) são adequados para modelar redes de transporte. Eles são criados a partir de dados de origem, que podem incluir dados simples (linhas e pontos) e viragens (Turns). A análise executada na extensão do ArcGIS, Network Analyst, é sempre realizada num Network Dataset (ESRI, Network Analyst, 2017).

Na rede construída ao longo deste trabalho, recorreu-se ao objeto “ponto”, de forma a representar as estações e paragens, e ao objeto “linha” para representar a rede pedonal e as diferentes redes de transportes (Figura 16).

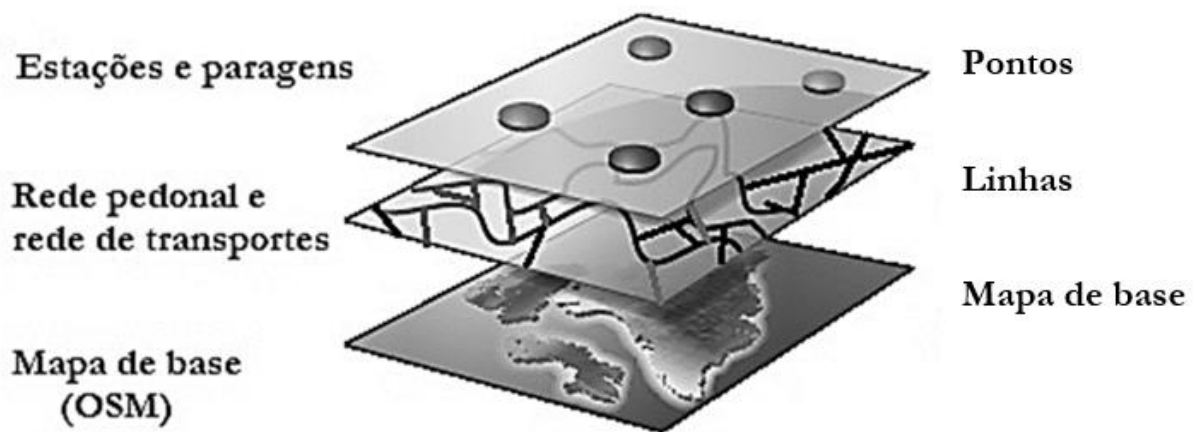


Figura 16- Representação da tipologia dados da rede construída (adaptado de ESRI, 2018).

Nas funções de análise de redes incluem-se a generalidade dos algoritmos desenvolvidos no âmbito da Teoria de Grafos, nomeadamente algoritmos de otimização de circuitos (Matos, 2008).

Os dados vetoriais podem ser ou não topológicos, dependendo se a topologia está presente neles. Como foi referido na secção 2.3, o termo topologia refere-se ao estudo das propriedades dos objetos geométricos que permanecem invariáveis perante transformações (por exemplo, dobrar ou esticar), embora a sua forma possa ser alterada, sendo explicado através da Teoria de Grafos, uma vez que se refere à ligação entre os objetos no espaço (Chang, 2010). Uma estrutura de dados topológica armazena explicitamente as relações topológicas num arquivo de dados.

Estas estruturas foram desenvolvidas para permitir uma forma matematicamente robusta de verificar a entrada de dados e aumentar a eficiência computacional de consultas complexas que envolvem adjacências ou interseções. A implementação mais comum de uma estrutura de dados topológica usa a relação arco- nó (Theobald, 2007).

O primeiro vértice é chamado de nó inicial e o último vértice de nó final. Os arcos estão ligados a outros arcos através dos nós. Como os vértices são ordenados (de forma a permitir que o computador saiba o nó inicial e o nó final), a direção de uma rede pode ser determinada (Theobald, 2007).

Fisher (2003) *apud* Silva (2006) confirma que o elemento base na realização de redes, é a conectividade da rede (topologia) que é possível realizar através da interconexão dos nós, entre si, por pelo menos uma ligação (arco), sendo que uma rede se considera conectada quando para todos os nós existir pelo menos um caminho (arco).

Segundo Filho (2002), as redes de transporte público têm algumas especificidades e conseqüentemente faz com que haja diferenças significativas entre a escolha de rotas em transporte público e entre as rotas do transporte individual. Primeiro, porque as redes de transporte público requerem a representação de ligações entre a origem e o destino e as respetivas paragens; em segundo,

porque é fundamental a representação do tempo de espera pelo serviço, enquanto no transporte individual não há tempo de espera associado; e, em terceiro, o uso do transporte público tem um custo associado à viagem que, por exemplo, no caso dos SMTUC, o valor é de 1,60€, independentemente da distância percorrida, enquanto no transporte individual, o custo é geralmente associado ao consumo de combustível.

A operação de acesso (Directions) do Network Analyst consiste basicamente no resultado da análise do grafo que modela a estrutura linear espacial, sendo os arcos associados a uma resistência que poderá ser simplesmente o comprimento ou uma qualquer outra indicação, como por exemplo, o tempo médio de percurso. Tal como nos algoritmos da Teoria de Grafos, um troço tem que ser percorrido por completo, não aceitando que seja percorrido apenas parte dele.

Dependendo do programa em que esta função é utilizada, poderá ser atribuída uma resistência a cada nó e também resistências diferentes consoante o sentido em que cada arco é percorrido. Definir um sentido único, corresponde a atribuir uma resistência a um dos sentidos.

A rede de transportes públicos é constituída por carreiras (sub-redes) que estabelecem ligações entre diferentes pontos, conforme a sua cobertura espacial (localização geográfica das paragens e interfaces, configuração da rede e respetivo itinerário) e temporal (frequência de passagem).

Parafraseando Costa (2008) *apud* Ferraz (2012), as carreiras são as ligações estabelecidas nos transportes públicos coletivos, obedecendo a itinerários, horários ou frequências mínimas e tarifas pré-fixadas.

As carreiras podem ser urbanas quando o serviço é efetuado dentro dos limites urbanos, e suburbanas, quando o serviço é exercido entre grandes centros populacionais e localidades periféricas, desde que o respetivo percurso se faça através de vias urbanas; e em interurbanas que são as restantes.

No caso de estudo presente, como serviço suburbano temos o rodoviário (SMTUC) e o ferroviário (Comboios de Portugal). Os Comboios de Portugal também prestam serviço interurbano e regional na nossa área de estudo. Como carreira interurbana temos o serviço Moisés que é rodoviário.

As paragens são um elemento fundamental da rede de transportes porque é a partir delas que os passageiros têm acesso ao sistema de transportes, tendo como finalidade a entrada e a saída de passageiros, dos meios de transporte.

O transbordo realizado pelos passageiros de um modo de transporte para outro ou simplesmente entre o mesmo meio de transporte, é realizado numa interface, quer nos casos entre regional e urbano quer entre urbano e urbano. Uma interface pode ser uma paragem/ abrigo ou um terminal, em que há transferência do modo pedonal para o transporte público.

Uma interface (ponto de chegada ou ponto de correspondência) é um ponto de uma rede de transportes (um nó, geralmente), onde o passageiro inicia ou termina o seu percurso, muda de transporte ou faz conexão entre diferentes linhas do mesmo modo (Costa, 2008).

Numa interface estão presentes várias linhas de transporte num espaço físico que permite a transferência dos passageiros. É, desta forma, um elemento fundamental no acesso aos transportes públicos por parte dos passageiros e devem garantir a ligação entre os diferentes transportes.

Com os horários é possível determinar o tempo de deslocação entre os locais de origem e de destino e de certa forma visualizar o percurso do modo de transporte.

Citando o Manual de Planeamento das Acessibilidades e da Gestão Viária (2008), a “informação é um elemento chave nos sistemas de transportes, não só pela influência que tem para a tomada de decisão acerca do modo a utilizar, mas também no apoio aos passageiros durante a viagem. Na realização de vários estudos, consta-se que a falta de informação é uma das causas para a fraca utilização dos transportes públicos. O sistema de informação ao utilizador deverá ser o mais credível possível, de forma a não criar expectativas exageradas que possam, caso fracassadas, produzir um impacto negativo que se recruta em viagens futuras”.

Desta forma, a informação recolhida no momento do planeamento da viagem deve permitir identificar as carreiras, os transbordos, os diversos serviços disponíveis para efetuar a ligação entre a origem e o destino pretendido, a localização das paragens mais próximas e dos eventuais locais de transbordo: os horários; a duração da viagem; mapas com representação clara dos vários percursos e diferentes tarifas disponíveis e locais de aquisição (Ferraz, 2012).

As tarifas é o custo associado à utilização de transportes públicos e constitui um dos indicadores com maior importância para o utilizador, valorizando a relação entre um bom serviço e o baixo custo.

Nas redes de transporte público, a impedância da utilização de uma rota é representada por uma função de custo generalizado, que é composta por atributos com os seus respetivos pesos. Parte destes atributos pode representar o tempo gasto na viagem, a tarifa praticada, assim como outras características do serviço (segurança e conforto, por exemplo).

Os atributos mais utilizados nas redes de transporte público, expressos em unidade de tempo, são (Filho, 2002):

- Tempo de acesso, que representa o tempo de caminhada da origem até à rede de transporte público;
- Tempo de espera, representando o tempo em que o utilizador fica a aguardar pelo veículo no ponto de paragem ou estação;

- Tempo dentro do veículo, que representa o tempo efetivamente em viagem;
- Tempo de transbordo, representando a penalidade relativa ao transbordo; e,
- Tempo de difusão, que representa o tempo de caminhada entre a rede de transporte e o destino final.

Desta forma, percebe-se a importância da implementação de atributos, na medida que permitem definir o custo total da utilização dos transportes públicos.

Quase todas as viagens incluem, de forma simples ou conjugada com outros modos de deslocamento, um trajeto a pé e, como tal, as condições da rede pedonal também determinam a funcionalidade do serviço de transportes coletivos. A melhoria da qualidade das deslocamentos pedonais, através do investimento na implementação, qualificação e reabilitação das infraestruturas, terá um impacto significativo na qualidade de vida das pessoas (Plano Estratégico de Mobilidade e Transportes, 2016).

Os principais tipos de análise de redes são a análise dos caminhos mínimos, análise de áreas de influência e localizações ótimas.

No presente trabalho, recorreremos apenas à análise dos caminhos mínimos em que se procura encontrar, numa rede, o caminho mais curto entre uma determinada origem e um determinado destino. Nesta análise, é possível escolher o tipo de impedância que se pretende ter em conta para calcular o custo de atravessamento de um arco (tempo e distância são os mais comuns). O sistema, desta forma, calculará o caminho mais curto, que será aquele a que corresponder um custo mais baixo de ligação entre os pontos pré-definidos, de acordo com o critério de impedância estabelecido.

3.2. Atributos da rede topológica

Uma rede é constituída por elementos de rede que são gerados a partir das entidades de origem e usados para criar um conjunto de dados.

Os atributos de rede são propriedades dos elementos de rede que controlam a capacidade de passagem na rede e são formulados quando se cria o conjunto de dados de rede (Network Dataset).

Exemplos de atributos incluem o tempo para percorrer uma determinada estrada, quais as ruas restritas para quais veículos, as velocidades ao longo de uma determinada estrada e quais as ruas que são unidirecionais (ESRI, Network Analyst, 2017).

Os atributos de rede, no Network Dataset, têm cinco propriedades básicas: nome, tipo de uso, unidades, tipo de dados e uso por padrão. Além disso, eles têm um conjunto de atribuições que definem os valores dos elementos (ESRI, Network Analyst, 2017):

- O tipo de uso, especifica como o atributo será usado durante a análise, que é identificado como custo, descritor, restrição ou hierarquia;
- Unidades de um atributo de custo são unidades de distância ou tempo (por exemplo, centímetros, metros, milhas, minutos e segundos). Descritores, hierarquias e restrições têm unidades desconhecidas;
- Os tipos de dados podem ser booleanos, inteiros, flutuantes ou duplos. Atributos de custo não podem ser um tipo de dados booleano. As restrições são sempre booleanas, enquanto uma hierarquia é sempre um inteiro;
- Usar por padrão, define automaticamente esses atributos numa camada de análise de rede recém-criada. Se um atributo de custo, restrição ou hierarquia estiver definido para ser usado por padrão, as camadas de análise de rede criadas no conjunto de dados de rede serão configuradas para usar automaticamente esse atributo. Somente um atributo de custo no conjunto de dados de rede pode ser definido para ser usado por padrão. Os atributos do descritor não podem ser usados por padrão.

A geometria das entidades de origem permite estabelecer conectividade entre os elementos. Além disso, os elementos de rede possuem atributos que controlam a navegação pela rede. Para se criar atributos de rede, primeiro define-se o nome do atributo e o seu uso, unidades e tipo de dados. Em seguida, atribuem-se avaliadores para cada origem que fornecerá os valores para o atributo de rede quando o conjunto de dados de rede for criado.

Existem três tipos de elementos de rede (ESRI, Network Analyst, 2017):

- Arcos (Edges) – São as linhas que servem de ligação a outros elementos (junções) e sobre os quais se realizam as viagens;
- Junções (Junctions) - Conectam os arcos e facilitam o percurso de um arco para outro;
- Voltas ou viragens (Turns) - Armazena informações que podem afetar o movimento entre dois ou mais arcos em termos de viragens “à esquerda” e/ ou “à direita”.

Os arcos e as junções formam a estrutura básica de qualquer rede. A conectividade numa rede lida com conexões de junções e junções entre si. As voltas são elementos opcionais que armazenam informações sobre um determinado movimento de viragem, por exemplo, uma curva à esquerda é restrita de um arco específico para outro.

Deve existir uma junção em cada extremidade de um arco num conjunto de dados da rede. Portanto, se o utilizador não criar uma entidade de origem de junção no final de um arco, será criada pelo sistema uma junção quando o conjunto de dados da rede for criado.

As junções do sistema são armazenadas como pontos numa classe de entidade de origem, que é gerada automaticamente durante a primeira operação de construção. A classe de entidade de origem é denominada “[nome da rede] _Junctions”, onde [nome da rede] representa o nome do conjunto de dados da rede (ESRI, Network Analyst, 2017).

Certos atributos são usados para medir e modelar impedâncias, como o tempo de viagem, a distância a percorrer a pé e a distância total, permitindo elaborar estudos e tomar decisões, por exemplo, na reorganização por parte de uma empresa de transportes, da sua rede de transportes.

Esses atributos são distribuídos ao longo de um arco, isto é, eles são divididos proporcionalmente ao longo do comprimento de um arco. Por exemplo, se o tempo de viagem for modelado como um atributo de custo, atravessar metade de um segmento levará metade do tempo necessário para percorrer todo o segmento: se o tempo de percurso para percorrer for de 3 minutos, leva 1,5 minutos para percorrer metade do segmento.

A análise de redes geralmente envolve a minimização de um custo (a impedância) durante o cálculo de um caminho para encontrar a melhor rota. Exemplos comuns incluem a de encontrar a rota mais rápida (minimizando o tempo de viagem) ou a rota mais curta (minimizando a distância). O tempo de viagem (tempo de percurso, tempo pedestre) e distância (metros) também são atributos de custo do conjunto de dados de rede.

Nas análises de redes, as impedâncias com valores negativos são consideradas como atributos proibidos. Se um atributo de custo com valores negativos é usado como atributo de impedância, no decorrer da análise é considerado proibido e por isso não entra na rede.

Os descritores são atributos que descrevem características da rede ou os seus elementos. Ao contrário dos custos, os descritores não são distribuídos. Isso significa que o valor não depende do comprimento do elemento do arco. Por exemplo, o número de vias é um exemplo de um descritor numa rede viária. O limite de velocidade das ruas é outro atributo do descritor para uma rede viária. Embora não seja um atributo de custo e não possa ser usado como uma impedância, ele pode ser usado em conjunto com a distância para criar um atributo de custo que pode ser considerado como uma impedância (ESRI, Network Analyst, 2017).

3.3. A conectividade da rede topológica

A conectividade nas redes é fundamental na medida em que os dados não estão conectados uns aos outros. Ou seja, objetos individuais têm que estar ligados topologicamente, para a análise de redes obter resultados.

Por exemplo, se duas entidades de geometria do tipo linha se cruzarem, nenhuma linha tem conhecimento da existência da outra linha. Da mesma forma que uma entidade de ponto no final de uma entidade de linha não possui nenhuma informação inerente que permita saber que está sobre a linha. No entanto, o conjunto de dados da rede controla quais as entidades de origem que são coincidentes. Tem também uma política de conectividade, que se pode modificar, para definir quais as entidades coincidentes que estão realmente conectados (ESRI, Network Analyst, 2017).

Cenários de conectividade mais complexos, como redes de transporte multimodal, também são possíveis (Figura 17). A seguir, um exemplo de uma rede de transporte no centro de Paris, exibindo redes de comboio, metro e autocarro urbano (ESRI, Network Analyst, 2017).

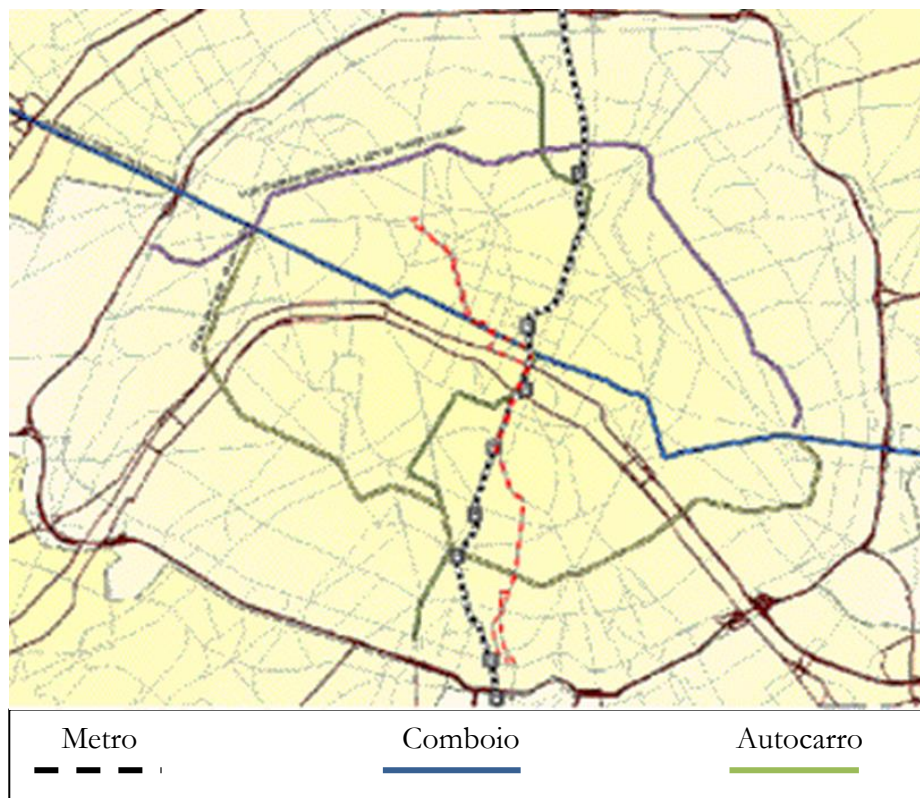


Figura 17- Rede de transporte para o centro de paris (adaptado de ESRI Network Analyst, 2017).

O Network Dataset possui, também, um modelo de atributos de rede que ajuda a modelar impedâncias, restrições e hierarquias para a rede.

A conectividade num conjunto de dados de rede baseia-se em coincidências geométricas, aplicando regras de conectividade que se definem como propriedades do conjunto de dados de rede.

3.4. Erros topológicos

Os erros topológicos são violações aos relacionamentos topológicos que são definidos por um *software* SIG ou pelo utilizador. Por exemplo, o *software* da ESRI, incorpora as relações topológicas de conectividade, definição da área e contiguidade. Se as entidades digitalizadas não seguirem essas relações originam erros topológicos (Chang, 2010).

No *software* da ESRI, a Geodatabase tem mais de vinte e cinco regras de topologia aplicáveis a entidades geométricas do tipo ponto, linha e polígono. Algumas dessas regras estão relacionadas com entidades numa classe de entidades (Feature Class). Usando uma Geodatabase podemos escolher as relações topológicas para implementar nos conjuntos de dados e definir os tipos de erros topológicos que são importantes para um projeto (Chang, 2010).

Um erro topológico recorrente no tipo linha (Figura 18), ocorre quando os arcos não se encontram perfeitamente num ponto (nó), tornando-se um *undershoot* (existe um espaço entre as linhas) ou um *overshoot* (a linha foi ultrapassada). O resultado em ambos os casos é um nó pendente no final de um arco (Chang, 2010).

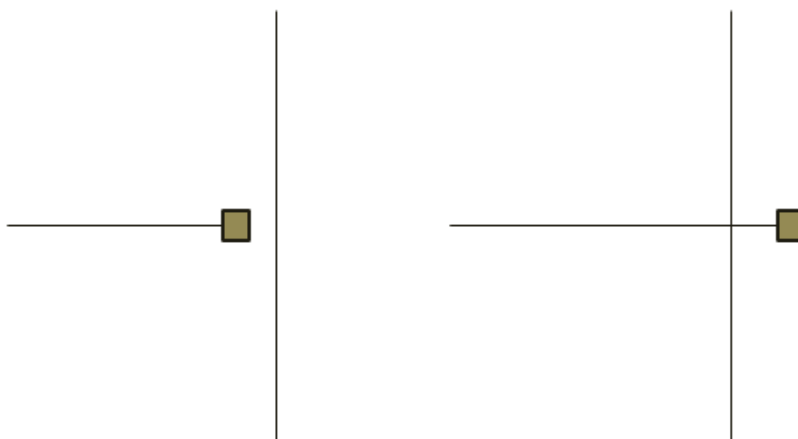


Figura 18-Erros topológicos: *undershoot* (esquerda) e *overshoot* (direita) (adaptado de Chang, 2010).

Outro erro recorrente é o pseudo-nó (Figura 19), que consiste na inserção numa linha contínua de um nó, dividindo-a desnecessariamente em duas linhas. No entanto, alguns pseudo-nós, são aceitáveis, como por exemplo, quando em algum momento os valores do atributo de uma linha são alterados, e a mudança de sentido/direção do arco.

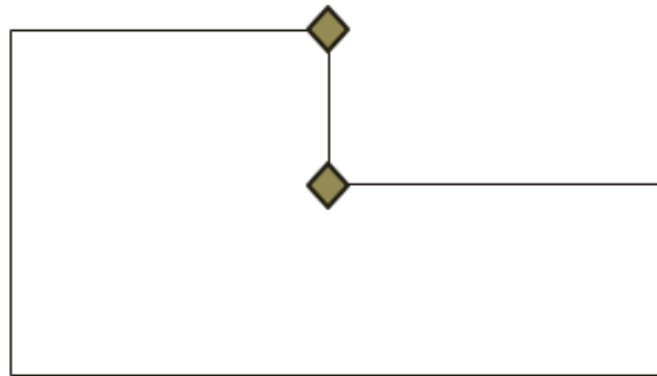


Figura 19- Erro topológico: Pseudo-nó (adaptado de Chang, 2010).

A direção de uma linha pode tornar-se igualmente num erro topológico (Figura 20). Por exemplo, numa rede viária em que se estipula que todas as ruas sejam claramente definidas como bidimensionais, unidireccionais ou sem saída, não correspondendo à realidade (Chang, 2010).

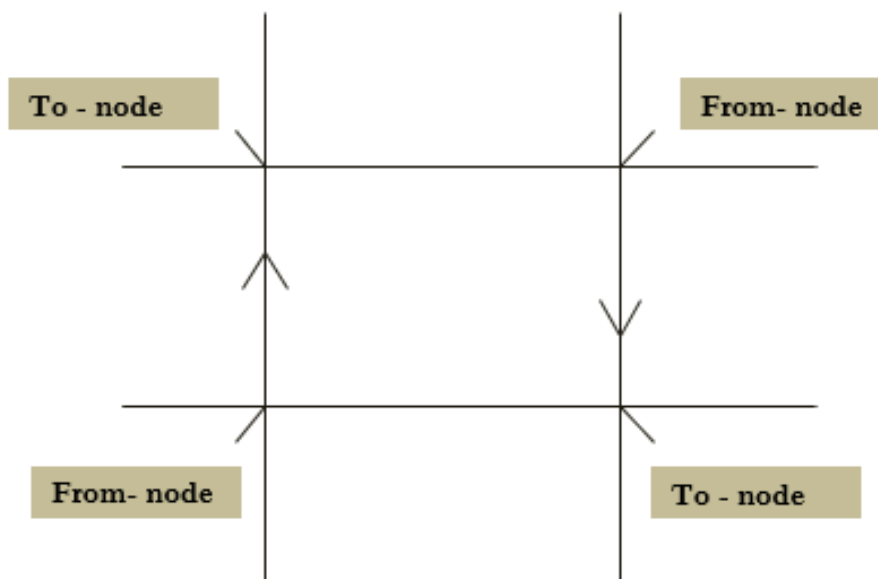


Figura 20- O From-node (FT) e o To-node (TF) num arco determinam as direções do mesmo (adaptado de Chang, 2010).

3.5. Conceção de uma rede topológica com base na extensão Network Analyst

Chang (2010) caracteriza uma rede como sendo um sistema de entidades lineares que possui os atributos apropriados para o fluxo de objetos (rede rodoviária, rede ferroviárias, rede pedonal e eixos de via, por exemplo).

Uma rede é constituída por linhas (arcos) que têm direções associadas e que se encontram nas interseções (junções ou nós).

Uma ligação é um segmento definido por dois pontos finais de forma a vincular as entidades geométricas básicas de uma rede. A impedância da ligação é o custo em percorrer um segmento que poderá ser determinado pelo comprimento do segmento. Porém, o comprimento do segmento, principalmente em cidades, poderá não ser uma medida confiável de custo, especialmente em cidades onde os limites de velocidade e as condições de tráfego variam ao longo de diferentes. A alternativa à medida do comprimento do segmento é a impedância do tempo de percurso estimado para percorrer um segmento a partir do comprimento e do limite de velocidade tidos em conta nesse segmento (Chang, 2010).

A fórmula utilizada para o cálculo do tempo em percorrer um segmento é apresentado de seguida (resultado em minutos):

$$\text{Tempo Percurso} = \frac{((\text{comprimento do segmento em metros}) \times 60 \text{ minutos})}{\text{velocidade em m/h}}$$

Como sabemos, o tempo de uma viagem é relativo e pode variar devido a vários fatores externos como a hora do dia, o dia da semana e até a direção da viagem.

Chang (2010) refere que há variações na medição do tempo de viagem de um segmento, ou seja, o tempo pode ser direcional (o tempo de viagem de uma direção pode ser diferente do tempo na direção contrária). Nesse caso, o tempo de percurso direcional pode ser inserido separadamente em dois campos (por exemplo: *From-To* e *To-From*). O tempo de viagem também pode variar de acordo com a hora do dia e o dia da semana, exigindo, portanto, a configuração de diferentes atributos de rede para diferentes objetivos.

Citando Ziliaskopoulos and Mahmassani (1996) *apud* Chang (2010), uma junção refere-se a um cruzamento de ruas. Um Turn (volta/viragem) é uma transição de um segmento de rua para outro, num entroncamento. A impedância de um Turn é o tempo que leva para completar um Turn, o que é significativo numa rede de ruas congestionadas.

A impedância de um Turn é direcional. Por exemplo, pode levar 5 segundos para seguir em frente, 10 segundos para virar à direita e 30 segundos para virar à esquerda num entroncamento. O uso de um valor de impedância de um Turn negativo significa que é proibido virar. Para o nosso caso de estudo, a impedância relativa ao Turn não se justifica porque não se pretende otimizar as rotas, mas sim encontrar a melhor rota conforme as impedâncias.

A direção do sentido de uma rua de sentido único é determinada pelo ponto inicial (vermelho) e pelo ponto final (verde) do segmento de linha, no ArcMap.

Quando a digitalização da linha não corresponde, na realidade, ao sentido do fluxo, acrescenta-se o atributo “Oneway” à tabela de atributos, com os valores de *From-To* (FT- o fluxo é no sentido do primeiro ponto digitalizado até ao último, ou seja, corresponde à realidade), *To-From* (TF- quando o fluxo é de forma inversa) ou *Null* (fluxo bidirecional).

Todas estas particularidades e funcionalidades serão desenvolvidas no subcapítulo 4.2. deste trabalho.

3.6. Métodos de cálculo usado pelas funcionalidades do Network Analyst

Segundo ESRI (2017), os solucionadores de rota dentro da extensão do ArcGIS Network Analyst - os solucionadores Route, Closest Facility e OD Cost Matrix - são baseados no algoritmo de Dijkstra para encontrar os caminhos mais curtos. Cada um desses três solucionadores implementa dois tipos de algoritmos de localização de caminhos. O primeiro tipo, é o caminho mais curto exato, e o segundo é um solucionador de caminho hierárquico para um desempenho mais rápido. O algoritmo clássico de Dijkstra resolve o problema de caminho mais curto num grafo ponderado não negativo e não direcionado. Para usá-lo no contexto dos dados de transporte do mundo real, esse algoritmo é modificado para respeitar as configurações do utilizador, como restrições unidirecionais, restrições de viragem (Turns), impedância de junção, barreiras e restrições de ruas, minimizando um custo especificado pelo utilizador.

Como vimos anteriormente, o algoritmo de Dijkstra resolve o problema de caminho único e do menor caminho num grafo ponderado. Para encontrar um caminho mais curto de um local inicial s para um local de destino d , o algoritmo de Dijkstra mantém um conjunto de junções, \mathcal{S} , cujo caminho mais curto final de s já foi calculado. O algoritmo localiza repetidamente uma junção no conjunto de junções que tem a estimativa mínima de caminho mais curto, adiciona-a ao conjunto de junções \mathcal{S} e atualiza as estimativas de caminho mais curto de todos os vizinhos dessa junção que não estão em \mathcal{S} . O algoritmo continua até que a junção de destino seja adicionada a \mathcal{S} (ESRI, Network Analyst, 2017).

4. O caso de estudo – o acesso aos transportes públicos coletivos na CIM | RC

4.1. Apresentação da área de estudo

A Comunidade Intermunicipal da Região de Coimbra, composta por dezanove concelhos, foi definida como caso de estudo com a finalidade de contribuir para a melhor utilização dos transportes públicos coletivos da região e, desta forma, combater o uso do transporte individual na região.

Procura-se consciencializar as entidades competentes para a importância da disponibilização de informação para o público que permita o planeamento adequado de viagens multimodais e intermunicipais, facilitando a circulação de pessoas entre os concelhos da região.

A criação de uma plataforma para o público que promova o transporte multimodal a nível intermunicipal, é fulcral na medida que possibilita um planeamento ajustado e atempado das viagens a realizar pelos utilizadores, entre os concelhos da CIM|RC, recorrendo a diferentes operadores de viagens.

De seguida será realizada a caracterização da população, da mobilidade e das potencialidades dos transportes públicos da CIM|RC.

4.1.1. Breve caracterização sociodemográfica da CIM | RC

A CIM Região de Coimbra (CIM|RC), composta por dezanove concelhos, é considerada a maior Comunidade Intermunicipal do País, com cerca de 460 mil habitantes e uma área de 4336 km² que integra três distritos distintos (Coimbra, Aveiro e Viseu) (Comunidade Intermunicipal da Região de Coimbra, 2018).

Os concelhos que constituem a CIM|RC são o de Arganil, Cantanhede, Coimbra, Condeixa-a-Nova, Figueira da Foz, Góis, Lousã, Mealhada, Mira, Miranda do Corvo, Montemor-o-Velho, Mortágua, Oliveira do Hospital, Pampilhosa da Serra, Penacova, Penela, Soure, Tábua e Vila Nova de Poiares (Figura 21).

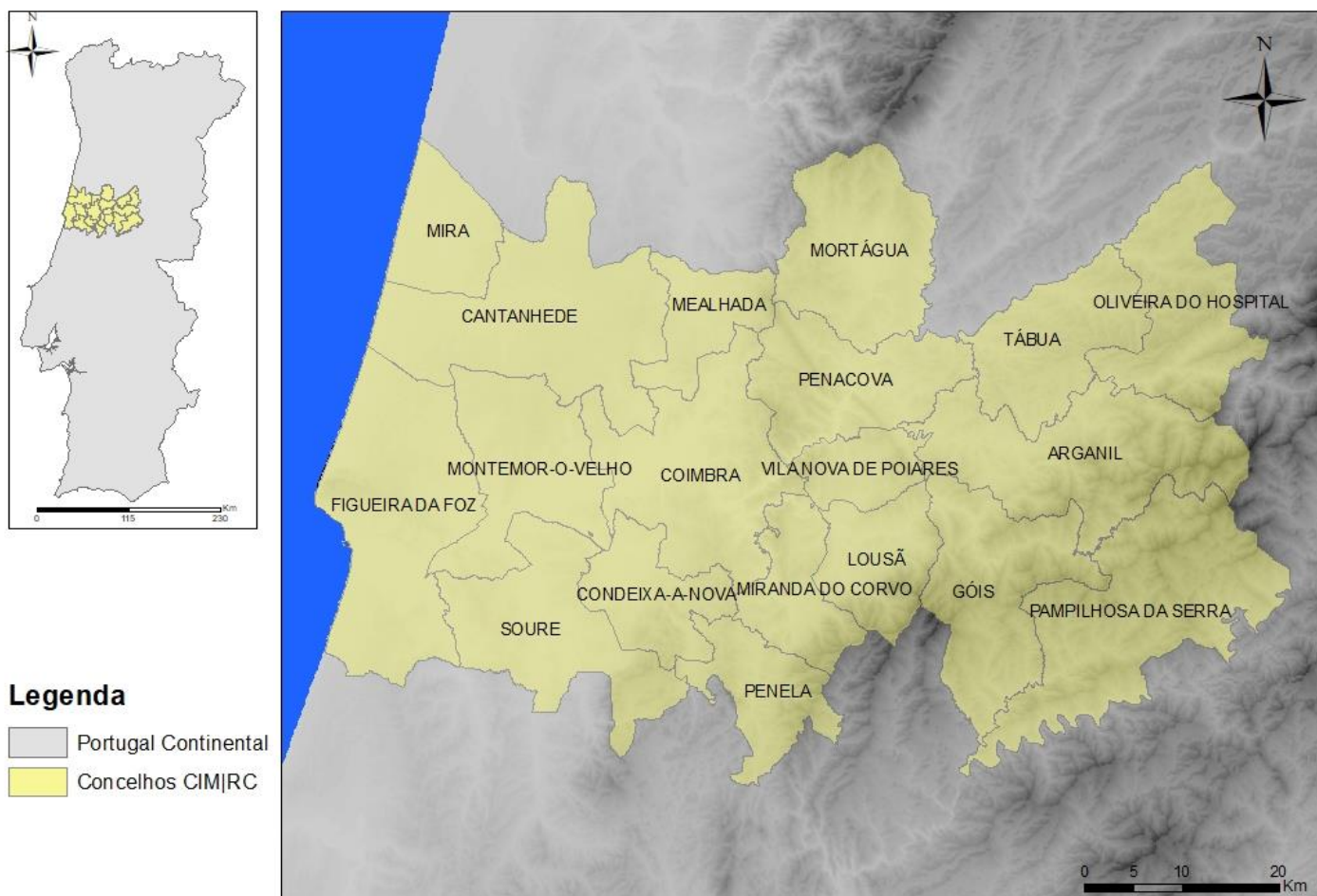


Figura 21- Concelhos da CIM Região de Coimbra.

A Região de Coimbra, para fins administrativos e estatísticos, pertence à NUT III e confronta a norte com a Região de Aveiro e Viseu Dão -Lafões, a este com Beiras e Serra da Estrela, a sul pela Beira Baixa e Região de Leiria e a oeste com o Oceano Atlântico (Comunidade Intermunicipal da Região de Coimbra, 2018).

A Comunidade, devido ao número de concelhos que constituem a região é muito heterogénea (Figura 22) e é perceptível a nível das características demográficas (população, estrutura etária e nível de escolaridade, entre outros), territoriais (litoral versus interior e rural versus urbano) e socioeconómico.



Figura 22- Heterogeneidade na CIM Região de Coimbra (Comunidade Intermunicipal da Região de Coimbra, 2018).

A análise da densidade populacional por concelho (Tabela 2) evidencia as assimetrias demográficas na região. Com base nos dados do Instituto Nacional de Estatística de Portugal (INE), em 2016, Coimbra era o concelho com maior densidade populacional da região (420,6 habitantes por km²), enquanto o segundo concelho com maior densidade populacional, a Mealhada, tinha apenas 181,6 habitantes por km². A Figueira da Foz contava com 158,2 habitantes por km² e Pampilhosa da Serra, Góis, Arganil e Mortágua são os concelhos com menor densidade populacional por km², tendo 10,4 hab/km², 14,9 hab/km², 34 hab/km² e 36,1 hab/km², respetivamente (INE, 2018).

Tabela 2- Densidade Populacional na CIM | RC (INE, 2018)

CONCELHOS	DENSIDADE POPULACIONAL (N°/ KM²) POR MUNICÍPIO (2016)
ARGANIL	34.0
CANTANHEDE	91.1
COIMBRA	420.6
CONDEIXA-A-NOVA	126.6
FIGUEIRA DA FOZ	158.2
GOIS	14.9
LOUSĂ	124.3
MEALHADA	181.6
MIRA	96.9
MIRANDA DO CORVO	101.6
MONTEMOR-O-VELHO	111.7
MORTĂGUA	36.1
OLIVEIRA DO HOSPITAL	84.3
PAMPILHOSA DA SERRA	10.4
PENACOVA	65.5
PENELA	41.2
SOURE	67.2
TĂBUA	58.2
VILA NOVA DE POIARES	83.0

Na Figura 23, temos a representação geográfica da população residente e da densidade populacional, por concelho em 2011. Coimbra, Figueira da Foz e Mealhada, destacam-se, como sendo os concelhos com maior densidade populacional e com maior número de população residente em 2011.

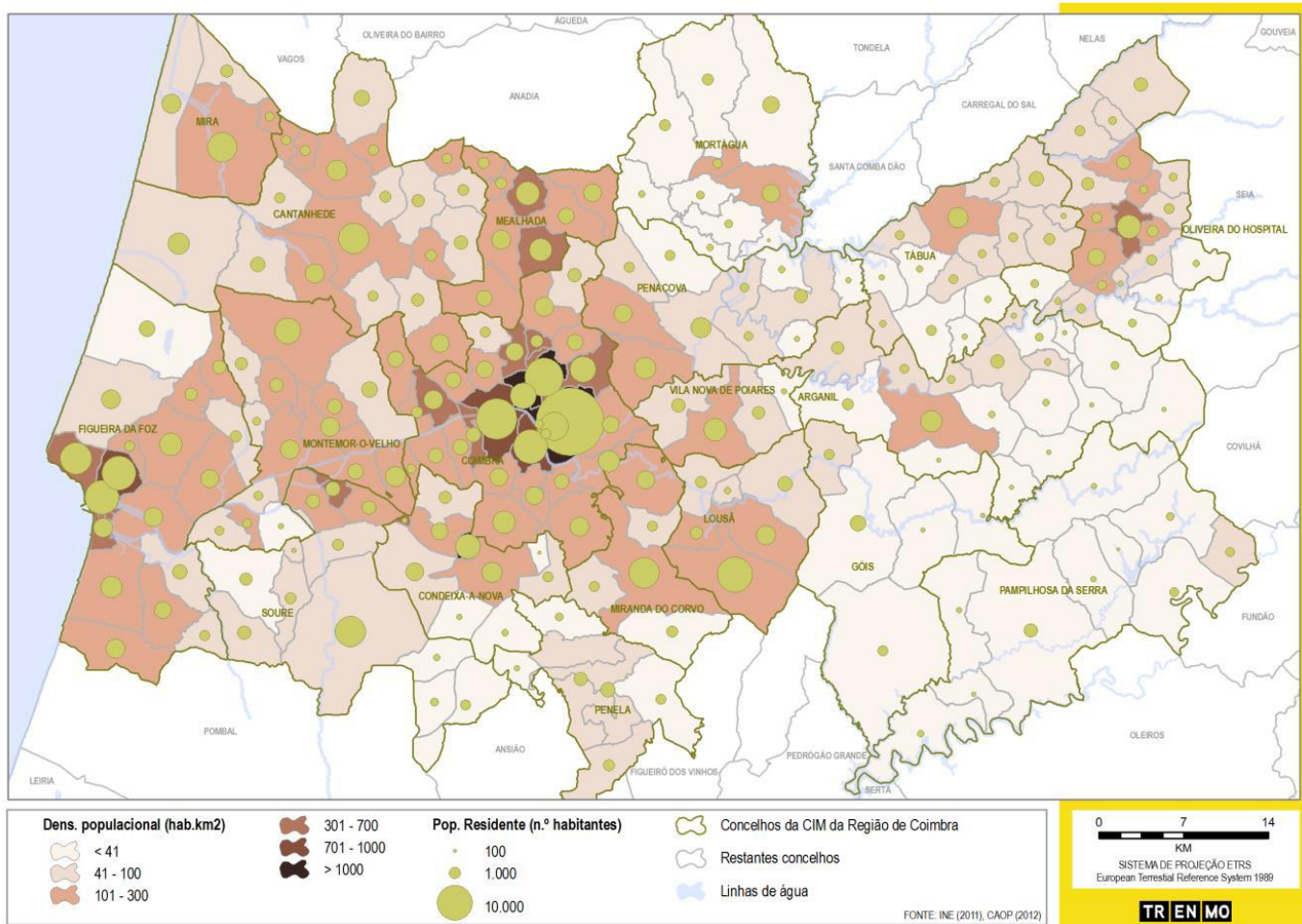


Figura 23- População residente e densidade populacional por concelho em 2011 (Comunidade Intermunicipal de Coimbra, 2016).

4.1.2. A mobilidade na CIM | RC

Santos (2006) considera que a mobilidade é uma condição essencial e imprescindível à atual vivência urbana, traduzindo-se numa melhor ou menor qualidade de vida.

É fundamental proporcionar um serviço de transporte público que se constitua como uma verdadeira alternativa ao transporte automóvel particular, indo ao encontro da missão de “garantir uma oferta de transporte público adequada às necessidades das populações, desenvolvendo ações que privilegiem a opção do uso do transporte público” (Serviços Municipalizados de Transportes Urbanos de Coimbra, 2017).

A Direção Geral do Desenvolvimento Regional (2005), afirma que “a crescente mobilidade das populações na sua vida quotidiana e a democratização no acesso ao automóvel, traduzindo-se no aumento da distância percorrida diariamente pela população e na transformação da própria forma de

encarar a mobilidade, cada vez mais como um direito e menos como uma necessidade” e que existe um “crescente desequilíbrio na repartição modal entre os diferentes modos de transporte, quer no tráfego de passageiros, quer de mercadorias, registando-se uma evolução acentuada para o primado do modo rodoviário face aos restantes. Em consequência, multiplicam-se os fenómenos de congestionamento, quer a nível urbano, quer em determinados eixos de circulação a nível europeu, incidindo sobre quase todas as redes de transporte existentes (rodoviário, ferroviário e aeroportuário)”.

Com a expansão da cidade para a periferia e com a aquisição de automóveis individuais por parte da população, os movimentos pendulares (movimento realizado diariamente pela população ativa, entre a cidade em que reside e a cidade em que trabalha) aumentaram exponencialmente e consequentemente, o congestionamento nas cidades também aumentou.

Perante o panorama da necessidade de deslocação por parte da população, os transportes coletivos de Coimbra têm vindo a modernizar a sua frota e a criar novos serviços de transporte, com a finalidade de atrair mais utilizadores e a retirar os automóveis do centro urbano de Coimbra.

Porém, persiste a necessidade de fomentar o transporte intermodal e intermunicipal, de forma a promover o uso do transporte público dentro dos concelhos da região e entre eles.

O Plano de Ação de Mobilidade Urbana Sustentável da CIM|RC (2017) revela que aumentou o uso do veículo individual e diminuiu a utilização do transporte público, tendo elevadas consequências a nível ambiental e económico. Com isto, revela a necessidade de implementar um sistema de mobilidade mais abrangente e coerente com o nível de exigência da procura de transportes.

Relativamente a dados de 2017, a CIM|RC é caracterizada por 250 mil fluxos diários entre casa-trabalho e entre casa-escola, e apenas 17% dos residentes sai do concelho de residência para outro concelho dentro da CIM|RC. Destas 250 mil deslocações diárias, há uma forte dependência do uso do automóvel (79% dos trabalhadores e 55% dos estudantes utilizam o transporte individual) (Comunidade Intermunicipal Região de Coimbra, 2017).

No Plano de Ação de Mobilidade Urbana Sustentável da CIM|RC (2017) é apreciado que há uma fraca expressão do transporte público em Condeixa-a-Nova, Vila Nova de Poiares, Mealhada, Cantanhede e Mira, o que propicia o uso do automóvel individual. Os transportes coletivos, nestes concelhos, não vão ao encontro das necessidades da população.

Há, igualmente, uma fraca expressão dos modos suaves (pedestre e bicicleta) nos concelhos de Montemor-o-Velho, Condeixa-a-Nova, Penacova e Soure (Comunidade Intermunicipal Região de Coimbra, 2017).

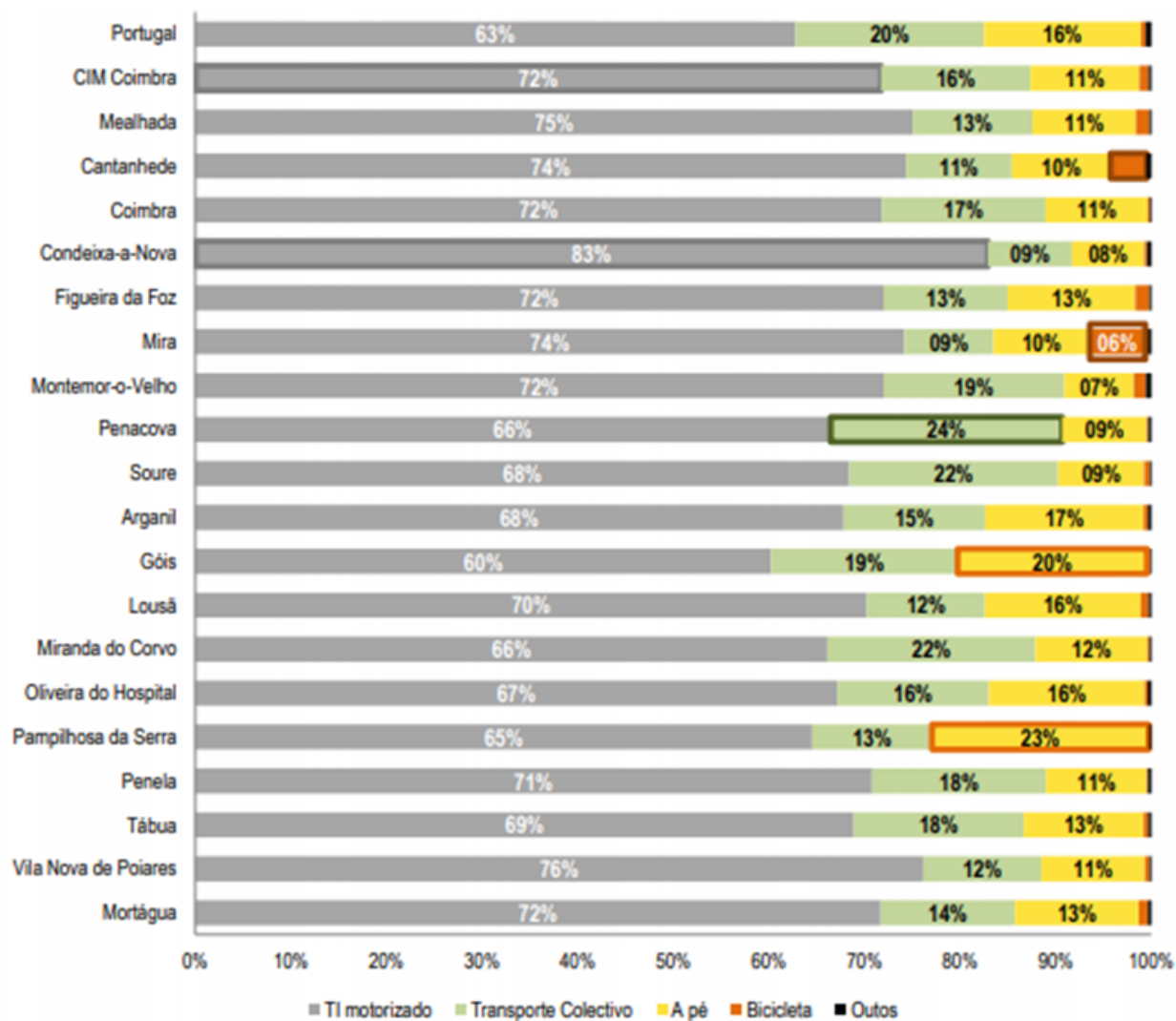


Figura 24- Os transportes por concelho (Comunidade Intermunicipal de Coimbra, 2016).

Com base na Figura 24, na CIM|RC, o transporte individual tem um peso de 72% na generalidade do uso de modos de transporte, tendo um peso de 83% no concelho de Condeixa-a-Nova, 76% em Vila Nova de Poiares, 75% na Mealhada, 74% em Cantanhede e 72% em Coimbra, Figueira-da-Foz, Montemor-o-Velho e Mortágua.

Relativamente ao transporte público, tem apenas um peso de 16% na generalidade do uso de modos de transporte na CIM|RC e os concelhos que mais usufruem dos transportes coletivos são Penacova (24%), Soure (22%), Montemor-o-Velho (19%) e Coimbra (17%).

O concelho de Coimbra é o principal destino dos fluxos pendulares dentro da CIM (Figura 25), com motivo de trabalho ou estudo, devido à centralidade de equipamentos e serviços da cidade, e por isso com maior dinâmica económica (Comunidade Intermunicipal Região de Coimbra, 2017).

No Plano Intermunicipal de Mobilidade e Transportes da Região de Coimbra da CIM|RC (2016) considera-se que 7% dos movimentos pendulares dos residentes são para concelhos fora da CIM, ou seja, cerca de 17 mil pessoas que residem num concelho da CIM viajam para outros concelhos diariamente principalmente por questões profissionais.

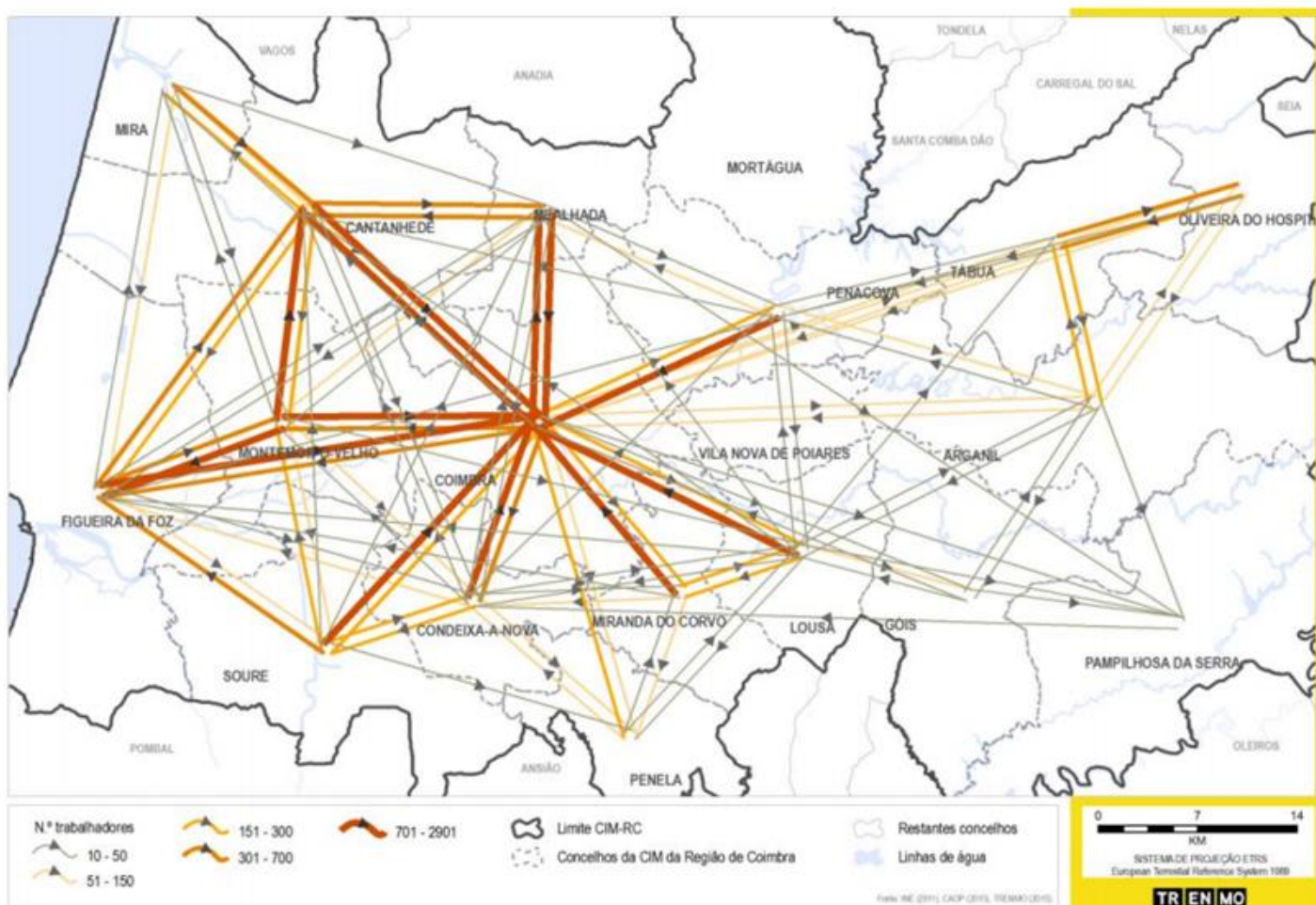


Figura 25- Fluxos intra-CIM|RC de entrada e saída de trabalhadores, por concelho (Comunidade Intermunicipal de Coimbra, 2016).

No relatório da Comunidade Intermunicipal de Coimbra (2016) faz-se referência aos concelhos limítrofes a Coimbra, como é exemplo, Condeixa, Miranda do Corvo, Montemor-o-Velho e Penacova que apresentam a maior diferença entre a proporção de saída e de entradas em termos de movimentos pendulares. Importa ainda notar que 70% das viagens pendulares provenientes sobretudo dos concelhos de Miranda do Corvo, Penacova e Condeixa-a-Nova têm como destino Coimbra. Por outro lado, os concelhos de Góis e Pampilhosa da Serra apresentam o menor número de movimentos pendulares.

4.1.3. O potencial dos transportes públicos na CIM|RC

A Comunidade Intermunicipal de Coimbra (2017) considera que a mobilidade das pessoas é cada vez mais um fator de competitividade dos territórios e melhoria da qualidade de vida das populações e, que a implementação de estratégias de mobilidade passa pela redução dos custos de deslocação e criação de frotas que vão ao encontro das necessidades da população.

A CIM|RC é composta por nove operadores de transporte coletivo rodoviário que prestam serviços de ligação de carácter intraconcelhio e interconcelhio, que é a Transdev, Gira Mira, SMTUC, AVIC, Moisés, Rodoviária do Tejo, JMF, Marques e INOVA (TUC). Estes operadores mudam consoante o concelho em que operam, por exemplo, em Coimbra operam os SMTUC, Moisés e Transdev/Joalto (Figura 26 e Tabela 3).

A título de exemplo, os SMTUC contam com 95 viaturas para realizar 50 carreiras, cobrem uma extensão de rede de 556,2 km e servem cerca de 12 834 passageiros (nº de validações no sistema de bilhética), cumprindo uma velocidade média de 16,7 km/h (Serviços Municipalizados de Transportes Urbanos de Coimbra, 2017).

No Anexo D podemos verificar a extensão da rede dos SMTUC no limite urbano de Coimbra.

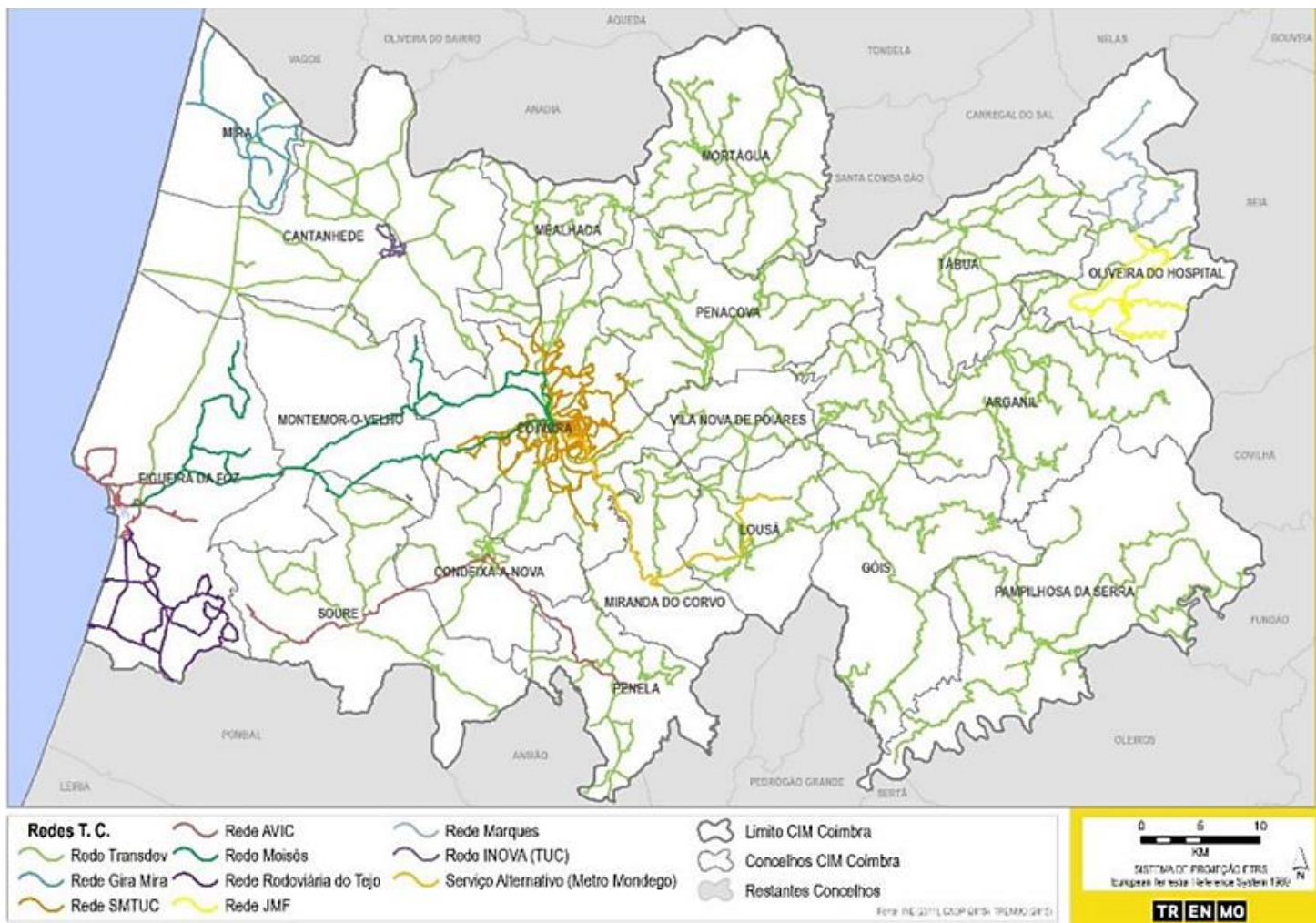


Figura 26- Grau de cobertura dos operadores de transporte coletivo rodoviário (Comunidade Intermunicipal de Coimbra, 2016).

O operador de transporte público Transdev destaca-se pela sua extensão de atuação nos concelhos da CIM|RC, operando muitas vezes em situações de monopólio por ser o único operador em alguns concelhos como acontece na Pampilhosa da Serra, Miranda do Corvo, Penacova, Mealhada, Góis, Arganil, Penela, Soure, Tábua e Vila Nova de Poiares (Tabela 3). As carreiras de cada operador são uma das informações fundamentais para se perceber a cobertura e locais abrangidos pela rede de transporte público, verificando-se que o acesso aos horários nem sempre é possível de forma expedita, porque a informação não é disponibilizada pelo respetivo operador (Comunidade Intermunicipal de Coimbra, 2016).

Tabela 3- Operadores de transporte público rodoviário (adaptado de Comunidade Intermunicipal da Região de Coimbra, 2017).

LOCALIZAÇÃO	OPERADORES TRANSPORTE COLETIVO
Arganil	Transdev
Cantanhede	Transdev e INOVA (CMC)
Coimbra	SMTUC, Moisés e Transdev/Joalto
Condeixa-a-Nova	UrbCondeixa (concessionado à Transdev), AVIC e Transdev
Figueira da Foz	Moisés, AVIC, Rodoviária do Tejo e Transdev/Joalto
Góis	Transdev
Lousã	UrbLousã (concessionado à Transdev) e Transdev
Mealhada	Transdev
Mira	Gira Mira
Miranda do Corvo	Transdev
Montemor-o-Velho	Moisés e Transdev/Joalto
Mortágua	Transdev
Oliveira do Hospital	Transdev, Marques, Joaquim Martins da Fonseca
Pampilhosa da Serra	Transdev
Penacova	Transdev
Penela	Transdev
Soure	Transdev
Tábua	Transdev
Vila Nova de Poiares	Transdev

O transporte público rodoviário é o transporte coletivo mais utilizado na Região de Coimbra para os movimentos do quotidiano, principalmente na cidade de Coimbra, mas o transporte ferroviário tem vindo a ganhar importância nas ligações interconcelhias por ser mais económico e rápido do que o transporte rodoviário regional.

A área de estudo é composta pela Linha do Norte que faz a ligação Porto-Lisboa servindo os concelhos de Soure, Coimbra e Mealhada (com influência sobre Montemor), a Linha do Oeste que faz a ligação desde a linha de Sintra à Figueira da Foz, o Ramal de Alfarelos, que une a linha do Norte e a Linha do Oeste entre Alfarelos e a Bifurcação de Lares, e a Linha da Beira Alta desde a Pampilhosa (Mealhada) até Espanha, servindo o concelho de Mortágua e ainda o ramal do Lourçal que realiza

apenas serviço de carga e faz a ligação por 8 km entre a freguesia de Marinha das Ondas (Figueira da Foz) e o Lourçal (Pombal) - Figura 27 (Comunidade Intermunicipal de Coimbra, 2016).

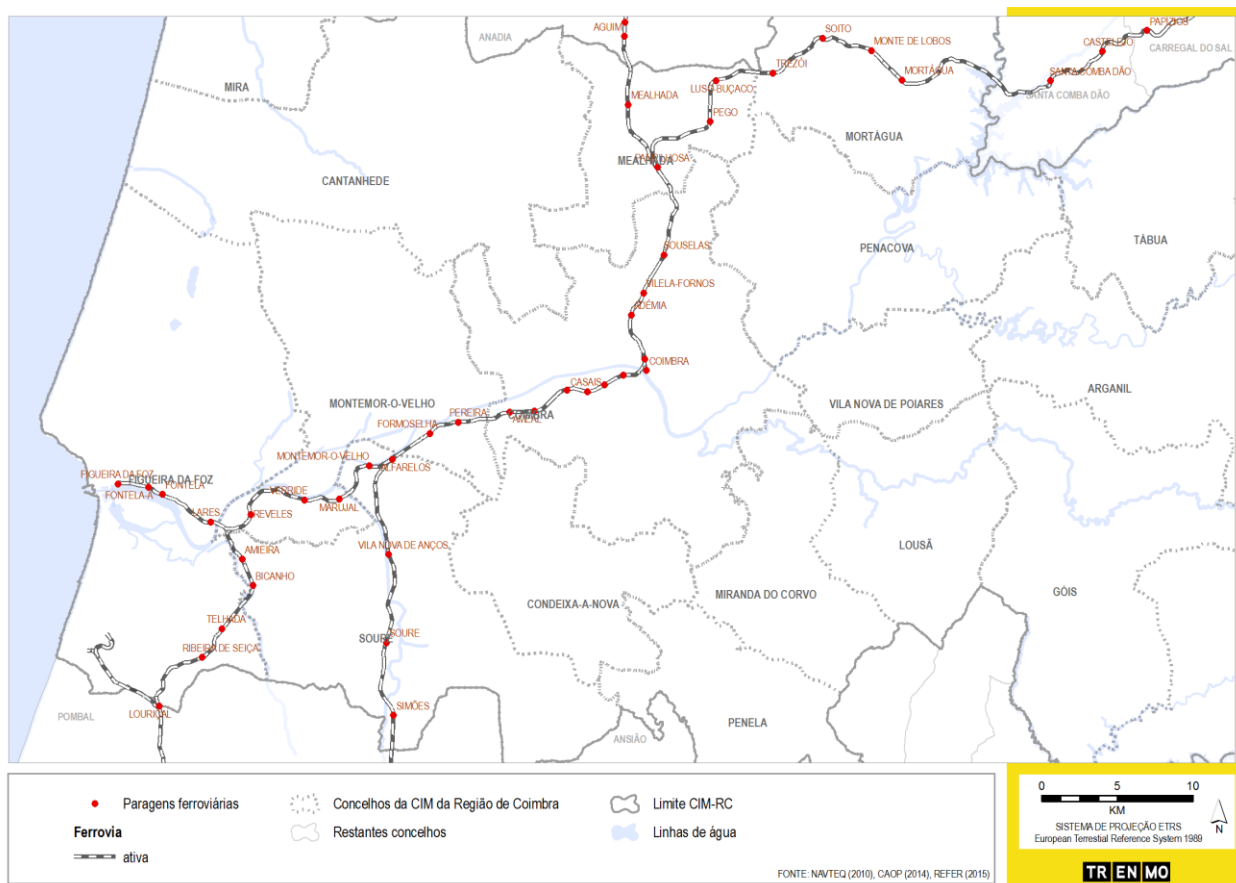


Figura 27- Rede ferroviária na CIM | RC (Comunidade Intermunicipal de Coimbra, 2016).

A Comunidade Intermunicipal de Coimbra (2016) revela que o serviço ferroviário da região é de carácter essencialmente regional (comboios regionais) nos concelhos limítrofes a Coimbra. Este tipo de serviço tem um tarifário muito elevado e desajustado para uma utilização diária, além de uma “organização de oferta que também não se adequa às necessidades da cidade de Coimbra”. Apesar de terem sido criados os comboios urbanos de Coimbra, do atual serviço da CP (Comboios de Portugal), “estes consistem somente na ligação entre Coimbra e Figueira da Foz com tempos de circulação que variam entre os 54 minutos (1 circulação/dia) e os 81 minutos (1 circulação/dia) para percorrer uma distância de cerca de 42 km; na maioria das ligações o tempo de circulação varia entre os 75 e os 77 minutos”, tendo o bilhete o custo médio de 2,65 euros.

Na Figura 28 é apresentado um esquema ilustrativo do funcionamento do serviço ferroviário na área de influência da cidade de Coimbra no que respeita a tempo de percurso entre cidades de maior dimensão, indicando o raio de ação dos 60 minutos de tempo de percurso. No Anexo A podemos verificar toda a extensão da rede ferroviária a nível nacional e no Anexo B as respetivas velocidades praticadas pelos diferentes serviços de comboio.

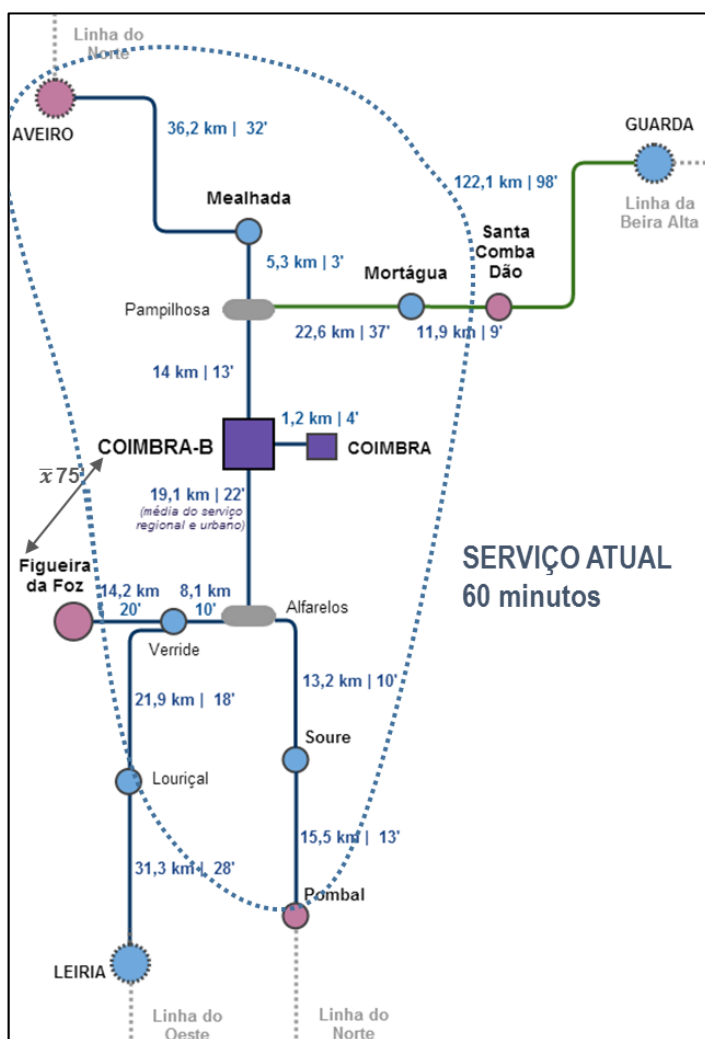


Figura 28- Esquema dos Urbanos de Coimbra e representação da isolinha de 60 minutos atual (Comunidade Intermunicipal de Coimbra, 2016).

A atual rede de interfaces no território da CIM|RC apresenta debilidades na garantia de condições de acessibilidade para pessoas de mobilidade reduzida, no reatamento com o modo clicável, na inserção urbana e na disponibilização de informação ao público e infraestruturas de apoio (Comunidade Intermunicipal Região de Coimbra, 2017).

A CIM|RC apresenta interfaces com a tipologia de apeadeiro, estação ferroviária, terminal rodoviário, ponto de conexão (Góis) e ponto de paragem (Mortágua). Só no concelho de Coimbra, existem várias interfaces (duas que são estações ferroviárias, um terminal rodoviário e um apeadeiro), enquanto na Figueira-da-Foz, existe apenas a interface de estação ferroviária (Figura 29).

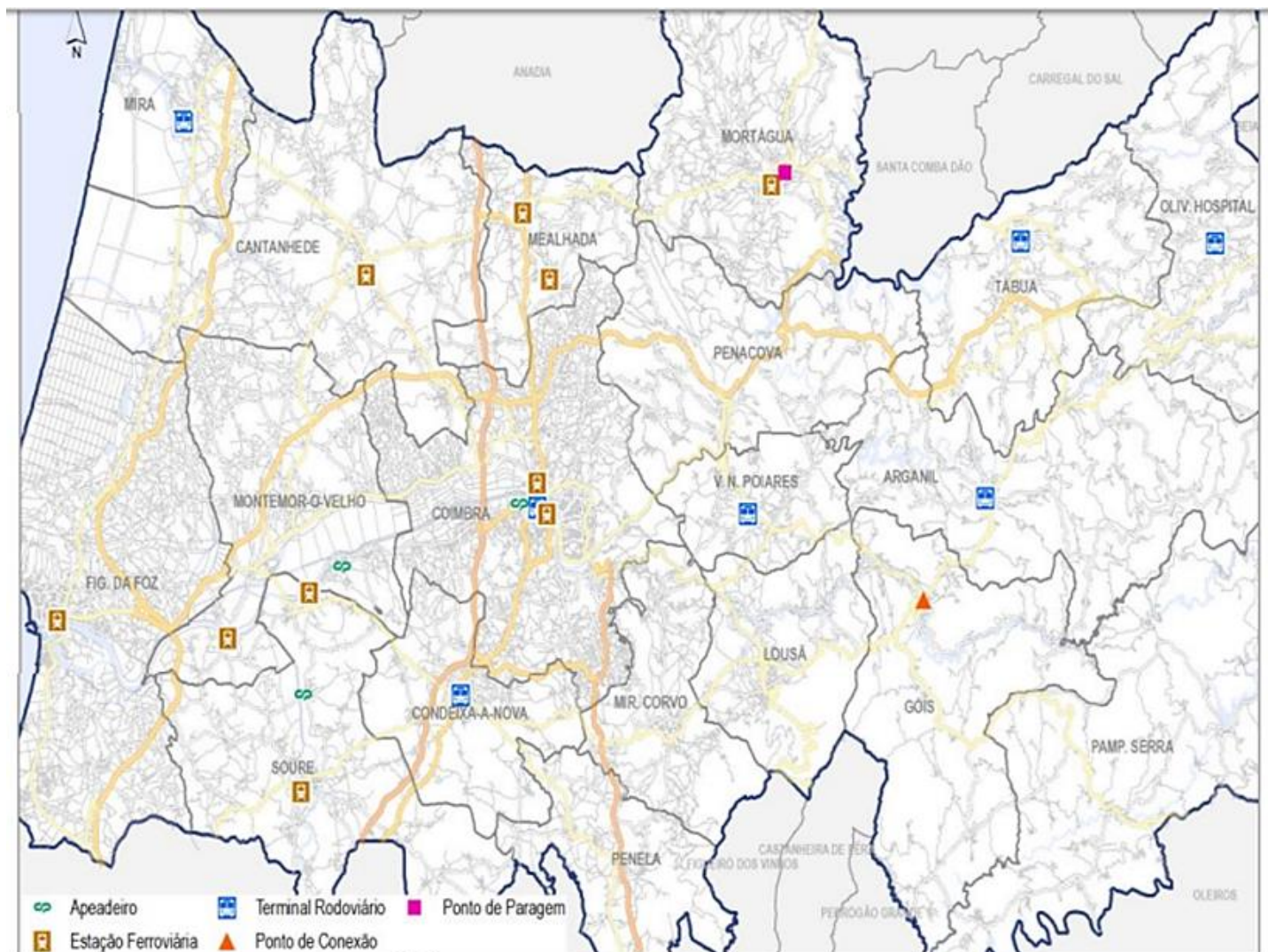


Figura 29- Tipologia de interfaces (Comunidade Intermunicipal Região de Coimbra, 2017).

Segundo a Comunidade Intermunicipal Região de Coimbra (2017), os Sistemas Inteligentes de Transportes poderão ser “preponderantes para o fomento da intermodalidade, nomeadamente em articulação com a lógica das interfaces, que englobam e propiciam o uso de diferentes modos de transporte”. A CIM|RC tem como estratégia, a pequeno/médio prazo, a criação de um sistema de integração bilhética e tarifária dos diversos operadores de transporte público e a criação de títulos de

transporte multimodais. Assim, os diversos tipos de serviço de transporte público, suburbano e urbano, devem funcionar numa lógica de compatibilização e não de concorrência. O território da CIM|RC apresenta uma rede de infraestruturas rodoviárias, com uma extensão de aproximadamente 15000km, tendo uma maior densidade junto do concelho de Coimbra.

Em síntese, é fundamental garantir a acessibilidade para todos, tanto na inclusão territorial, social e física, considerando os diversos modos de transporte; assegurar a eficiência do sistema de acessibilidades, reconhecendo a diversidade da procura e adaptando a oferta; promover a integração abrangente do sistema de mobilidade – física (particularmente nos interfaces), tarifária, lógica (informação e integração de horários) e institucional (facilitando a regulação e operacionalização) e assegurar a participação pública, desde o início do planeamento, aumentando a transparência das decisões (Comunidade Intermunicipal Região de Coimbra, 2017).

4.2. Conceção de uma rede multimodal na CIM|RC

4.2.1. Generalidades

A presente dissertação tem como objetivo a simulação de uma rede de transportes multimodal e intermunicipal e, nesta perspetiva, é fundamental conhecer o conceito de “simulação”.

Winston (2004) *apud* Carôco (2013) descreve a simulação como sendo uma imitação do comportamento de um sistema real com base em acontecimentos, enquanto Kelton (2007) *apud* Carôco (2013) menciona a simulação como sendo um processo de conceção e criação de um modelo de um sistema real, com a finalidade de realizar futuras experiências, que proporcionem uma perceção do comportamento do mesmo para um dado conjunto de circunstâncias.

Relativamente ao conceito de rede, é uma construção geométrica ou lógica de nós e arcos interconectados, em que as relações entre os vários dados são explicitamente definidas (McDonnell and Kemp, 1995).

Os dados constituem informação no seu estado bruto, sem nenhum tratamento específico; são resultantes da pesquisa, analisados e trabalhados de forma a fornecer informação (McDonnell and Kemp, 1995).

A recolha de dados é o processo de conversão de dados em formato digital a partir de digitalização, scanner ou gravação direta dos fenómenos do mundo real (McDonnell and Kemp, 1995).

As entidades (Feature Classes) correspondem a fenómenos (objetos/elementos) do “mundo-real”, sendo os objetos a representação física (digital) das entidades, com informação alfanumérica associada em ambiente SIG (McDonnell and Kemp, 1995).

Uma base de dados (Geodatabase) é uma coleção de dados organizados de acordo com um esquema conceptual, com um conjunto de procedimentos para adicionar, alterar e recuperar dados mantidos nessa estrutura (McDonnell and Kemp, 1995).

De forma a realizar a simulação, que é uma abstração do mundo real que incorpora apenas as propriedades consideradas relevantes para o objetivo, foram ponderadas a título de exemplo apenas três carreiras dos SMTUC (7, 7T e 103), a carreira Moisés que faz ligação entre Figueira da Foz e Coimbra, a linha ferroviária entre a Figueira da Foz e Coimbra e entre Souselas e Coimbra, e a rede pedonal da Região de Coimbra.

4.2.2. Metodologia

Para a realização da simulação e obtenção da melhor rota, perante diferentes cenários e impedâncias, foram realizadas diferentes etapas, que ao longo da elaboração do trabalho, se foram corrigindo e aperfeiçoando, até conseguir atingir os objetivos propostos.

Antes de falar da metodologia para a construção concreta da rede e visualização das melhores rotas, é importante fazer referência à metodologia teórica tida por base para a construção da mesma.

Assim sendo, como metodologia base, recorreu-se à leitura e análise de trabalhos realizados anteriormente, de plataformas construídas, do tutorial do Network Analyst (da ESRI) e ao fórum do ArcGIS, com o intuito de compreender todos os conceitos e ferramentas e para a resolução de problemas que foram surgindo.

Os trabalhos analisados para a compreensão de toda esta temática, focam-se essencialmente na construção de rotas de otimização de percursos para transportes de carga, pelo que se teve que adaptar o conhecimento ao nosso projeto em concreto e aos nossos objetivos.

Relativamente à metodologia prática, na Figura 30, temos a representação geral da mesma, dividida na fase de aquisição e preparação da informação, na conceção da rede, na obtenção dos resultados e na visualização dos mesmos.

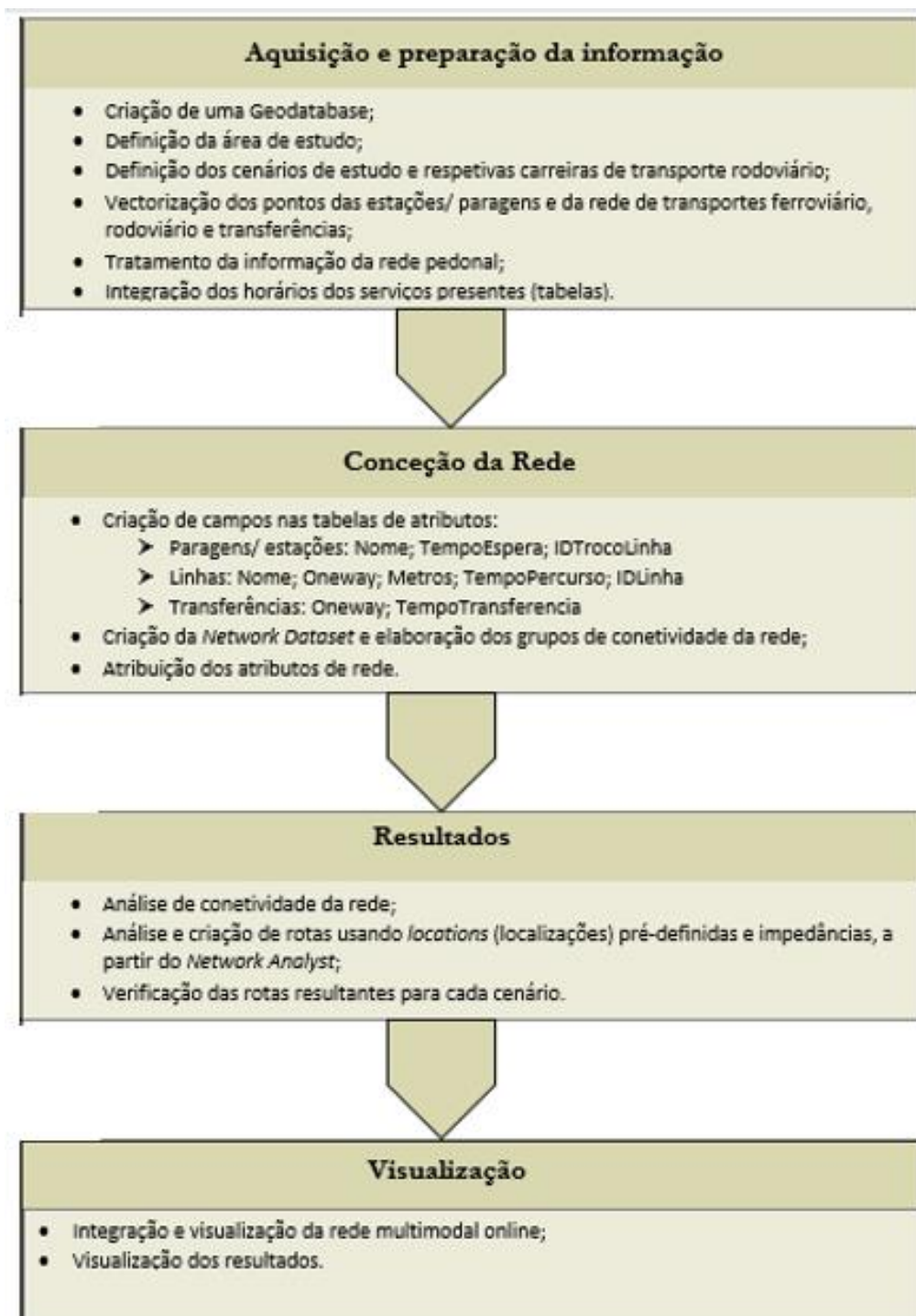


Figura 30- Modelo conceitual da metodologia utilizada (adaptado de Morais *et al.*, 2013).

No que diz respeito às plataformas utilizadas no decorrer do projeto, a Figura 31 sintetiza essa questão e atribui cada fase do trabalho, a uma plataforma em que foi realizada.

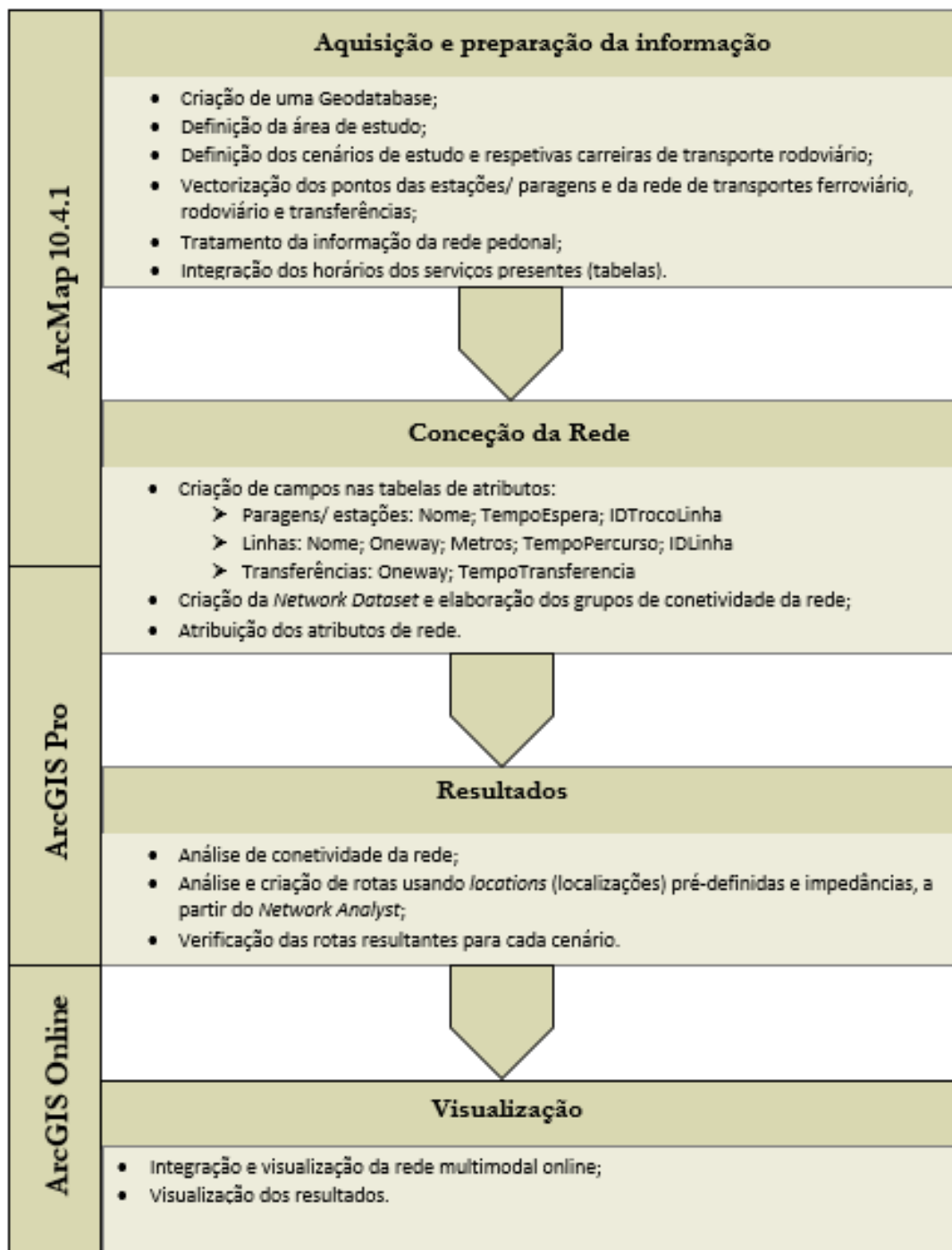


Figura 31- Simplificação das fases do projeto e plataformas utilizadas (adaptado de Morais *et al.*, 2013).

Todos estes processos, serão devidamente explicados nas secções seguintes.

4.2.3. Recolha e tratamento dos dados num SIG

4.2.3.1. Criação do projeto

O projeto foi realizado no ArcMap 10.4.1 - ambiente de criação de projetos e mapas virtuais do ArcGIS e comercializado pela ESRI - que representa geoespacialmente os dados geográficos como uma coleção de camadas temáticas e é usado para realizar diversos tipos de análises.

Neste projeto criou-se uma Geodatabase com a finalidade de estruturar os dados geográficos numa estrutura hierárquica de objetos organizados em classes de objetos, classes de entidades e conjuntos de entidades.

Sousa (2010) considera que uma classe de entidades corresponde a um conjunto de entidades (grupo de classes de entidades que partilham a mesma referência espacial) com o mesmo tipo de geometria e os mesmos atributos.

A Geodatabase é a estrutura de dados nativa do ArcGIS e é o formato de dados primário usado para edição e gestão de dados neste *software*. Embora o ArcGIS trabalhe com informações geográficas em vários formatos de arquivos do sistema de informações geográficas, ele é orientado a trabalhar e aproveitar as entidades da Geodatabase. Um conceito chave de Geodatabase é o de conjuntos de dados, sendo o principal mecanismo considerado para organizar e usar informações geográficas no ArcGIS. A Geodatabase contém três tipos principais de conjuntos de dados: Feature Class, Raster Dataset e Tables (ESRI, Network Analyst, 2017).

As classes de entidades (Feature Classes) são coleções homogêneas de entidades comuns, cada uma com a mesma representação espacial (pontos, linhas ou polígonos).

Segundo Chang (2010), o modelo de dados baseado em objetos, como a Geodatabase, pode suportar relacionamentos entre objetos. Quando usado para gestão de dados de atributo, o relacionamento é pré-definido e armazenado como uma classe de relacionamento numa Geodatabase. Uma classe de relacionamento pode ter as cardinalidades de um-para-um, de muitos-para-um, de um-para-muitos e de muitos-para-muitos. Para os três primeiros relacionamentos, os registos na origem são vinculados diretamente aos registos no destino, mas para o relacionamento muitos-para-muitos, uma tabela intermediária deve ser configurada primeiro, para classificar as associações entre registos na origem e no destino. Quando presente numa Geodatabase, uma classe de relacionamento é reconhecida automaticamente e pode ser usada no lugar de uma operação relacionada.

A Geodatabase foi concebida com o sistema de coordenadas planas PT-TM06-ETRS89 e é nesta Geodatabase – que constitui uma base de dados – que se vai concretizar a rede topológica pretendida.

4.2.3.2. Aquisição de informação e dados

Para a elaboração da simulação de uma rede multimodal e intermunicipal da região de Coimbra, foi necessário recolher alguns dados que, posteriormente foram analisados e trabalhados com a finalidade de transmitir informação.

Com a informação e dados adquiridos, é possível construir uma base de dados e, por sua vez, uma rede, que disponibilizará ao utilizador, toda a informação necessária para o planeamento de uma viagem, de forma a preparar a sua deslocação atempadamente.

Após a definição da área de estudo, recolheram-se os seguintes dados:

- Limite da área de estudo: polígono que delimita a área de estudo, de forma a restringir os dados recolhidos a esta área. Este limite teve como fonte a Carta Administrativa Oficial de Portugal (CAOP) de 2016 da Direção Geral de Território (DGT), em formato Shapefile (*.shp) e com o sistema de coordenadas European Terrestrial Reference System 1989 (PT-TM06-ETRS89);
- Rede rodoviária dos SMTUC (paragens e rotas): apenas se teve acesso a dados de algumas rotas dos SMTUC pelo que a definição dos cenários teve que ter em atenção os dados disponibilizados. Estes dados têm como fonte os SMTUC, estão em formato DGN (*.dgn) e o sistema de coordenadas é o Datum Lisboa;
- Rede ferroviária - Comboios de Portugal (linhas, estações e apeadeiros): esta rede teve como fonte o OpenStreetMap (OSM). O OSM como é “desenvolvido por uma comunidade voluntária de mapeadores que contribuem e mantêm atualizados os dados sobre estradas, caminhos, cafés e estações ferroviárias, entre outros” (OpenStreetMap, 2017), os dados tiveram que ser analisados minuciosamente e editados. O formato dos dados é OSM (*.osm) e o sistema de coordenadas é o WGS84;
- Rede rodoviária Moisés (rotas e paragens): estes dados foram digitalizados manualmente tendo por base o mapa do OpenStreetMaps e o conhecimento da rota efetuada por este serviço rodoviário. Estes dados foram criados numa Geodatabase e são uma Feature Class com o sistema de coordenadas PT-TM06-ETRS89;
- Rede pedonal: a rede que foi considerada como sendo a pedonal, é a rede viária da área de estudo. Esta é uma compilação entre a rede viária do concelho de Coimbra (com fonte desconhecida em Feature Class e com o sistema de coordenadas PT-TM06-ETRS89) e a rede proveniente do OSM para a restante área de estudo (em ficheiro OSM, com o sistema de coordenadas WGS84);

- Horários: os horários foram consultados nas páginas Web dos serviços CP e SMTUC, e em formato de papel no caso do Moisés; todos eles foram posteriormente compilados em ficheiros Excel (*.xlsx). Foram criados horários para as paragens intermédias para as carreiras dos SMTUC.

A Tabela 4 sintetiza o que foi acima apresentado, contendo informação sobre o formato original dos dados, a geometria e a sua fonte.

Tabela 4- Esquematização dos dados recolhidos.

Dados	Formato Original	Geometria	Fonte
• Limite da Região	Shapefile	Polígono	CAOP 2017
• SMTUC Paragens	DGN	Ponto	SMTUC
• SMTUC Linhas	DGN	Linha	SMTUC
• Comboios de Portugal Linhas	OSM	Linha	OSM
• Comboios de Portugal Estações e Apeadeiros	OSM	Ponto e Polígono	OSM
• Moisés Linhas	Feature Class	Linha	Digitalização manual
• Moisés Paragens	Feature Class	Ponto	Digitalização manual
• Rede Pedonal	Feature Class OSM	Linha Linha	Não definido OSM
• Horário Moisés	Tabela Excel	Tabela	Horário em papel
• Horário CP	Tabela Excel	Tabela	Página web da CP
• Horário SMTUC 103	Tabela Excel	Tabela	Página web dos SMTUC
• Horário SMTUC 7	Tabela Excel	Tabela	Página web dos SMTUC
• Horário SMTUC 7T	Tabela Excel	Tabela	Página web dos SMTUC

4.2.3.3. Tratamento e criação de dados

Posteriormente à aquisição e armazenamento da informação, os dados foram tratados com a finalidade de construir uma rede topológica.

No tratamento de dados referimo-nos a diversas modificações que serão mencionadas:

- Seleção e extração dos dados necessários a partir dos dados recolhidos;
- Conversão para Feature Classes;
- Alteração dos sistemas de referência;
- Edição geométrica;
- Criação de dados;
- Criação de relacionamentos;
- Elaboração e edição das tabelas de atributos.

Nas próximas alíneas apresentar-se-ão os tratamentos realizados aos respetivos dados mencionados:

a) Limite da Região de Coimbra

Para chegarmos ao limite da região da área de estudo, foi necessário importar a Shapefile para o ArcMap e aceder à tabela de atributos para conferir os dados que se pretende extrair. Desta forma, fez-se um “Select by Attribute” em que na linha de comandos se inseriu “Distrito = Coimbra” e se exportou o resultado para a Geodatabase em formato Feature Class. Como a região de Coimbra corresponde aos concelhos do distrito de Coimbra e ao concelho da Mealhada e de Mortágua, acedeu-se novamente à tabela de atributos da CAOP e selecionou-se “Concelhos = Mealhada” e “Concelhos=Mortágua” e exportaram-se as Feature Classes.

Como estas seleções originaram três Feature Classes distintas (Distrito Coimbra, Mealhada e Mortágua), realizou-se um “Merge” de forma a unir as três, numa só Feature Class, dando origem à Feature Class “Limite CIM|RC”.

b) Rede Rodoviária dos SMTUC

As linhas e pontos da rede dos SMTUC foram cedidos em formato DGN, tendo sido necessário importar para o projeto e extrair as polyline’s (linhas) e os pontos, e fazer a conversão para Feature Classe. Ainda assim, como as entidades que selecionámos como pertinente continham alguns

elementos desnecessários (por exemplo, setas com a indicação da direção do fluxo), procedeu-se à sua eliminação recorrendo à edição de geometria.

A rede dos SMTUC apresentava-se com o sistema de coordenadas Datum Lisboa e foi necessário reprojeta-la para o sistema PT-TM06-ETRS89.

Este processo foi realizado de forma individual para as carreiras 7, 7T e 103.

c) Rede Ferroviária

Dos dados recolhidos do OSM, extraiu-se inicialmente os pontos, linhas e polígonos. Estes dados foram cortados pelo Limite definido no ponto a), projetados para PT-TM06-ETRS89 e convertidos para Feature Classes. De seguida, através do “Select by Attribute”, selecionaram-se os dados referentes aos autocarros (com o objetivo de completar os dados dos SMTUC), os elementos que constituem a rede ferroviária (linha comboio, estações e apeadeiros) e a rede viária (para compilar com a do concelho de Coimbra). A fim de simplificar, não foram tidos em conta todos os apeadeiros ferroviários da área de estudo.

d) Rede Rodoviária Moisés

A rede Moisés foi digitalizada manualmente recorrendo a um mapa de base (OSM) no ArcMap. As paragens e as linhas foram criadas em formato Feature Class em PT-TM06-ETRS89.

e) Rede pedonal

A rede pedonal provém da compilação (Merge) dos eixos de via (de fonte desconhecida) em Feature Class (no sistema de referência PT-TM06-ETRS89) que corresponde ao concelho de Coimbra, com os eixos de via provenientes do OSM. Estes dados foram trabalhados tal como descrito na alínea c).

A Figura 32 resume os dados utilizados e a Tabela 5 apresenta os mesmos dados após o seu tratamento, contendo informação sobre a sua geometria (Figura 32) e a caracterização dos dados após o seu tratamento, mencionando os dados, o formato e a geometria resultantes do tratamento (Tabela 5).

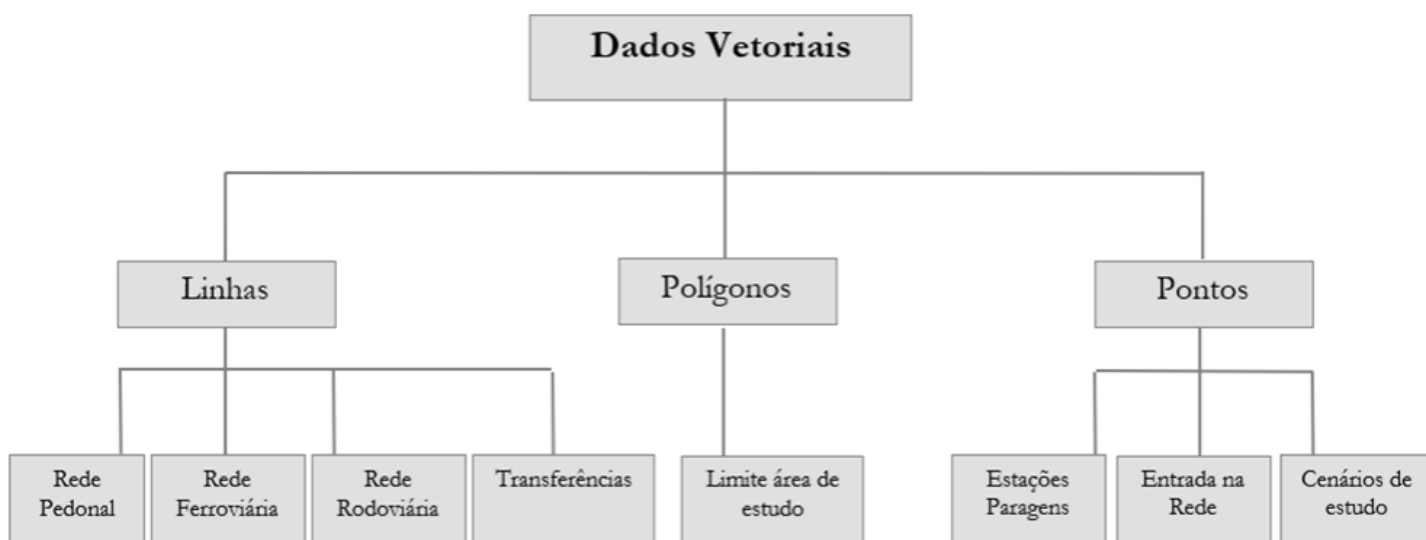


Figura 32- Representação simplificada dos dados utilizados.

Tabela 5- Dados após tratamento.

Dados	Tipo	Geometria
• Limite da Região	Feature Class	Polígono
• SMTUC 103	Feature Class	Linha
• SMTUC 7	Feature Class	Linha
• SMTUC 7T	Feature Class	Linha
• Paragens 103	Feature Class	Ponto
• Paragens 7	Feature Class	Ponto
• Paragens 7T	Feature Class	Ponto
• Moisés	Feature Class	Linha
• Paragens Moisés	Feature Class	Ponto
• Rede Ferroviária	Feature Class	Linha
• Estações	Feature Class	Ponto
• Rede Pedonal	Feature Class	Linha

É importante referir que, inicialmente foi criada a Feature Class “Arcos de ligação” (Figura 33) que tinha como finalidade unir a rede de transporte às paragens e à rede pedonal (elo de ligação entre as várias subredes). Posteriormente, os elementos de ligação entre a rede de transporte e as paragens desta Feature Class foram adicionados à Feature Class das respetivas redes de transporte, de forma a pertencerem à própria rede (Figura 34). Ou seja, o trajeto entre a paragem e a rede, quer seja a entrada quer a saída de passageiros, passa a pertencer à rota executada pelo transporte em questão.

Esta alteração deveu-se ao facto de a extensão do ArcGIS em que a rede foi constituída - o Network Analyst - não estar a processar devidamente estes objetos.



Figura 33- A ligação entre as diferentes sub-redes (com os arcos de ligação).



Figura 34- A ligação entre as diferentes sub-redes (sem arcos de ligação).

Criaram-se, assim três Feature Classes fundamentais para o bom funcionamento (conectividade) da rede: Feature Class de transferência entre a rede pedonal e o modo de transporte (um dos elementos da Feature Class “arcos de ligação”), Feature Classe de transferência entre os transportes (corresponde aos transbordos possíveis de realizar) e a Feature Class de entrada, que é o local, na rede pedonal, em que há uma quebra do arco, para a entrada de passageiros noutra rede (Figura 34).

Na rede ferroviária e na rede rodoviária do Moisés, com o objetivo de distinguir os dois sentidos da viagem, foram criadas paragens do “lado sul” do percurso, correspondentes à realização da viagem no sentido Figueira da Foz -> Coimbra (paragens Sul) e; de forma análoga, criaram-se paragens do “lado norte” do percurso correspondentes à realização da viagem no sentido Coimbra -> Figueira da Foz (paragens Norte).

No que diz respeito ao procedimento das tabelas de atributos e após todos os troços serem partidos aquando da entrada/ saída da rede ou mudança de características (por exemplo, direção) na rede pedonal, rede ferroviária e rede rodoviária, foram adicionados atributos (campos da tabela associada a uma Feature Class caracterizadores dessa coleção de entidades) às tabelas com a finalidade de, em primeiro lugar, completar os dados e, em segundo lugar, de servirem como impedâncias a alguns desses atributos (distância total, distância pedestre, tempo de viagem e tarifa da viagem).

De seguida, apresentam-se os dados e respetivos atributos, originais e adicionados, das tabelas de atributos (Tabela 6):

Tabela 6- Representação dos atributos dos dados.

	<ul style="list-style-type: none"> • Estações • Paragens Moisés • Paragens SMTUC 103 • Paragens SMTUC 7 • Paragens SMTUC 7T 	<ul style="list-style-type: none"> • Rede Ferroviária • Rede Moisés • Rede SMTUC 103 • Rede SMTUC 7 • Rede SMTUC 7T 	• Rede Pedonal (antigo eixo de via)	• Transferência Paragens Rede	• Transferência Transporte	• Entrada
Original	OBJECTID	OBJECTID	OBJECTID	OBJECTID	OBJECTID	OBJECTID
	Shape (point)	Shape (polyline)	Shape (polyline)	Shape (polyline)	Shape (polyline)	Shape (point)
	Nome	Nome	Nome	Shape_length	Shape_length	
Adicionado		Shape_length	Shape_length			
	TempoEspera	Oneway	Oneway	Oneway	Oneway	
	IDParagem	TempoPercurso	TempoPercurso	TempoTransferencia (transferência)	TempoTransferencia (transferência)	
	IDTrocoLinha	Metros	Metros	Metros	Metros	
		IDTrocoLinha		Nome	Nome	
	PrecoViagem (preço)					

O tempo médio de espera associado às estações da rede ferroviária foi de 60 minutos, exceto na estação de Coimbra-B, que foi de 15 minutos. Relativamente à rede Moisés, o tempo médio de espera foi de 45 minutos, e na rede SMTUC de 15 minutos.

O tempo considerado de transferência entre as paragens e a rede foi de 1 minuto e a transferência entre os transportes foi de 3 minutos, devido ao tempo de saída do transporte, deslocação e entrada no transporte seguinte.

O atributo do tempo de percurso (tempo que se demora a percorrer cada troço mediante o meio de deslocação) tem uma particularidade: nesta Feature Class, estão presentes os arcos da rede (rota efetuada pelo transporte) e os arcos de ligação entre a rede de transporte e a paragem/estação que são compostos pelos arcos de subida e de descida. Deste modo, todos os arcos de subida têm um tempo de percurso associado de 1 minuto e os arcos de descida de 0 minutos, enquanto nos restantes arcos, o tempo de percurso é calculado recorrendo à fórmula apresentada anteriormente:

$$Tempo = \frac{((shape_length) \times 60 \text{ minutos})}{velocidade \text{ em m/h}}$$

As velocidades médias tidas em conta para o atributo Tempo de Percurso foram as seguintes:

- Pessoa/ peões: 4 km/h
- Autocarro em meio urbano (SMTUC): 15 km/h
- Comboio (Urbano): 50 km/h
- Autocarro suburbano/interurbano (Moisés): 42 km/h

Exemplo do cálculo do Tempo de Percurso (em minutos) para a Feature Class “Rede Ferroviária”:

$$\frac{((Shape_length) * 60)}{50000}$$

O campo Oneway refere-se à direção do fluxo, em que na rede ferroviária e rede dos SMTUC, foi necessário analisar os troços, um a um, para atribuir a direção do fluxo. Com isto, atribuiu-se “null” quando o tráfego se realiza nos dois sentidos (rede ferroviária), “FT” quando o troço foi digitalizado no sentido do tráfego (na rede ferroviária e na rede dos SMTUC) e “TF” quando o troço foi digitalizado no sentido contrário ao do tráfego (rede ferroviária e na rede dos SMTUC). O “TF” e o “FT” também foram considerados na rede ferroviária, porque há troços que são percorridos apenas num sentido.

Na rede Moisés, na rede pedonal e nas transferências - como todos os troços são percorridos nos dois sentidos - foi atribuído o valor “null” ao atributo Oneway.

Relativamente ao preço da viagem, no caso do Moisés e da rede ferroviária, a partir do preço total da viagem (entre Figueira da Foz e Coimbra, por exemplo), foi atribuído a cada troço um valor da viagem em que, ao sairmos numa paragem, o somatório do preço praticado em cada troço é calculado, sendo devolvido o total da viagem.

Como na rede dos SMTUC o preço é constante (1,60€), percorrendo parcial ou totalmente a rede, foi atribuído o valor de 1,60€ ao arco de entrada na rede.

Os horários foram integrados na Geodatabase, após a sua criação em ficheiro Excel (*.xlsx), recorrendo à funcionalidade “Adicionar Dados” (Figura 35). Estes dados encontram-se em formato tabela e servirão de consulta, proporcionando a interação entre a rede e os horários. Nesta sequência, foram testadas algumas hipóteses que mais adiante serão apresentadas. Para efeitos de simplificação, não foram tidos em conta os horários realizados ao fim-de-semana e nos períodos de férias escolares e/ou em agosto.

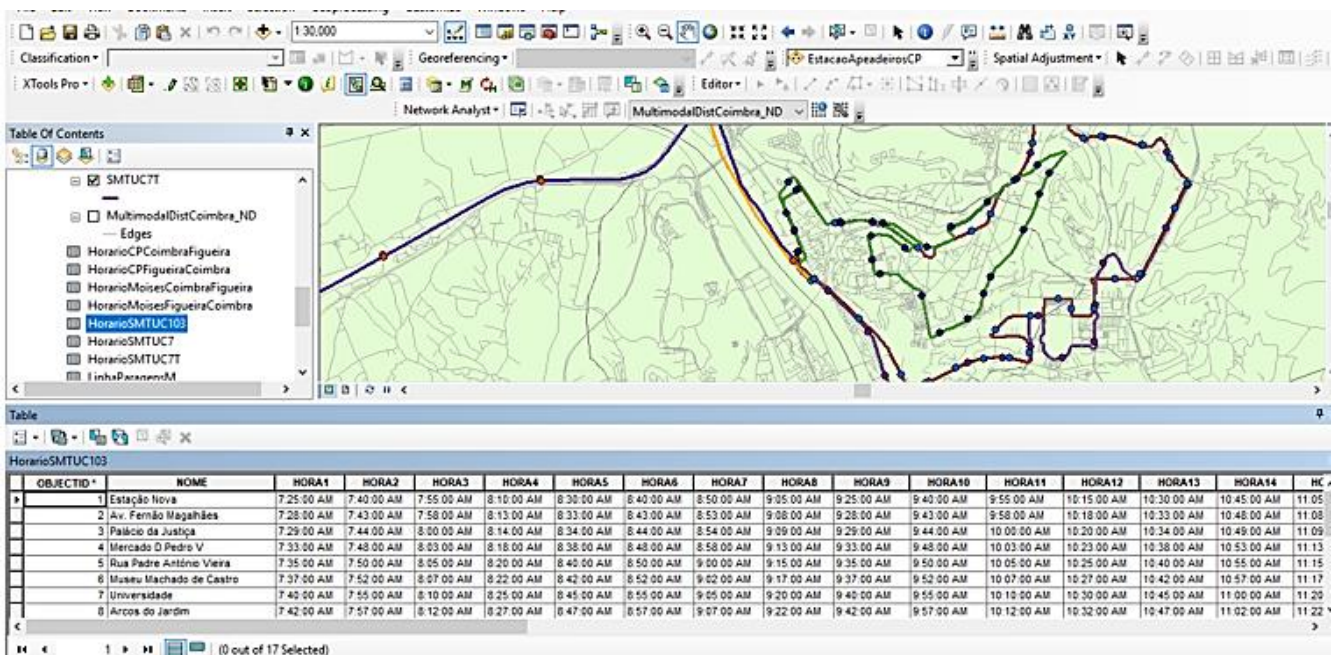


Figura 35- Integração inicial dos horários.

Após o tratamento geral dos dados, foram criadas relações entre os troços e as paragens, recorrendo à funcionalidade Join. A cardinalidade da relação considerada foi de “muitos para um” (n-1), uma vez que a nenhuma, uma ou mais paragens, está associado apenas um troço (da rede).

No seguinte esquema (Figura 36), explicar-se-á a constituição das relações criadas e as próprias relações, em que os registos da origem são vinculados diretamente aos registos da tabela de destino, sem ser necessário a criação de tabelas intermédias para a realização da relação.

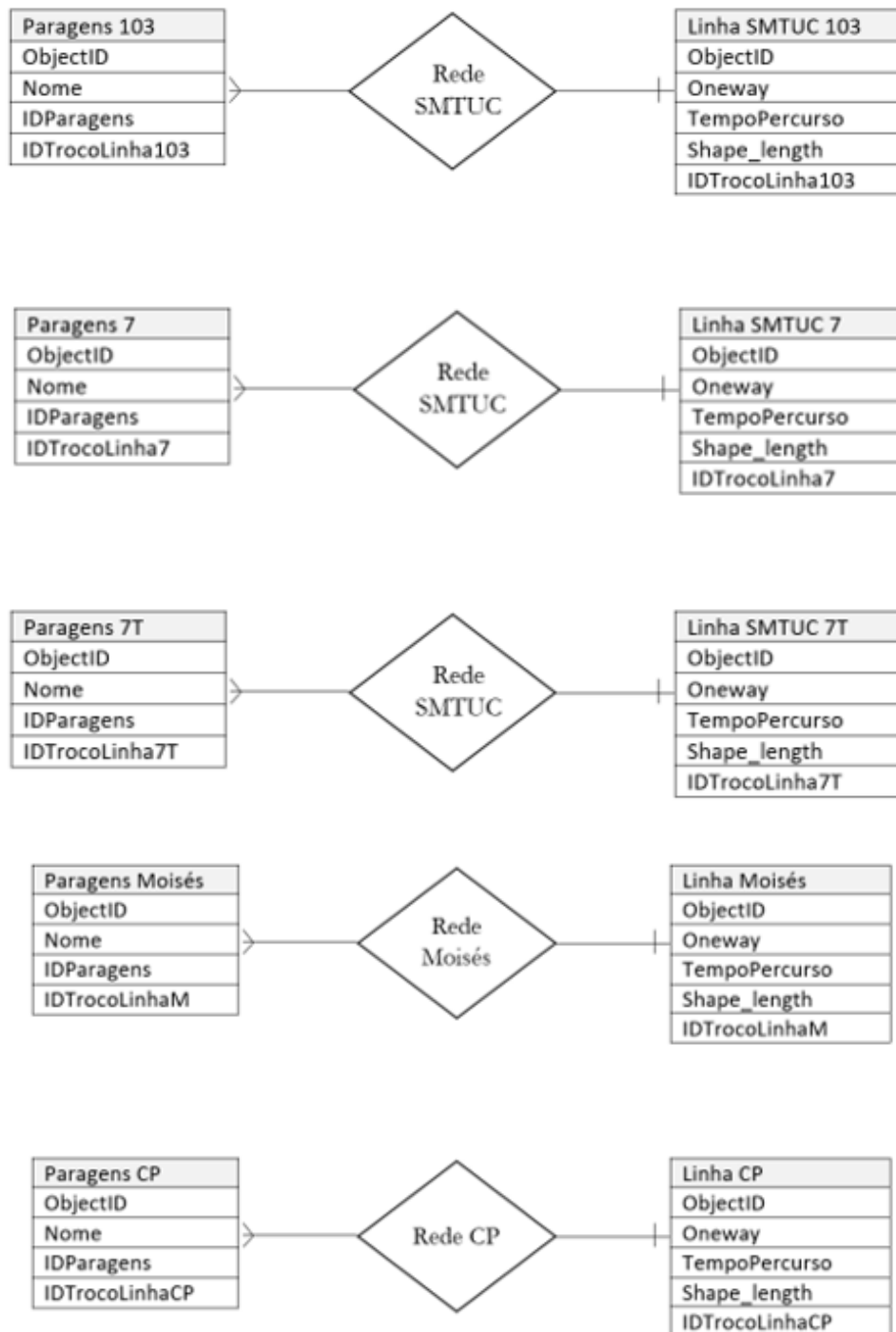


Figura 36- Diagramas Entidade- Relacionamento para a relação n-1.

A operação de junção (Join) reúne duas tabelas usando um campo comum às duas tabelas – uma chave primária numa e uma chave estrangeira na outra. Um exemplo típico é associar dados de atributos de uma ou mais tabelas de dados não espaciais a uma tabela de atributos de entidades para a consulta ou análise de dados (Chang, 2010).

Uma operação de junção é geralmente recomendada para um relacionamento um-para-um ou muitos-para-um. Dada uma cardinalidade de um-para-um, duas tabelas são unidas por registo. Dado um relacionamento muitos-para-um, muitos registos na origem têm o mesmo valor de um registo no destino (Chang, 2010).

Sendo assim, nas tabelas de atributos referente às paragens e estações, foi criado o atributo “IDParagens”, enquanto na tabela de atributos da Feature Class da linha dos SMTUC 7T foi criado o atributo “IDTrocoLinha”. Posto isto, foi adicionado o atributo “IDTrocoLinha” à tabela de atributos das paragens (no exemplo da carreira 7T dos SMTUC), respeitando a relação entre os elementos. Assim sendo, a relação é realizada a partir da Feature Class das paragens.

A chave primária da tabela da Linha (IDTrocoLinha) passa a estar presente na tabela das Paragens, como chave estrangeira e estas relacionam-se a partir da junção delas (Join).

Antes de se começar a implementar a rede multimodal, recorrendo ao Network Analyst, é imprescindível analisar minuciosamente toda a topologia da rede, principalmente as ligações, os troços partidos e os atributos das tabelas, porque todos os pormenores são fundamentais para que a análise geoespacial funcione.

A presente rede revelou-se complexa devido ao pré-processamento dos dados e à criação da topologia.

Foram muitos os erros topológicos que surgiram como, por exemplo, a falta de conectividade entre as redes (erros do tipo *overshoot* e *undershoot*), a ausência de topologia da primeira rede de eixos de via utilizada (por exemplo, em alguns casos foi necessário definir outra rede de eixos de via com a finalidade de ser utilizada como rede pedonal) e o erro de integração da Feature Class “arcos de ligação” na rede. Com isto, ao longo da realização do trabalho, foram criados, eliminados e alterados, por diversas vezes, os atributos da rede.

Sempre que se realiza alguma alteração ou edição na geometria das Feature Classes presentes, tem-se que verificar a topologia e atualizar os dados da tabela de atributos.

Por último, foram criadas quatro Feature Classes (uma Feature para cada cenário), para que a localização da origem e destino fiquem pré-definidas quando se pretender calcular a melhor rota.

Na Figura 37, é possível perceber-se como a deslocação do fluxo é realizada dentro da rede multimodal que se trabalhou, a partir da origem até ao destino.

Deste modo, o passageiro começa a sua viagem na rede pedonal e, de seguida, entra na rede ferroviária, através dos elos de ligação visíveis, entre a rede pedonal, a estação e a rede ferroviária. Por sua vez, ao sair na estação pretendida, poderá entrar na rede rodoviária, através da ligação entre a rede ferroviária e a paragem da rede rodoviária. Percorrendo essa rede, chegará ao seu destino, em que entrará novamente na rede pedonal (não foi representada este último nível).

Daqui, fica claro como é fundamental garantir a interconexão topológica entre as diferentes sub-redes (correspondentes a cada uma das rotas de cada modo de transporte), para que se estabeleça nela o fluxo pretendido.

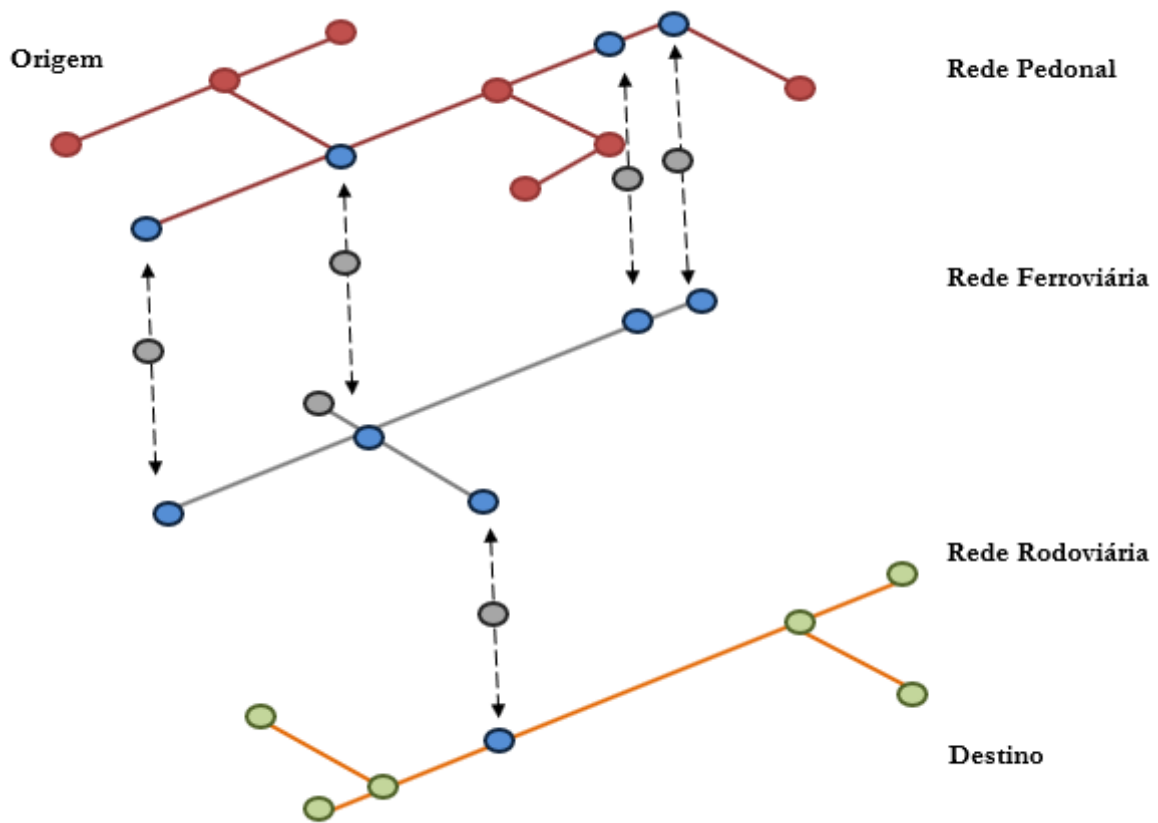


Figura 37- Representação esquemática da deslocação entre os diferentes modos de transporte da rede topológica criada (adaptado de Moraes *et al.*, 2013).

Nas figuras seguintes, está esquematizada a rede multimodal constituída, com o intuito de se ter uma ideia da sua extensão geoespacial.

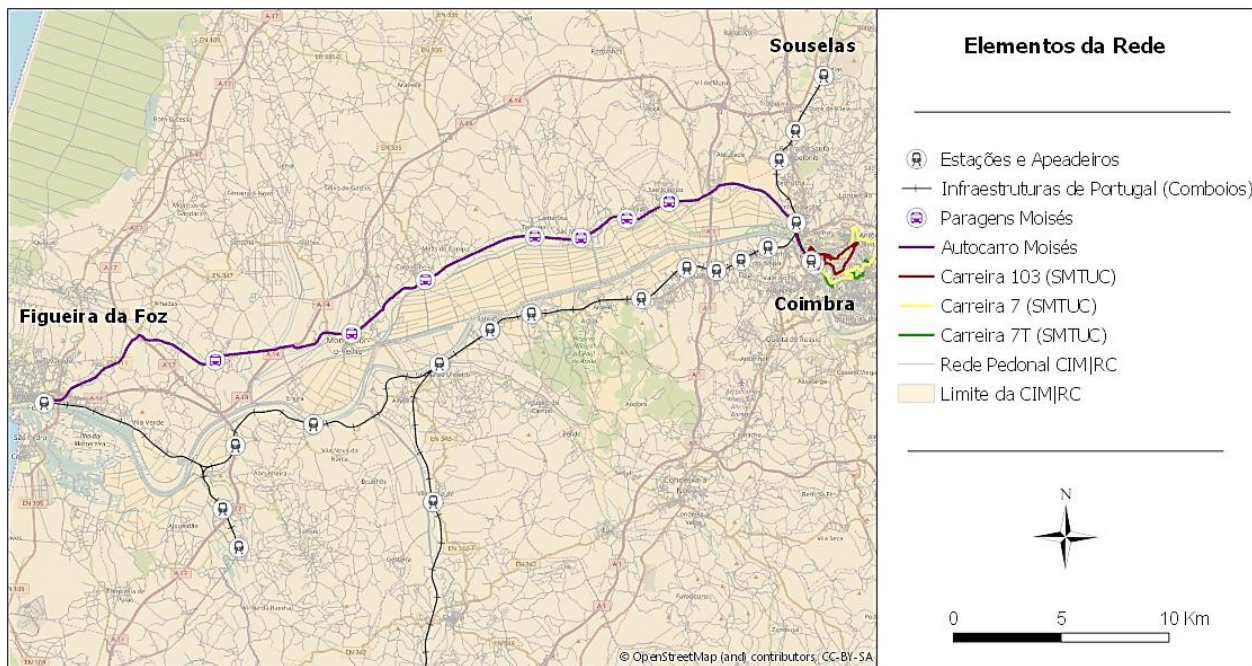


Figura 38- Diferentes modos de transporte (com as suas diferentes rotas e paragens/ estações) da rede constituída.

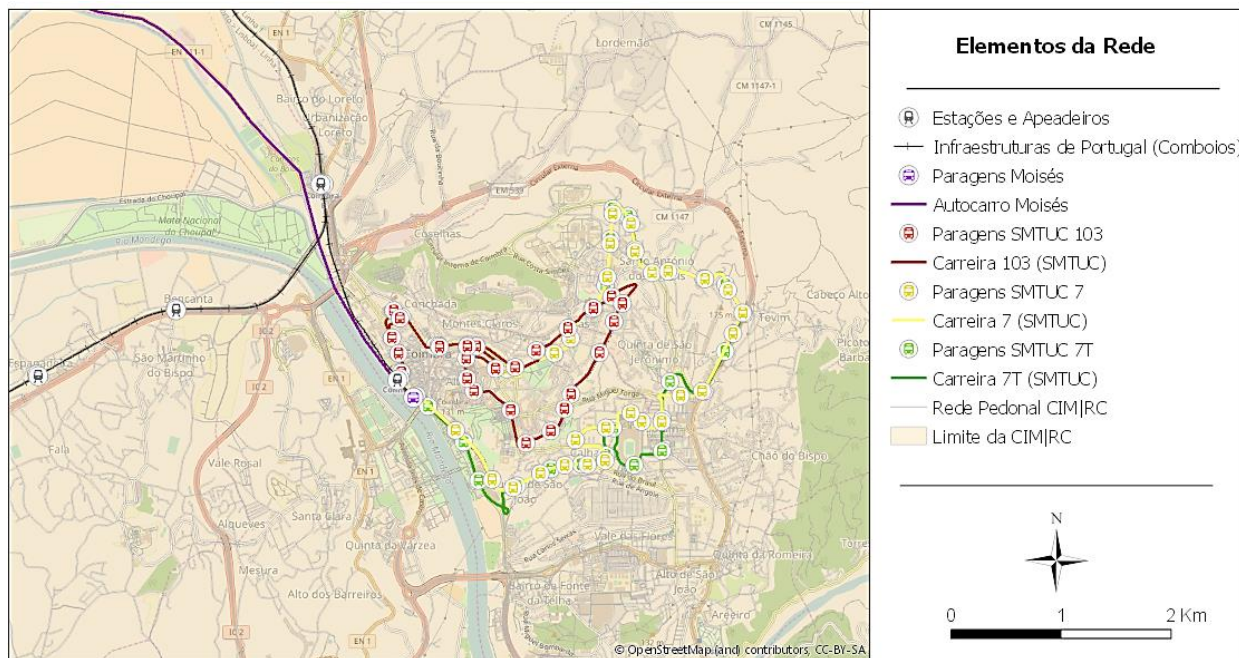


Figura 39- Rotas e respetivas paragens dos SMTUC da rede constituída.

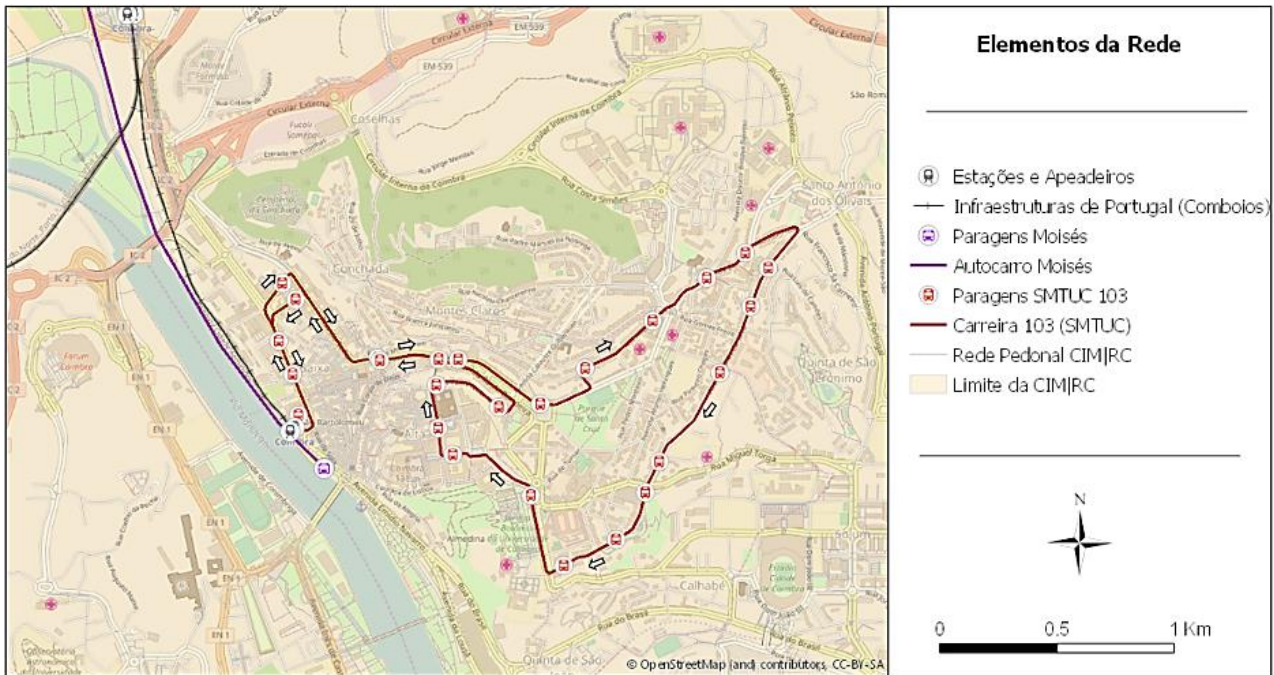


Figura 40- Rotas e respetivas paragens da carreira 103 (SMTUC) da rede constituída.

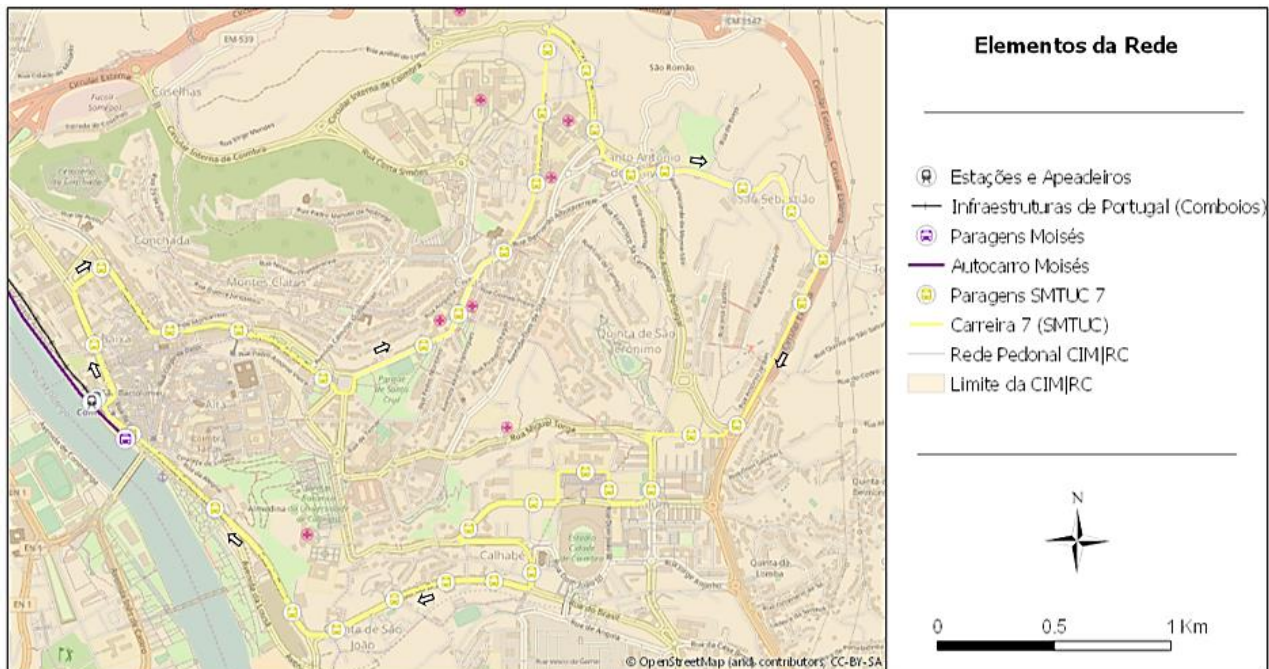


Figura 41- Rotas e respetivas paragens da carreira 7 (SMTUC) da rede constituída.

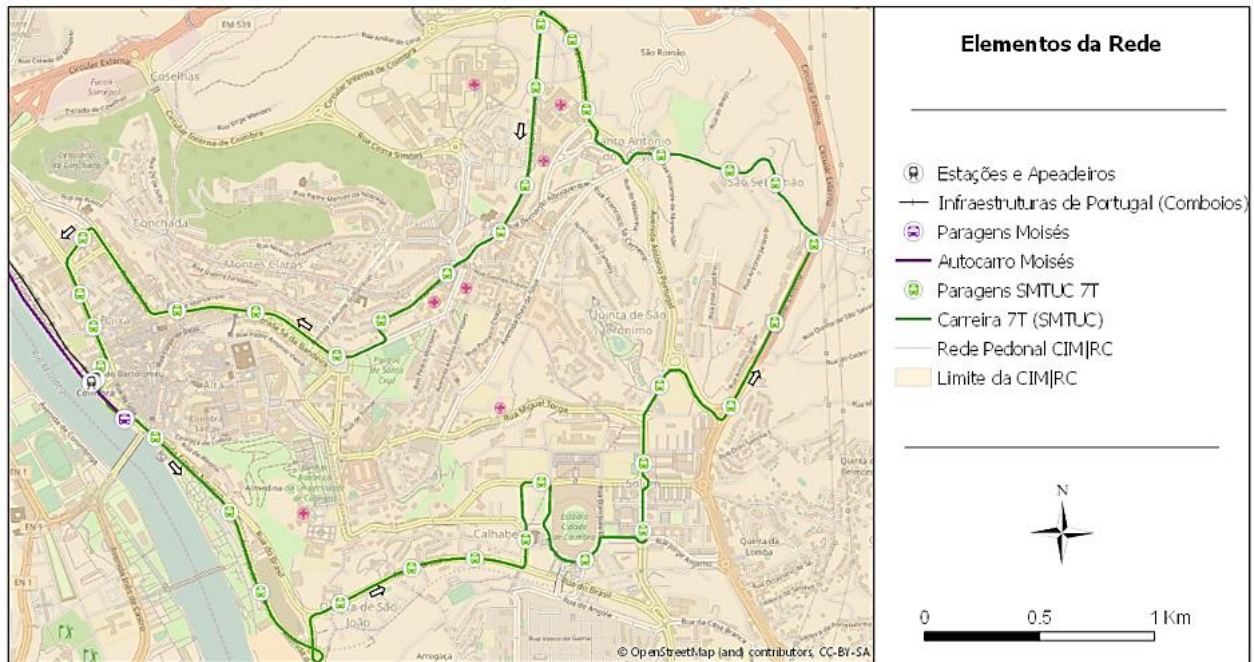


Figura 42- Rotas e respetivas paragens da carreira 7T (SMTUC) da rede constituída.

Na Figura 43, apresenta-se a localização das estações e apeadeiros tidos em conta na rede ferroviária da Região de Coimbra. De forma a simplificar a rede e a respetiva análise, relativamente aos apeadeiros, foram considerados somente os mais significativos.



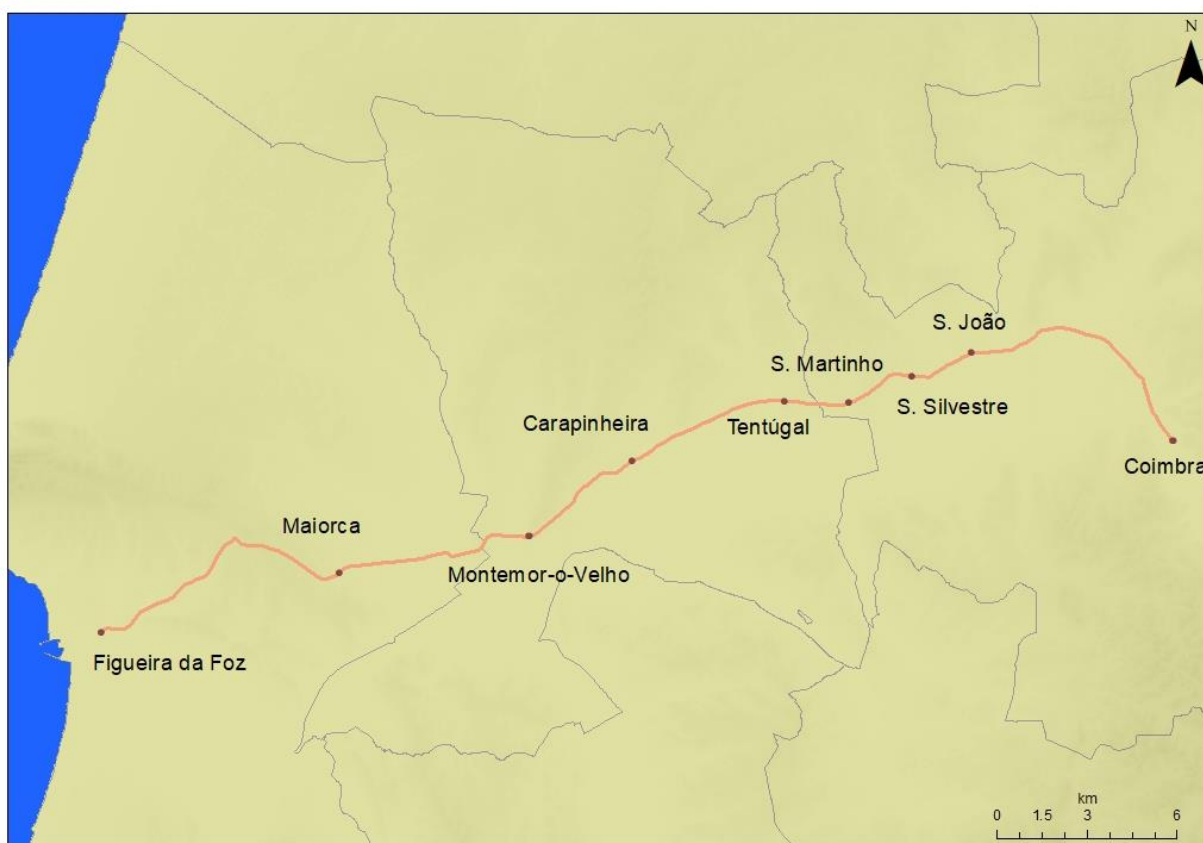
Legenda

— Rede Ferroviária da CIM|RC • CP- Estações e Apeadeiros da CIM|RC ■ Concelhos CIM|RC

Figura 43- Representação das estações e apeadeiros da rede ferroviária da CIM|RC.

Na Figura 44 está representada a rede rodoviária do Moisés e respetivas paragens, entre Figueira da Foz e Coimbra.

No projeto apenas se considerou o trajeto Figueira da Foz - Coimbra efetuado pela empresa Moisés Correia de Oliveira Gestão e Inovação de Transportes.



Legenda

— Moisés Transportes CIM|RC • Paragens Moisés CIM|RC □ Concelhos CIM|RC

Figura 44- Representação das paragens da rede rodoviária Moisés.

4.2.4. Conceção e configuração da rede multimodal

A conceção do projeto envolveu algumas plataformas distintas como é o caso do ArcMap 10.4.1. (aplicativo usado para visualizar, editar, consultar dados geoespaciais e criar mapas virtuais do ArcGIS), do ArcGIS Pro e do ArcGIS Online.

A rede multimodal foi concebida no Network Analyst versão 10.1., uma extensão do ArcGIS que permite implementar redes e posteriormente realizar análises topológicas sobre essas redes.

A ESRI (2017) caracteriza o ArcGIS Network Analyst como uma ferramenta de análise espacial de redes para resolver problemas complexos de rotas. Utilizando um modelo de dados de uma rede transportes, é possível representar, com precisão, as necessidades específicas relacionadas com as redes de transportes. Esta ferramenta pode planear rotas com toda a frota, calcular o tempo de viagem mais curto, localizar instalações e resolver outros problemas relacionados com a rede.

Seguindo a metodologia definida, após a recolha dos dados e informação necessária para a conceção da rede multimodal, recorreu-se ao ArcMap 10.4.1. para: - criar a Geodatabase; - definir a área de estudo, os cenários de estudo e respetivas carreiras de transporte rodoviário; - vetorizar e editar os pontos das estações e paragens e da rede de transportes ferroviário, rodoviário e das transferências entre a rede e o transporte e entre os transportes; - tratar a informação da rede pedonal; - integrar em formato de tabela os horários dos serviços considerados e criar os campos nas tabelas de atributos das paragens e estações, linhas de transporte e das transferência, de forma a caracterizar os dados envolvidos na conceção da rede.

Com o objetivo de explorar outras plataformas e uma vez que o ArcGIS Pro é a nova plataforma da ESRI, desenvolveu-se parte do projeto nesta nova plataforma.

A criação do Network Dataset, apesar de ter sido explorado no ArcGIS Pro, foi realizada no ArcMap, assim como a elaboração dos grupos de conectividade da rede e a atribuição dos atributos de rede.

Porém, a análise da conectividade da rede, a exploração das rotas usando *locations*, pré-definidas no ArcMap e das impedâncias (atributos considerados nas tabelas) e a visualização e interpretação crítica das rotas resultantes para cada cenário proposto, foram concretizadas no ArcGIS Pro.

Como o ArcGIS Pro facilita a disponibilização *online* da informação, e mais uma vez, com a intenção de explorar outras potencialidades dos SIG, integrou-se o projeto da rede multimodal no ArcGIS Online e visualizaram-se novamente os resultados. Como o projeto foi integrado num ambiente acessível via *internet*, nas definições é possível selecionar se pretendemos que a visualização seja privada ou pública. Com esta funcionalidade, há migração de dados que podem ser disponibilizados publicamente para consulta.

De seguida, serão apresentados os procedimentos realizados para a criação do Network Dataset e para o cálculo da melhor rota conforme as impedâncias consideradas.

4.2.4.1. Criação do Network Dataset (ArcMap 10.4.1.)

O Network Dataset é um conjunto de dados que permite modelar uma rede de transportes. Para a criação do Network Dataset, foi criada uma Feature Dataset com todos os elementos constituintes da rede (nome atribuído: “RedeTransportes”), dentro da Geodatabase “RedeMultimodal”.

Segundo a ESRI (2017), a Feature Dataset é uma “coleção de entidades relacionadas que compartilham um sistema de coordenadas comum. A finalidade principal é organizar as entidades

relacionadas num conjunto de dados comum para criar uma topologia, um conjunto de dados de rede, um conjunto de dados de terreno ou uma rede geométrica”.

Com isto, a partir da Feature Dataset (conjunto de entidades) e recorrendo ao ArcCatalog, na secção “New” seleciona-se a opção “Network Dataset” para a criação da rede topológica (Figura 45).

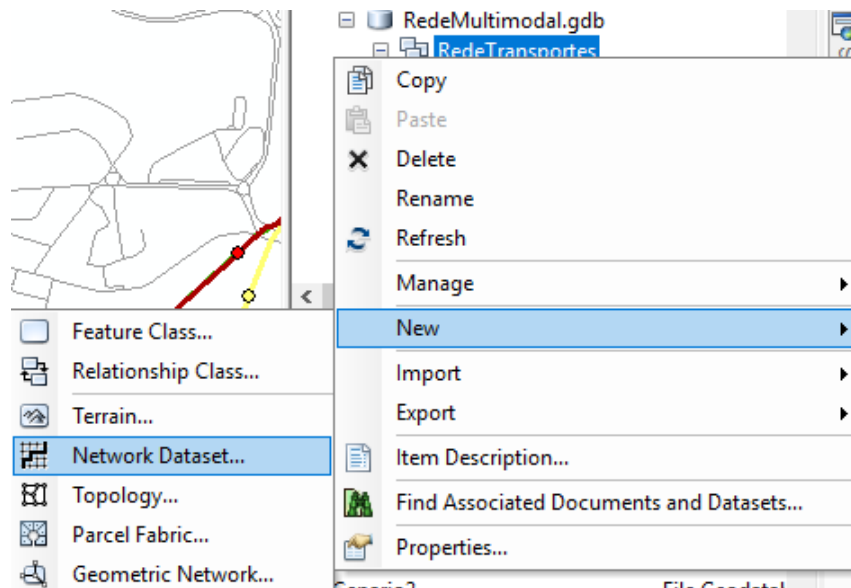


Figura 45: Criação do Network Dataset (passo número 1- criar novo Network Dataset).

Neste trabalho, a rede passou a ser denominada por “RedeTransportes_ND”. Neste assistente, temos referido que um conjunto de dados de rede é construído a partir de entidades (Feature Classes) que atuam como fontes de rede e possuem uma política de conectividade e atributos associados a eles (Figura 46).

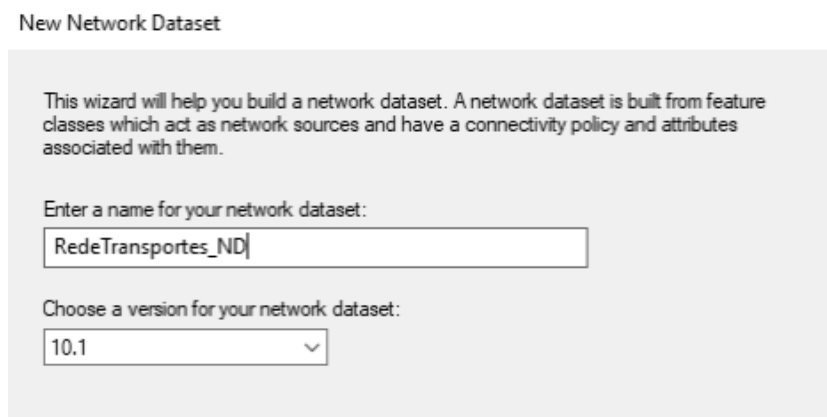


Figura 46- Criação do Network Dataset (passo número 2- atribuição de um nome à rede).

Os conjuntos de dados de rede (Network Dataset) são adequados para modelar redes de transporte. Eles são criados a partir de dados de origem, que podem incluir dados simples (linhas e pontos) e viragens (Turns). A análise executada na extensão do ArcGIS, Network Analyst, é sempre realizada num Network Dataset (ESRI, Network Analyst, 2017).

De seguida, procede-se à seleção das Feature Classes que entrarão na rede e a respetiva conectividade entre elas.

A conectividade na extensão do ArcGIS Network Analyst começa com a definição de grupos de conectividade. A cada segmento é atribuído um grupo de conectividade e a cada vértice pode ser atribuído um ou mais grupos de conectividade. A forma como os elementos da rede se conectam depende dos grupos de conectividade atribuídos e podem ser fulcrais no resultado final da rede (ESRI, Network Analyst, 2017).

Em ESRI Network Analyst (2017) encontramos uma situação que exemplifica a importância dos grupos de conectividade: “dois arcos criados a partir de duas Feature Classes de origem distintas podem-se conectar, caso estejam no mesmo grupo de conectividade. Se não ocorrer, os segmentos não serão conectados, a menos que sejam unidos por uma junção que participe nos dois grupos de conectividade”.

Segundo Miller and Shaw (2001), numa rede os nós garantem a conectividade e é neles que são estabelecidas as regras de conectividade, fundamentais para a correta modelação da rede. Os grupos de conectividade são usados para interligar os sistemas de transporte multimodal. Para cada grupo de conectividade, selecionam-se as origens da rede que se interconectam.

Assim, nas regras de conectividade, um elemento do tipo arco apenas se liga a outros arcos que pertencem ao mesmo grupo de conectividade, enquanto os nós podem ser atribuídos a um ou mais grupos de conectividade, permitindo que arcos de diferentes grupos fiquem conectados (Miller and Shaw, 2001). As regras de conectividade são fundamentais para o bom funcionamento de uma rede.

No caso de estudo considerado, foram criados dois grupos distintos de conectividade em que, no primeiro grupo de conectividade, estão presentes os elementos referentes à rede ferroviária, à rede rodoviária Moisés, à rede rodoviária SMTUC e às transferências entre paragens e rede e entre os transportes. No segundo grupo de conectividade, encontramos a rede pedonal que é interconectada com os elementos do primeiro grupo, a partir do elemento “entrada” (Figura 47).

As regras de conectividade dos nós podem ser do tipo *honor* ou *override*. Na construção do Network Dataset, na secção da conectividade, aparece, por omissão do tipo *honor*, em que honra as políticas de conectividade dos arcos. Porém, existem situações em que não se deve considerar esse tipo de conectividade como, por exemplo, quando uma rede de transporte público rodoviário está combinada com a rede viária, a rede rodoviária possui uma política de conectividade de *end point* nos

seus arcos e, se surgir a necessidade de colocar uma paragem num vértice intermédio, será necessário inserir uma política de nós *override*, para eliminar o comportamento estabelecido da ligação do nó a um arco (ESRI, Network Analyst, 2017).

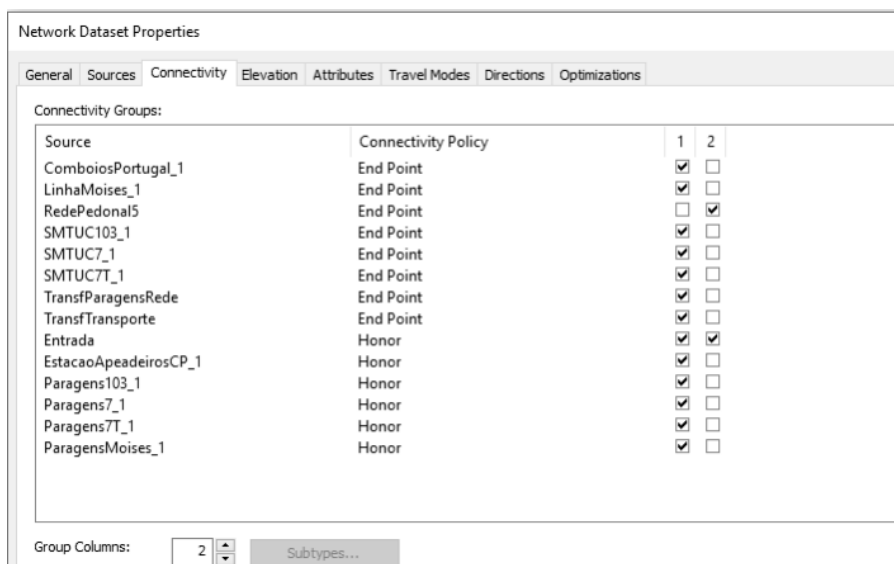


Figura 47- Criação do Network Dataset (passo número 3 – definição da conectividade).

De referir que a Feature Class “entrada” foi criada de forma a unir a rede pedonal às redes de transporte, uma vez que a quebra do arco da rede pedonal, é o local em que é possível entrar na rede de transportes (Figura 48).



Figura 48- Exemplificação da constituição da rede e do elemento “entrada”.

Os atributos criados e editados de forma a servirem como impedância (custo em percorrer um segmento de um extremo ao outro) foram a distância (total), a distância pedestre, o preço da viagem e o tempo de percurso. Os atributos “Oneway” e “Meters” (que foi editado para distância), ao chegarmos a esta fase, aparecem como padrão, uma vez que são atributos comuns a muitos dos elementos (Figura 49).

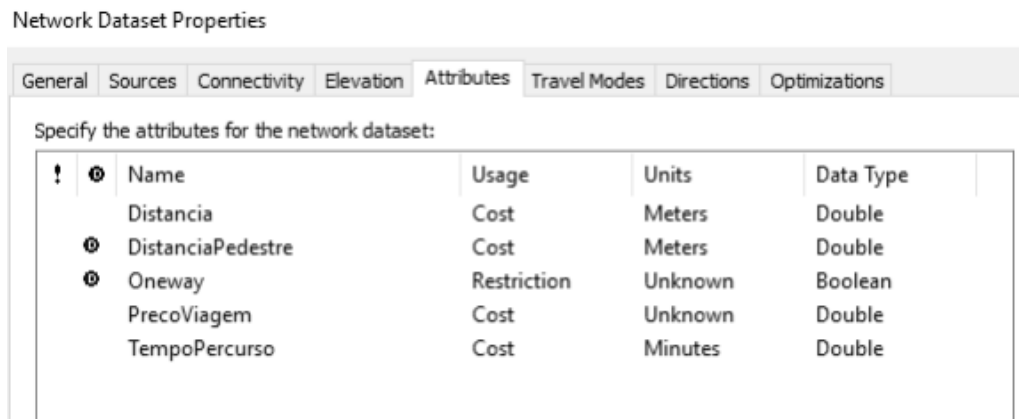


Figura 49- Criação do Network Dataset (passo número 4 – criação e edição dos atributos).

Os atributos são editados nos avaliadores (Evaluators) e, desta forma, no atributo “distância”, o valor associado a todos os elementos foi “shape_length”, exceto aos de geometria ponto (paragens, estações e entrada), aos quais não foi atribuído qualquer valor.

À distância pedestre, apenas se atribuiu ao elemento “RedePedonal” o valor de “shape_length”, enquanto que aos restantes elementos (exceto os de geometria ponto) foi atribuído um valor constante de 0 (não se usou o valor -1 porque, nesse caso, os elementos não entravam na rede) (Figura 50).

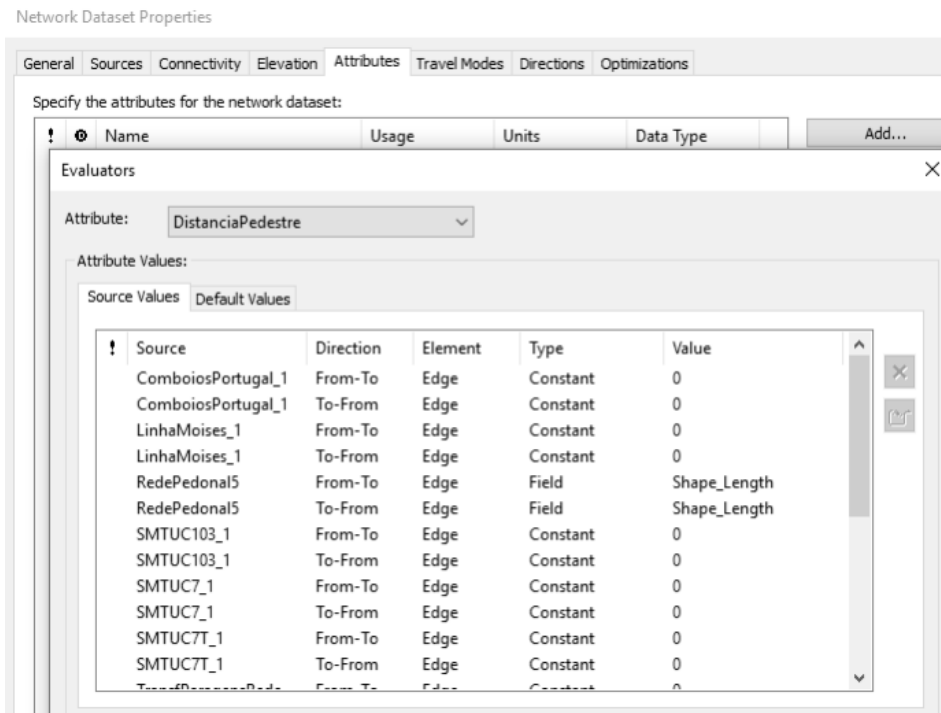


Figura 50- Criação do Network Dataset (impedância distância pedestre).

Relativamente ao atributo “preço da viagem”, nas Feature Classes de geometria linha (rede ferroviária e rodoviária), foi selecionado o valor do campo “precoViagem”, uma vez que este campo foi inserido na tabela de atributos e é acumulado aquando do cálculo da rota.

À Feature Class “RedePedonal” foi atribuído o valor constante de 0, uma vez que entra na rede, mas não tem um preço atribuído (Figura 51). Outra forma de trabalhar o valor da “RedePedonal” era a criação, igualmente, de um campo na tabela de atributos “PrecoViagem” em que era inserido o valor 0 em todos os arcos.

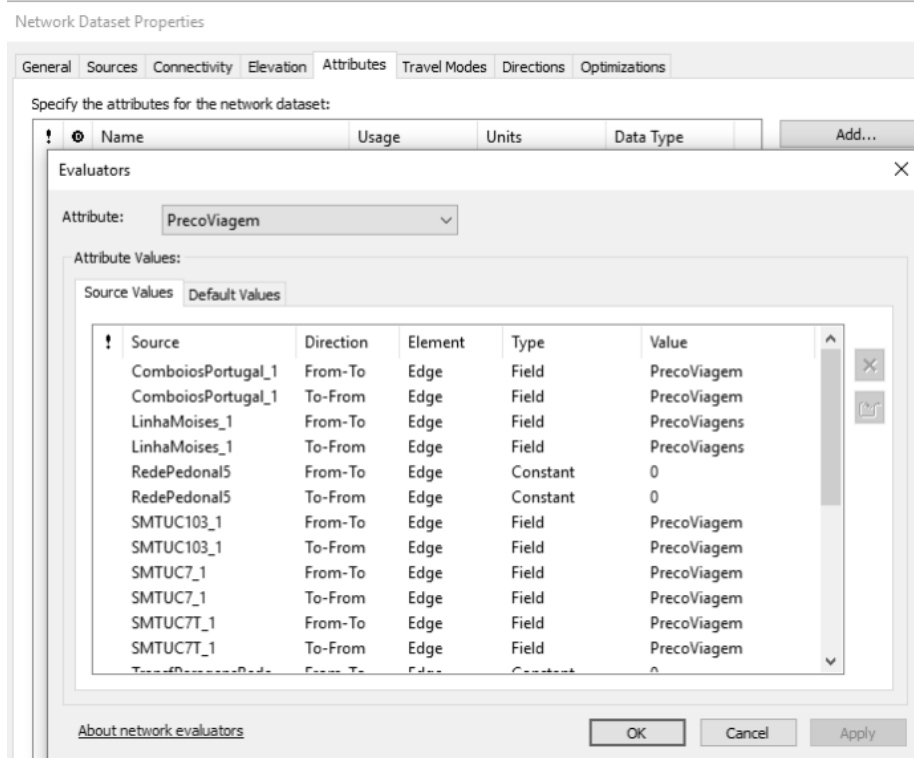


Figura 51- Criação do Network Dataset (impedância preço da viagem).

Com a impedância do tempo de percurso, foi atribuído o valor “TempoPercurso” a todos os elementos lineares, sem exceção (Figura 52).

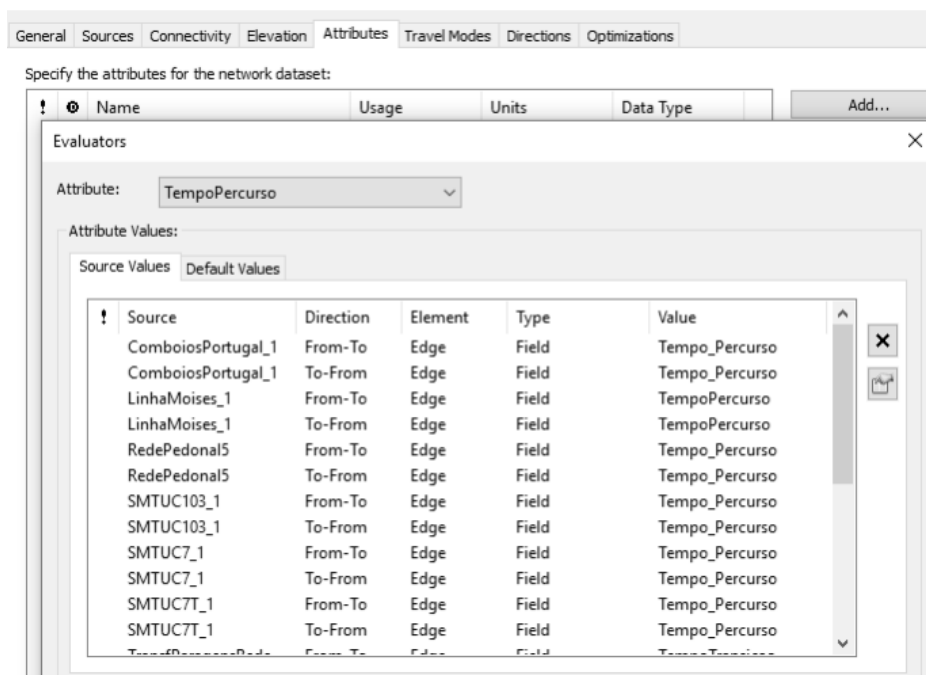


Figura 52- Criação do Network Dataset (impedância tempo de percurso).

Relativamente às Feature Classes pontuais (paragens e estações), foi adicionado o valor de “TempoEspera”, que se refere ao tempo de espera, nas paragens ou estações, pelo transporte e faz parte do tempo total do percurso (Figura 53).

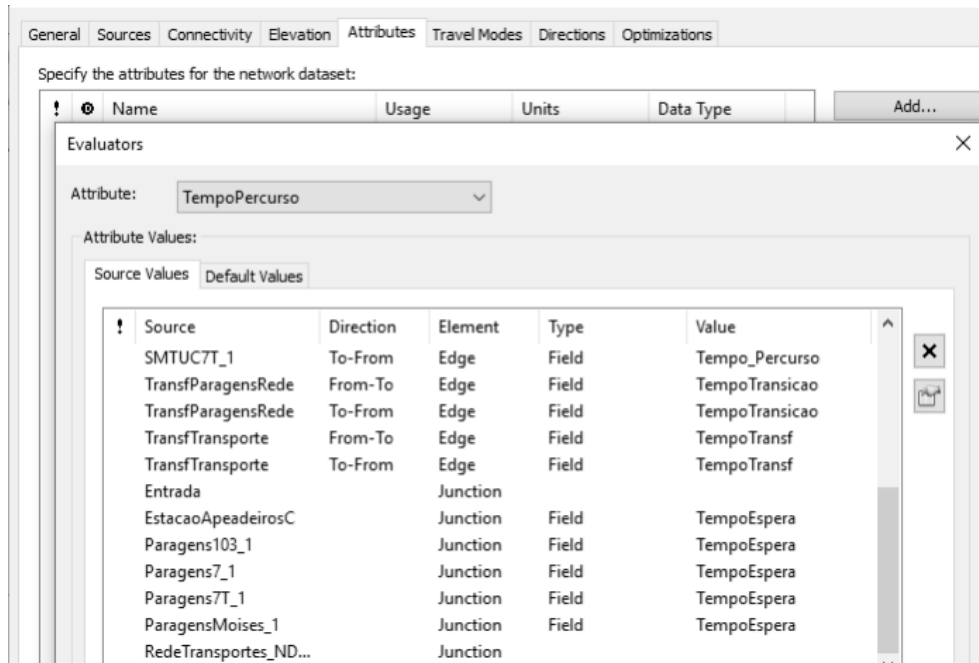


Figura 53- Criação do Network Dataset (impedância tempo de percurso com valor tempo de espera).

Nas propriedades de dados da rede é possível definir o nome do atributo, o seu uso, as unidades e o seu tipo de dados. Nos avaliadores, trabalha-se o comportamento dos atributos na rede, que serão descritos de seguida (Tabela 7).

Tabela 7- Tabela descritiva dos avaliadores presentes (adaptado de ESRI Network Analyst, 2017).

AVALIADOR	DESCRIÇÃO
Field evaluator	A maneira mais comum de atribuir valores a um atributo de rede é identificando um único campo que será usado para avaliar o atributo de rede quando o conjunto de dados de rede for criado. Por exemplo, um avaliador de campo pode ser usado nos casos em que o valor descreve uma medida, como o comprimento de cada segmento de estrada em metros.
Field expression evaluator	O avaliador de campo pode ser modificado para obter uma expressão de campo como o valor em vez de um único campo. Nesse caso, cria-se uma expressão na caixa de diálogo Field Evaluator usando VBScript ou Python. Por exemplo, se as unidades do atributo de rede estiverem em metros, mas as unidades de dados de origem estiverem em pés, pode-se criar uma expressão para converter os pés em metros quando o conjunto de dados de rede for criado.
Constant evaluator	Atributos podem ser atribuídos a um valor constante. O valor pode ser numérico (0, 1, 2) para atributos de custo, descritor e hierarquia, ou um tipo de dados booleano de Restrição de Uso ou Restrição de Ignoração para um atributo de restrição.
Function evaluator	O avaliador de funções calcula valores de atributos executando uma função multiplicativa ou lógica noutro valor de atributo ou valor de parâmetro. Para tipos de atributos numéricos, os valores são derivados de uma expressão que multiplica o valor de outro atributo por algum valor, por exemplo, DriveTime x 1.25.

Como último passo, temos a oportunidade de trabalhar as propriedades das direções que consiste em escolher as informações que irão aparecer como instruções de deslocação do ponto A ao ponto B.

Citando ESRI (2017), as direções são “instruções passo-a-passo sobre como navegar numa rota. Elas podem ser criadas para qualquer rota gerada a partir de uma análise de rede, desde que o conjunto de dados da rede os suporte”. Os requisitos mínimos para um conjunto de dados de rede poder oferecer suporte a rotas são os seguintes (ESRI, Network Analyst, 2017):

- Um atributo Length com unidades de comprimento;
- Pelo menos, um segmento; e
- Pelo menos, um campo de texto no segmento;

As unidades usadas para descrever as rotas e os campos usados para identificar as ruas podem ser modificados no guia geral (Figura 54).

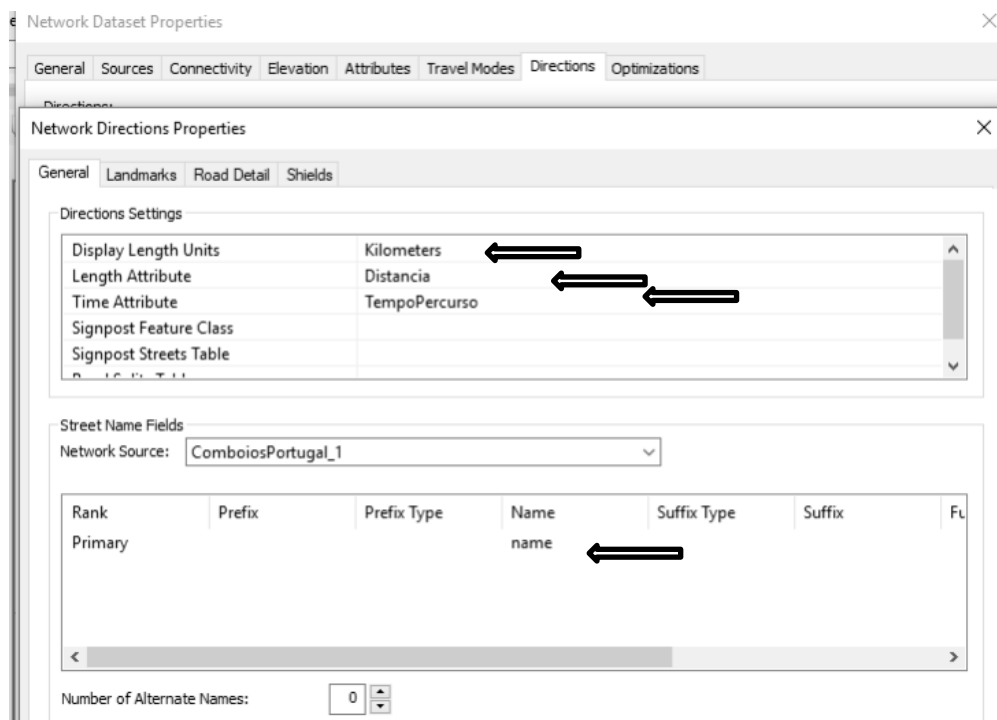


Figura 54- Criação do Network Dataset (passo número 5- propriedades das direções).

As rotas geradas a partir do cálculo da melhor rota, são personalizáveis no conjunto de dados da rede. Isso significa que os nomes das ruas usados para o relatório de direções são armazenadas e podem ser modificadas para personalizar as indicações das rotas.

Após concluir este passo (número 5), a rede será construída e, durante esse processo, a conectividade e topologia são verificadas. Se a rede não estiver topologicamente relacionada, aparecerá uma mensagem a informar do erro, detalhadamente.

Os erros mais frequentes da construção da rede são (adaptado de ESRI, 2017):

- A geometria está vazia;
- A geometria da entidade tem comprimento zero;
- Nenhuma política de conectividade foi encontrada;
- A entidade de geometria linha tem menos de dois vértices;
- Uma junção não pode ser encontrada.

Na concepção da nossa rede foram, inicialmente, detetados dois erros que consistiram no facto da geometria de um elemento estar vazia e na inexistência de uma política de conectividade, uma vez que alguns elementos da rede não estavam topologicamente conectados. Os erros encontrados e descritos foram corrigidos de forma a permitir a criação do Network Dataset pretendido.

4.2.4.2. Cálculo do caminho mais curto (ArcGIS Pro)

O Network Analyst permite executar análises em conjuntos de dados de rede. Essas análises incluem encontrar caminhos mais curtos, polígonos de tempo de viagem e instalações mais próximas.

No *software* ArcGIS Pro, foram calculadas as rotas para os quatro cenários, conforme a impedância selecionada, tendo como opção:

- Tempo do Percurso (escolha da rota com menor tempo de percurso);
- Distância (escolha da rota com menor distância total);
- Distância Pedestre (escolha da rota com menor distância pedestre);
- Preço da viagem (escolha da rota com menor tarifa associada).

De forma a que o cálculo de rotas nos cenários coincidissem para as quatro impedâncias, foram criadas previamente quatro Feature Classes que correspondem aos quatro cenários. Nessas Feature Classes temos o ponto de origem e o de destino e, no caso do cenário 4, o ponto de origem, o intermédio e o de destino.

Com isto, na construção da melhor rota, é possível escolher o cenário (Stops) pretendido para a análise, importando a Feature Class do cenário em causa.

Na ferramenta de análise de rota, não só se encontram os caminhos mais curtos entre os pontos de origem e destino para produzir uma única rota (cenário 1, cenário 2 e cenário 3), como também é possível encontrar rotas que visitem vários pontos na ordem que se especificar (cenário 4), encontrar rotas que otimizem a sequência de paragens (Stops) para reduzir o custo da viagem e gerar várias rotas numa análise apenas.

Os parâmetros que se devem definir na camada de análise para o cálculo do caminho mais curto (melhor rota), serão apresentados de seguida.

No ArcGIS Pro, temos a secção Analysis na barra superior que, ao ser seleccionada, oferece o acesso à opção “Network Analyst”, tendo como opção de escolha as seguintes análises: área de serviço, rota, instalação mais próxima, alocações de localização e matriz de custo de origem- destino.

Para o nosso caso de estudo, apenas se utilizou a análise de rota, que calcula o caminho mais curto perante a impedância seleccionada.

Para iniciar a análise da rota, temos a possibilidade de importar a Feature Class (Import Stops) com o ponto de origem, intermédio (se existir) e destino de cada cenário.

No seguinte exemplo (Figura 55), demonstra-se o preenchimento da secção “Import Stops”, em que, inicialmente, se selecciona a camada de análise de rota presente no projeto (Route), se escolhe a categoria da segunda camada de análise, neste caso serão as paragens (Stops), e se escolhe a camada com as paragens (neste caso, cenário 1).

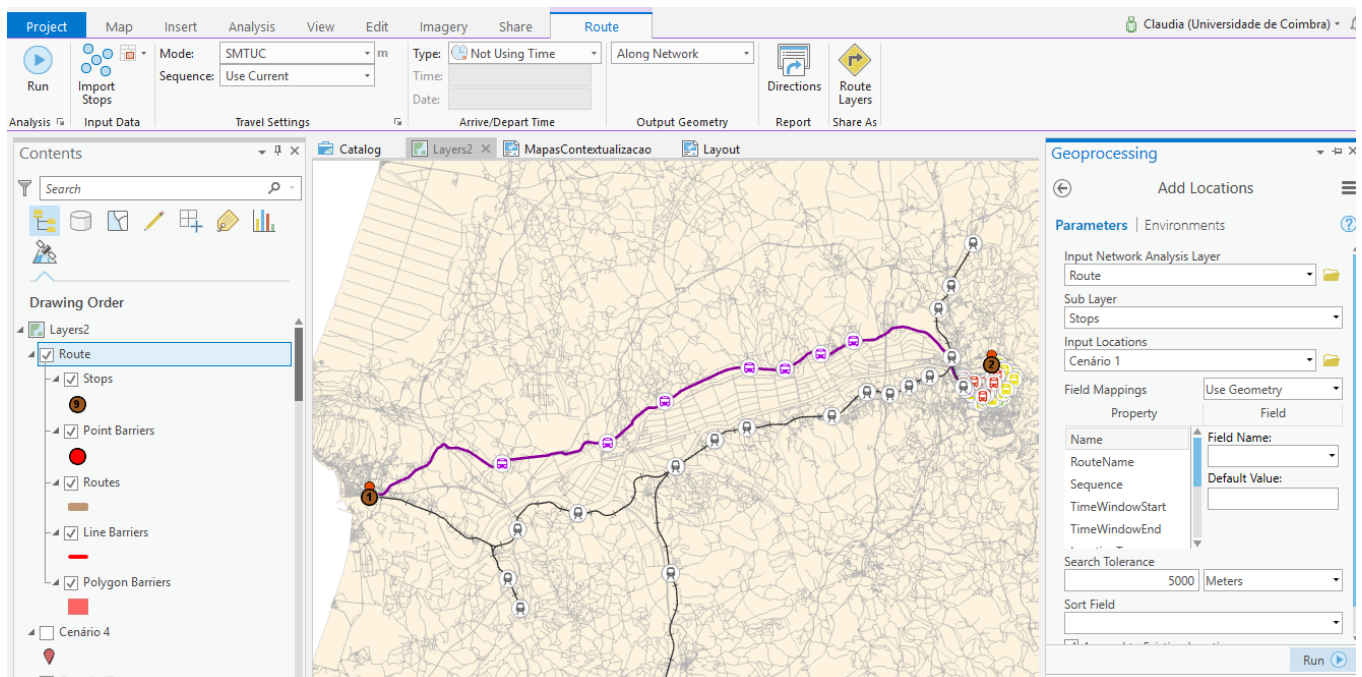


Figura 55- Importação das paragens do cenário para análise e respetiva representação na rede.

De referir que também é possível selecionar as propriedades utilizadas da camada e os metros de tolerância para a procura da rota. A tolerância escolhida foi a de padrão (5000 metros), embora o valor não tenha sido alcançado porque na definição dos cenários houve a preocupação de os aproximar à rede pedonal. A tolerância de procura de resultados da rede é a distância permitida para calcular a rota, entre o ponto selecionado e a entrada na rota. No exemplo apresentado, a distância é de 2,75 metros entre o ponto selecionado e a rota (Figura 56), por isso entrará na rota.

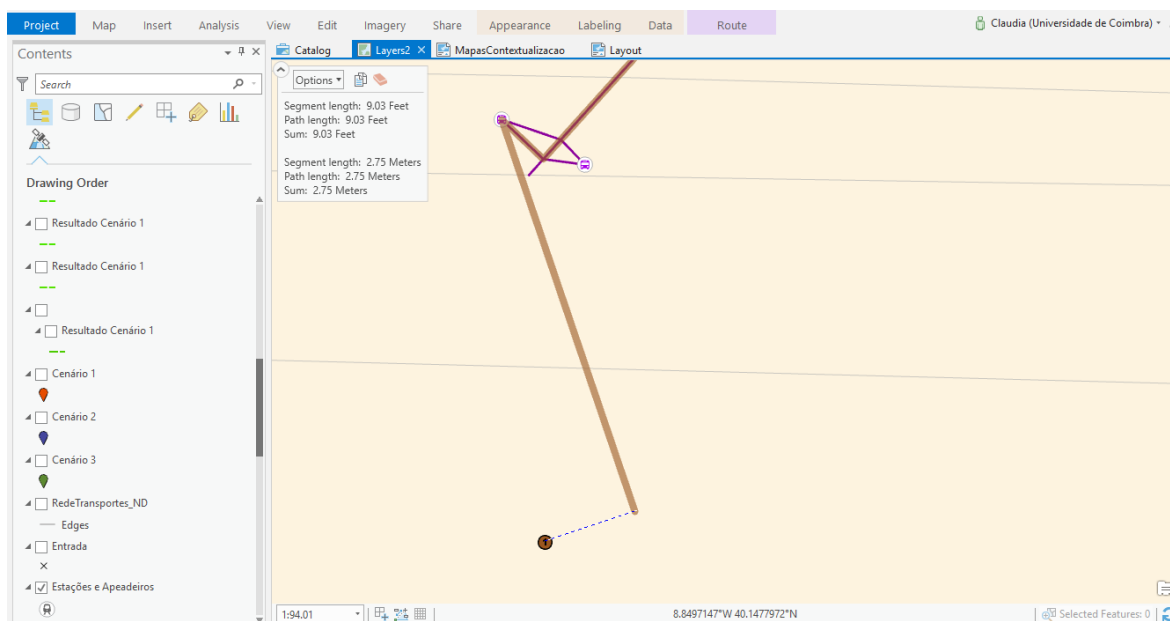


Figura 56- Cálculo da distância (metros) entre o ponto selecionado e a entrada na rota.

Depois destas escolhas, é possível definir as propriedades da rota, conforme o pretendido. No caso do cenário 1, a primeira impedância tida em conta foi a Distância Pedestre e o custo de tempo foi o atributo Tempo de Percurso (Figura 57).

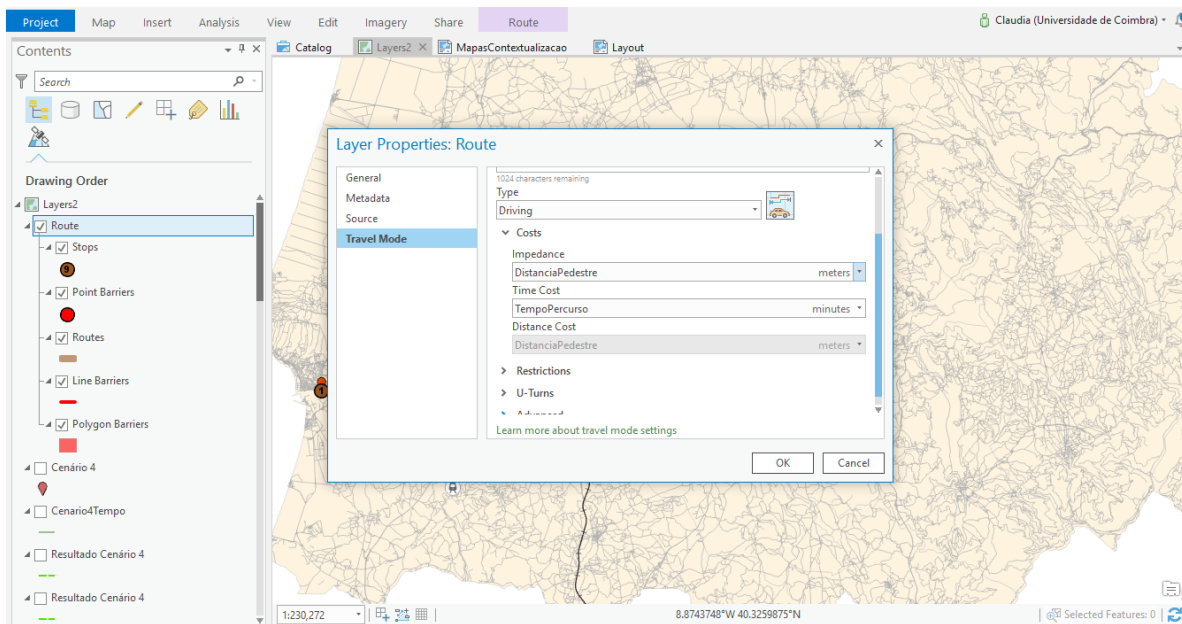


Figura 57- Definição das propriedades da camada da rota.

Na secção da rota, para além da importação das paragens, é possível seleccionar também o modo, a sequência e o tempo.

No modo é possível escolher um modo de viagem, que é um grupo de configurações que modelam a deslocação pedestre, de carros, de autocarros e de comboios, entre outros. As opções disponíveis na lista dependem dos modos de viagem configurados na construção da rede. Os modos de viagem num conjunto de dados de rede podem ser a pé, em carros particulares/táxi, autocarros, comboios ou outro meio de transporte que se movimenta na rede.

A sequência é a opção de preservar todas, algumas ou nenhuma das sequências de paragens, ou seja, no “uso corrente”, preserva-se a ordem da paragem relativa ao campo da sequência das paragens, aquando da criação da Feature Class. Na opção de sequência “encontrar a melhor”, não se preserva nenhuma sequência, o que significa que a rota pode começar em qualquer ponto de forma a encontrar a rota mais curta possível. Na opção de “preservar o primeiro e último ponto”, o percurso começa e termina na primeira e última paragem, respetivamente e as paragens intermédias são reordenadas para encontrar a rota mais curta possível. Existe também a opção de “preservar a primeira paragem” e a de “preservar a última paragem”, em que a rota começa na primeira paragem ou na última, respetivamente, e reordena todas as restantes com a finalidade de encontrar a rota mais curta possível. A sequência utilizada neste projeto foi a de “uso corrente”, de forma a preservar a sequência das paragens criadas.

Relativamente ao tempo, a lista é ativada quando as unidades de custo são baseadas em tempo. Para isso, é possível escolher se um valor de data e hora específico é fornecido para indicar a que horas

a rota ou as rotas partem da primeira paragem. Porém, este problema é mais complexo do que o apresentado e será desenvolvido num próximo tópico deste trabalho.

Após todas as definições consideradas, calculamos a rota selecionando a opção “Run” e como resultado para o exemplo apresentado, temos o seguinte (Figura 58 e Figura 59):

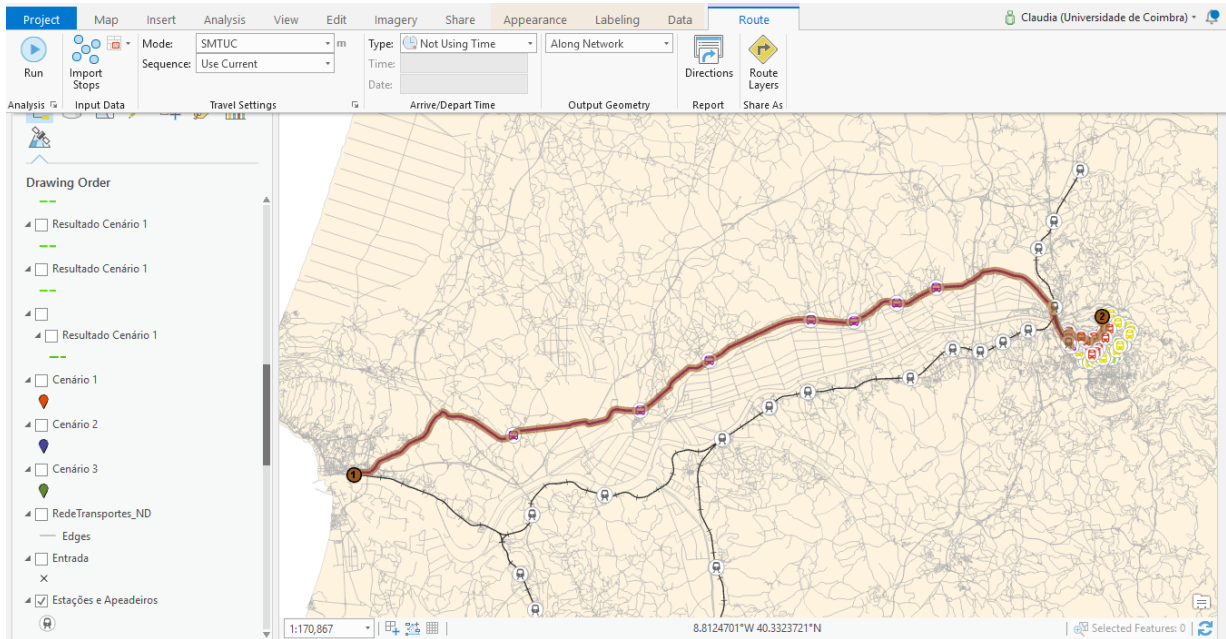


Figura 58- Resultado do exemplo apresentado (Cenário 1 com a impedância Distância Pedestre).

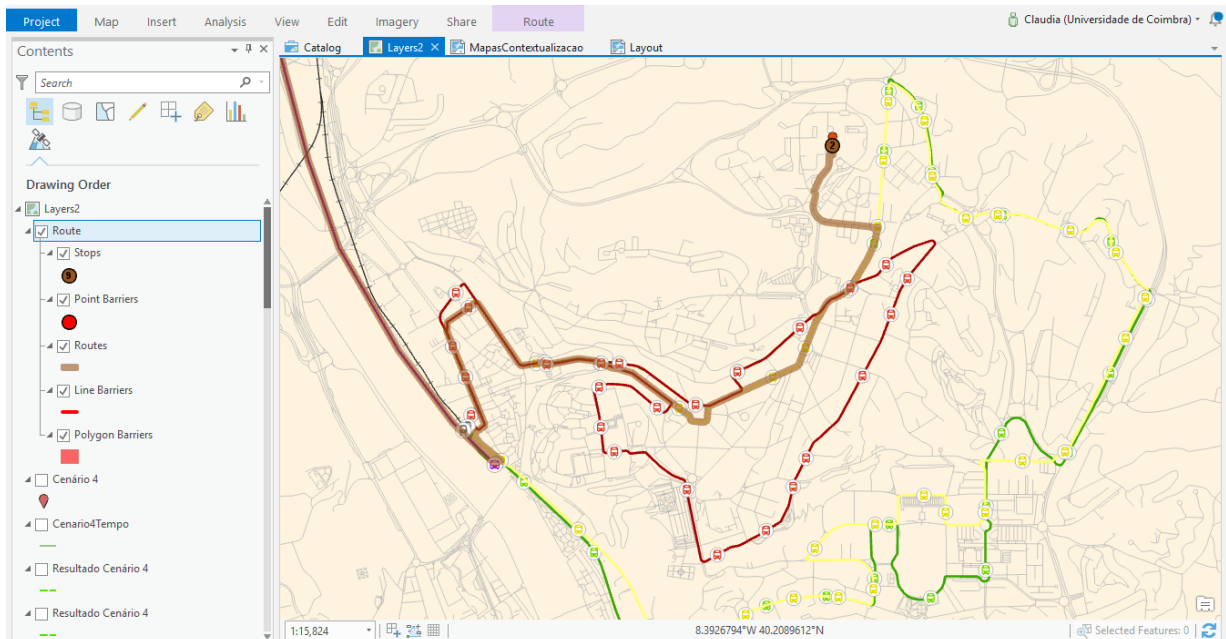


Figura 59- Resultado do exemplo apresentado ao pormenor do destino (Cenário 1 com a impedância Distância Pedestre).

Com o cálculo da rota, podemos, no grupo dos relatórios, gerar as direções para cada solução da rota e guardar a rota resultante para posterior utilização (Figura 60).

A direção consiste na geração de direções passo-a-passo, a partir de uma camada de análise de rede com rotas. As instruções podem ser gravadas num arquivo no formato de texto (XML, TXT ou HTML).

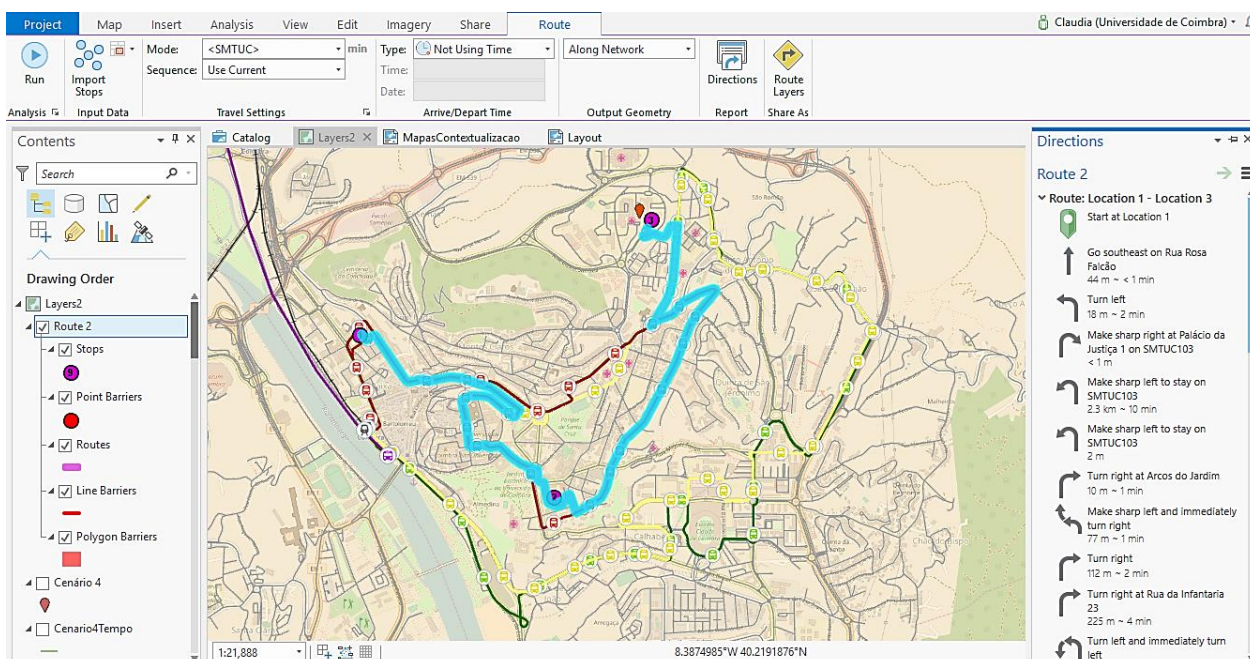


Figura 60- Direções resultantes da rota do Cenário 4 com menor tempo de viagem

De notar que é possível consultar a tabela de atributos da rota (Figura 61) e, desta forma, consultar as impedâncias acumuladas (distância pedestre, distância total, tempo de viagem e preço da viagem).

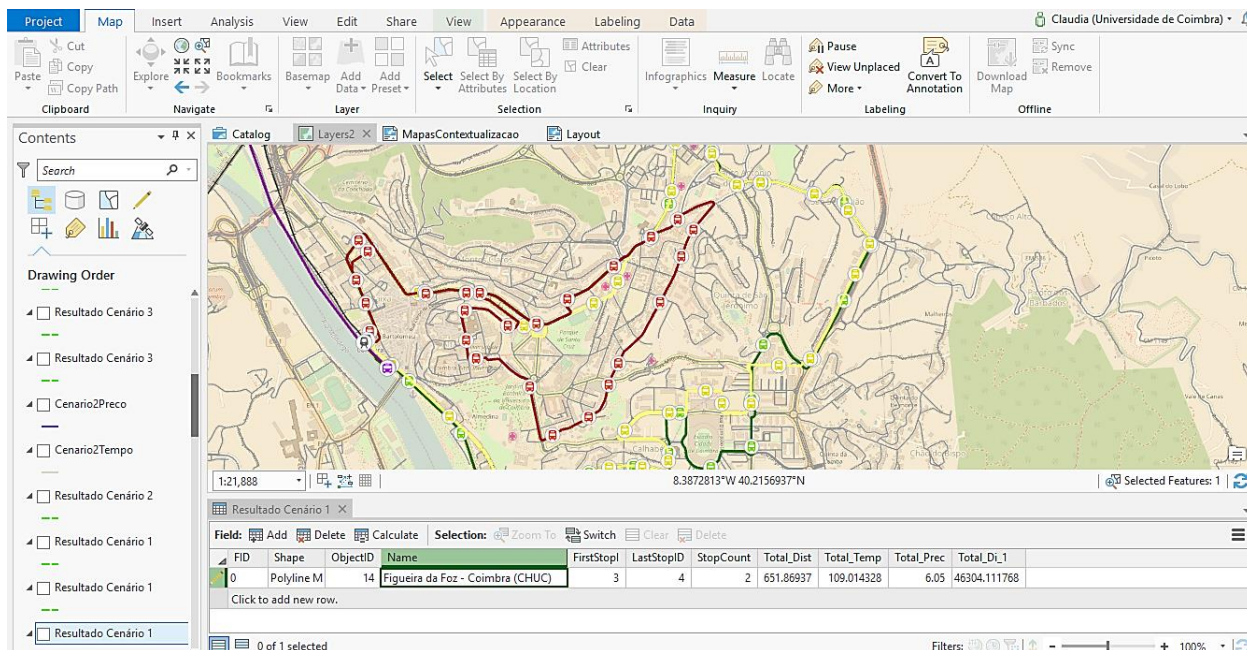


Figura 61- Tabela de atributos da rota do Cenário 1 com menor distância pedestre.

4.2.4.3. Implementação dos horários dos transportes

Um dos objetivos do trabalho é a integração dos horários dos transportes no projeto, para que quando o utilizador definir a hora e dia do mês/ dia da semana, o sistema lhe devolva um resultado com o transporte e o respetivo horário, que vá ao encontro das impedâncias pré-definidas por si.

Este objetivo revelou-se bastante complexo uma vez que a extensão Network Analyst não está preparada para este género de análise nos transportes públicos coletivos. Com isto, no decorrer do trabalho, foram testadas diversas metodologias para a integração dos horários na rede de transportes.

A primeira a ser testada foi a Janela do Tempo no Network Analyst. A Janela do Tempo é um período entre um horário inicial e final, no qual um local de rede, como uma paragem numa análise de rota, deve ser visitado por uma rota. Porém, esta solução não se adequa ao nosso objetivo, mas sim ao problema de roteamento de rotas e veículos (o conhecido “Route and Vehicle Routing Problem” – VRP) uma vez que o objetivo é planear uma rota em que se visitam todos os locais definidos (por exemplo, entrega de mercadorias em restaurantes), minimizando o custo operacional geral da frota de veículos. Desta forma, o solucionador de rotas do ArcGIS Network Analyst encontra as melhores rotas para uma frota de veículos, fazendo uma gestão da rede e não respeitando, necessariamente, a ordem estabelecida de visitas aos locais, mas sim a ordem que melhor se adequar.

Não obstante, mesmo conhecendo o entrave à utilização das Janelas do Tempo, decidiu-se adaptar este recurso ao nosso projeto. Deste modo, nas camadas das estações e paragens dos transportes, acrescentou-se à tabela de atributos as colunas Sequência, TimeWindowStart (mm/dd/yy hh:mm:ss AM/PM) e TimeWindowEnd (mm/dd/yy hh:mm:ss AM/PM) ou apenas as horas (hh:mm:ss) para os dois casos.

O TimeWindowStart é a hora de início da primeira janela de tempo para o local da rede e o TimeWindowEnd é o horário final da primeira janela de tempo para o local da rede. No seguinte exemplo, está representada a tabela de atributos das paragens do Moisés com estes campos preenchidos (Figura 62 e Figura 63).

ECTID	SHAPE	NomeParagem	ID	TrocoLinhaM	TempoEspera	TimeWindowStart1	TimeWindowEnd1	Sequence	TimeWindowStart2
10	Point	Figueira da Foz Sul	M10	2	45	12/1/2018 8:25:00 AM	12/1/2018 8:27:00 AM	1	12/1/2018 10:05:00 AM
11	Point	Maiorca Sul	M11	5	45	12/1/2018 8:43:00 AM	12/1/2018 8:45:00 AM	2	12/1/2018 10:23:00 AM
3	Point	Montemor Sul	M3	7	45	12/1/2018 8:55:00 AM	12/1/2018 8:57:00 AM	3	12/1/2018 10:35:00 AM
13	Point	Carapinha Sul	M13	9	45	12/1/2018 9:04:00 AM	12/1/2018 9:06:00 AM	4	12/1/2018 10:44:00 AM
14	Point	Tentugal Sul	M14	11	45	12/1/2018 9:15:00 AM	12/1/2018 9:17:00 AM	5	12/1/2018 10:55:00 AM
6	Point	S. Martinho Sul	M6	13	45	12/1/2018 9:21:00 AM	12/1/2018 9:23:00 AM	6	12/1/2018 11:01:00 AM
7	Point	S. Silvestre Sul	M7	15	45	12/1/2018 9:25:00 AM	12/1/2018 9:27:00 AM	7	12/1/2018 11:05:00 AM
17	Point	S. João Sul	M17	17	45	12/1/2018 9:28:00 AM	12/1/2018 9:30:00 AM	8	12/1/2018 11:08:00 AM
18	Point	Coimbra Sul	M18	18	45	12/1/2018 9:55:00 AM	12/1/2018 9:57:00 AM	9	12/1/2018 11:35:00 AM

Figura 62- Exemplo 1 de implementação das Janelas de Tempo.

OBJECTID	SHAPE	NomeParagem	ID	TrocoLinhaM	TempoEspera	TimeWindowStart1	TimeWindowEnd1	Sequence	TimeWindowStart2	TimeWindowEnd2	TimeWindowStart3	TimeWindowEnd3
10	Point	Figueira da Foz Sul	M10	2	45	8:25:00 AM	8:27:00 AM	1	10:05:00 AM	10:07:00 AM	3:45:00 PM	3:47:00 PM
11	Point	Maiorca Sul	M11	5	45	8:43:00 AM	8:45:00 AM	2	10:23:00 AM	10:25:00 AM	4:03:00 PM	4:05:00 PM
3	Point	Montemor Sul	M3	7	45	8:55:00 AM	8:57:00 AM	3	10:35:00 AM	10:37:00 AM	4:15:00 PM	4:17:00 PM
13	Point	Carapinha Sul	M13	9	45	9:04:00 AM	9:06:00 AM	4	10:44:00 AM	10:46:00 AM	4:24:00 PM	4:26:00 PM
14	Point	Tentugal Sul	M14	11	45	9:15:00 AM	9:17:00 AM	5	10:55:00 AM	10:57:00 AM	4:35:00 PM	4:37:00 PM
6	Point	S. Martinho Sul	M6	13	45	9:21:00 AM	9:23:00 AM	6	11:01:00 AM	11:03:00 AM	4:41:00 PM	4:43:00 PM
7	Point	S. Silvestre Sul	M7	15	45	9:25:00 AM	9:27:00 AM	7	11:05:00 AM	11:07:00 AM	4:45:00 PM	4:47:00 PM
17	Point	S. João Sul	M17	17	45	9:28:00 AM	9:30:00 AM	8	11:08:00 AM	11:10:00 AM	4:48:00 PM	4:50:00 PM

Figura 63- Exemplo 2 de implementação das Janelas de Tempo.

As Janelas do Tempo obrigam ao preenchimento do tempo inicial e final, o que nos horários dos transportes públicos não faz sentido preencher o tempo final. Explicando a primeira linha de preenchimento, as Janelas do Tempo pressupõem que a rota se inicia entre as 8h25 e as 8h27. O horário das 8h25 é efetivamente o horário Moisés na paragem Figueira da Foz Sul mas o horário das 8h27 teve que ser criado numa lógica do panorama de atrasos por parte desse autocarro, uma vez que é obrigatório o preenchimento do tempo final.

Outro problema revelado é que, no transporte de mercadorias, para cada local há apenas um horário associado (horas estipuladas a que a mercadoria deverá ser entregue). Contudo, nos transportes públicos, há dezenas de horários diários para cada paragem e o recurso das Janelas do Tempo não está preparada para esse fator. Deste modo, ao tentarmos utilizar a secção do tempo na criação da rota, o sistema não encontrou estes dados criados nem os utilizou para solucionar o pedido (Figura 64 e Figura 65). Para o teste, foram criadas colunas de TimeWindowStart e TimeWindowEnd, para cada horário de passagem na paragem (TimeWindowStart1, TimeWindowStart2, TimeWindowStart3, TimeWindowEnd1, TimeWindowEnd2, TimeWindowEnd3 ...).

Nas Janelas do Tempo, também são necessários atributos como o tempo acumulado (de atrasos), o tempo de espera, as horas de chegada ao local, as horas de partida do local e o tempo violado (quando o horário não é respeitado), entre outros atributos que não se adequam à nossa rede.

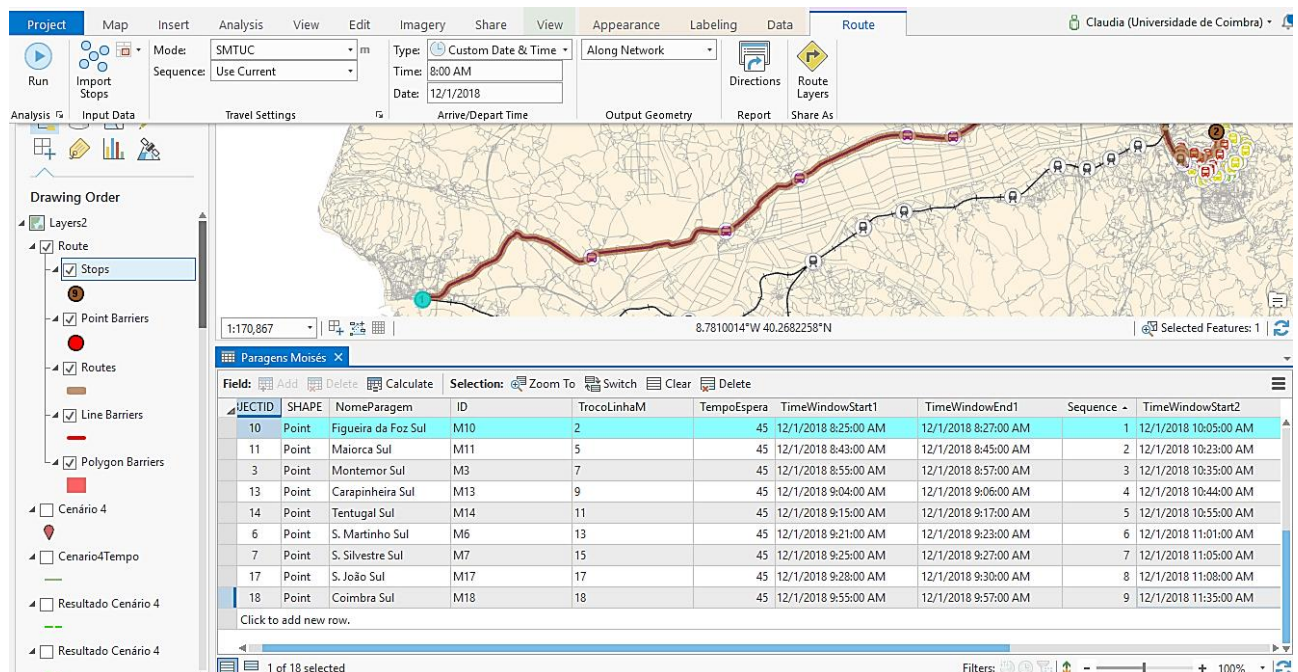


Figura 64- Utilização do tempo na rota.

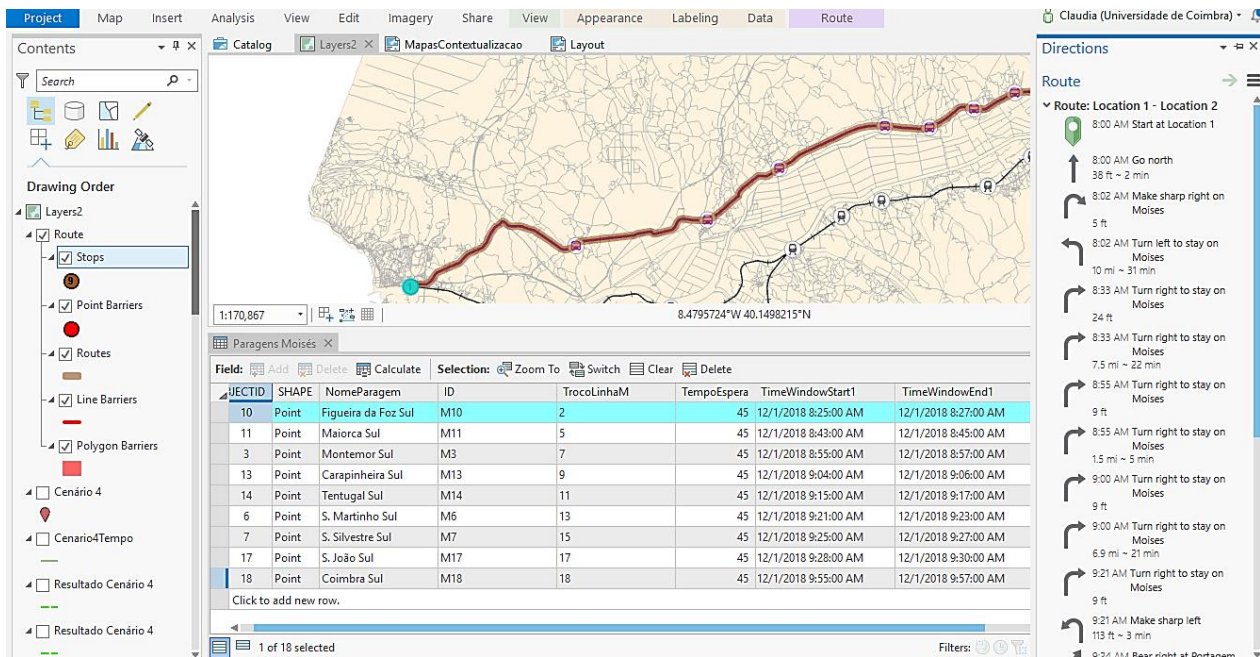


Figura 65- Resultado da rota e respetivas direções.

Na Figura 65 pode-se verificar que, perante o cenário Figueira da Foz -> Coimbra via autocarro suburbano Moisés e com a hora de começo da viagem estipulada para as 8h, o sistema deveria devolver a informação nas direções em que a viagem no Moisés apenas se iniciava às 8h25, visto que é o primeiro horário na paragem da Figueira da Foz. Todavia, o resultado obtido incluiu os pormenores da rota, sem recorrer às Janelas de Tempo. Desta forma, comprovando-se que, sem dúvida as Janelas do Tempo não se adequam ao nosso trabalho, procuraram-se outras soluções que passaram pela utilização do tempo nas camadas de dados, do Hyperlink, de ferramentas criadas por anónimos para completar as entidades do Network Analyst e de um protótipo de uma aplicação em Python que, ao ler o ficheiro de texto das direções e o ficheiro CSV relativo ao horário do transporte descrito no ficheiro das direções, cria um novo ficheiro CSV, com informação da rota, dos horários da viagem e dos horários dos respetivos modos de transporte dessa viagem, bem como o tempo de espera para entrar no transporte. Este ficheiro CSV, será inserido num programa para criar uma linha do tempo (*Timeline*) para a visualização da parametrização da viagem.

A funcionalidade do tempo das camadas de dados (Figura 66) é implementada nas propriedades das camadas em que, após adicionarmos os dados temporais (os horários Moisés), as propriedades do tempo podem ser configuradas de forma a visualizar as paragens no decorrer do tempo (horário das paragens), usando o Time Slider no ArcGIS Pro.

O objetivo de ativar esta funcionalidade foi primeiramente perceber se os dados temporais estavam efetivamente bem concebidos e, em segundo lugar, tentar combinar esta funcionalidade com a de produção da rota, de forma a que o cálculo da rota recorresse a estes dados temporais.

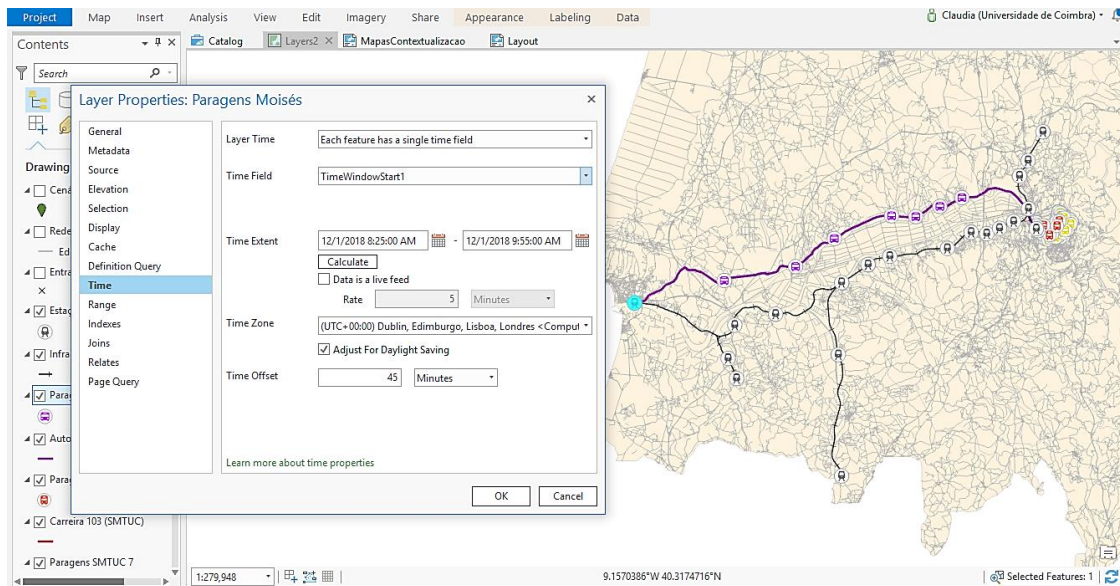


Figura 66- Configuração do recurso tempo nas camadas.

No entanto, este método não resultou completamente, na medida que apenas se visualizou a visita às paragens, no decorrer do tempo ou seja, com o passar das horas (do TimeWindowStart1), as paragens iam sendo apresentadas no visualizador do ArcGIS Pro (Figura 67). Porém, verificou-se que os horários foram adicionados corretamente.

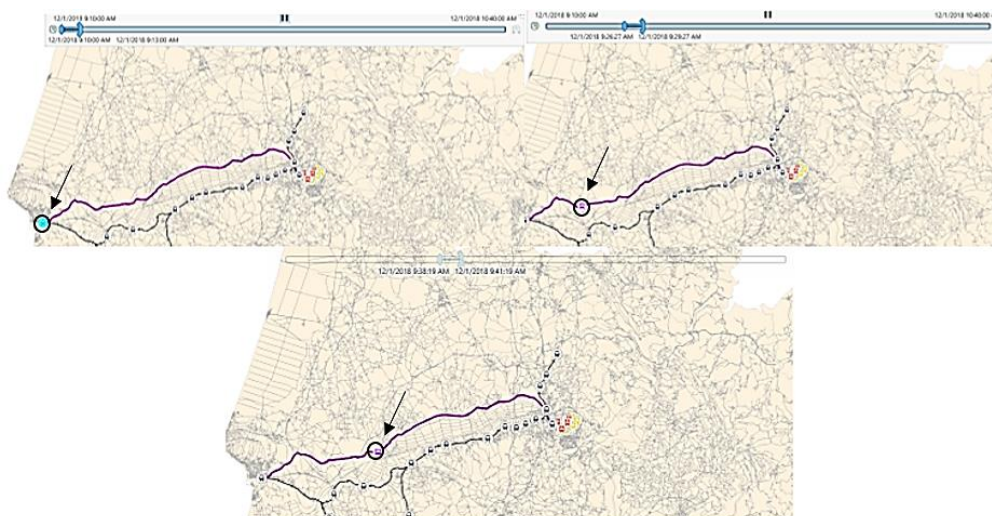


Figura 67- Demonstração do Time Slider para as paragens Moisés no decorrer do tempo (horário).

Outro possível recurso explorado foi a utilização de *hyperlinks*, uma vez que os horários dos transportes estão todos implementados em ficheiros Microsoft Excel.

Os *hyperlinks* permitem que se aceda a documentos ou páginas Web relacionadas com os dados. Antes de se utilizar a ferramenta Hyperlink, é necessário definir os respetivos *hyperlinks* nos dados. No nosso caso, a categoria de *hyperlink* selecionada foi de “documento” (Figura 68), em que um documento é aberto usando o aplicativo apropriado (neste caso, o Microsoft Excel).

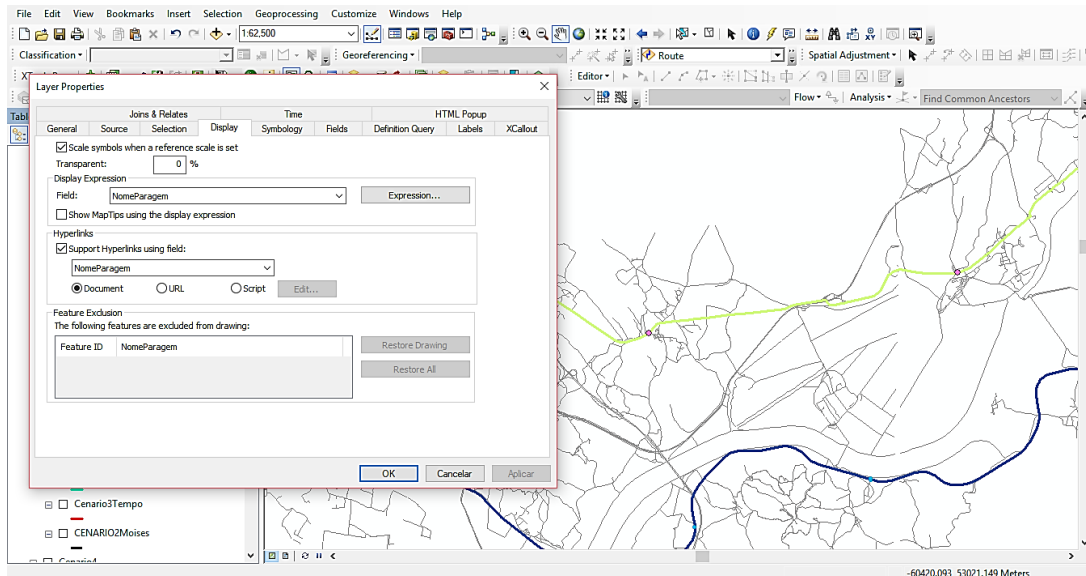


Figura 68- Definição nas propriedades da camada para a utilização de *hyperlinks*.

Depois de se configurarem as propriedades da camada em causa, é necessário adicionar em cada ponto representativo da paragem o respetivo *hyperlink* (Figura 69).

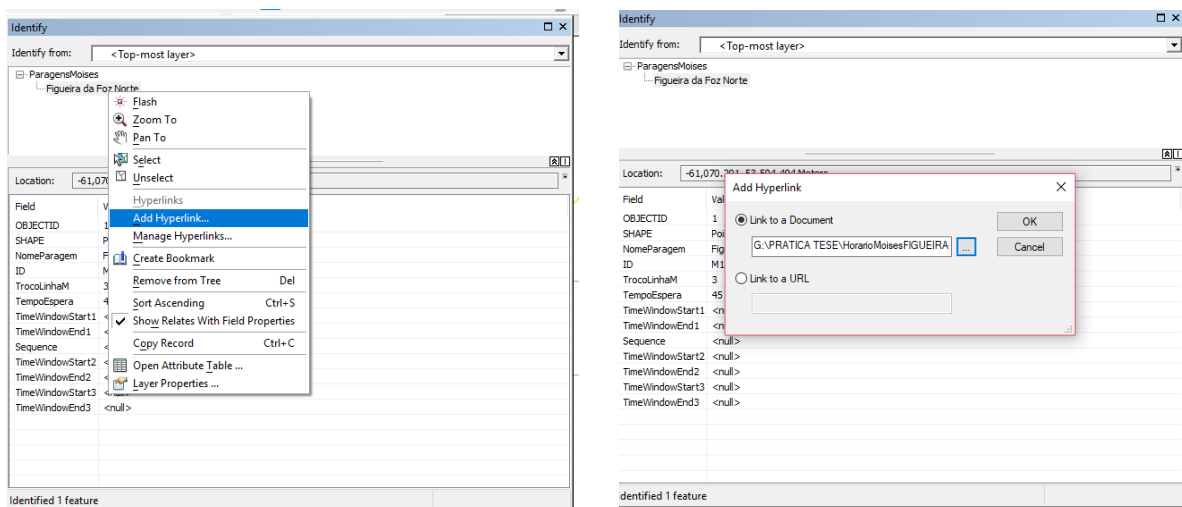


Figura 69- Representação do acrescento do *hyperlink* a um ponto (paragem).

Com este recurso, é possível, após a criação da melhor rota perante o cenário e a impedância, selecionar o ponto da paragem onde a viagem, no respetivo transporte (Moisés, neste exemplo), se inicia e consultar o horário referente a essa paragem, uma vez que o ficheiro em Microsoft Excel é aberto automaticamente para visualização (Figura 70).

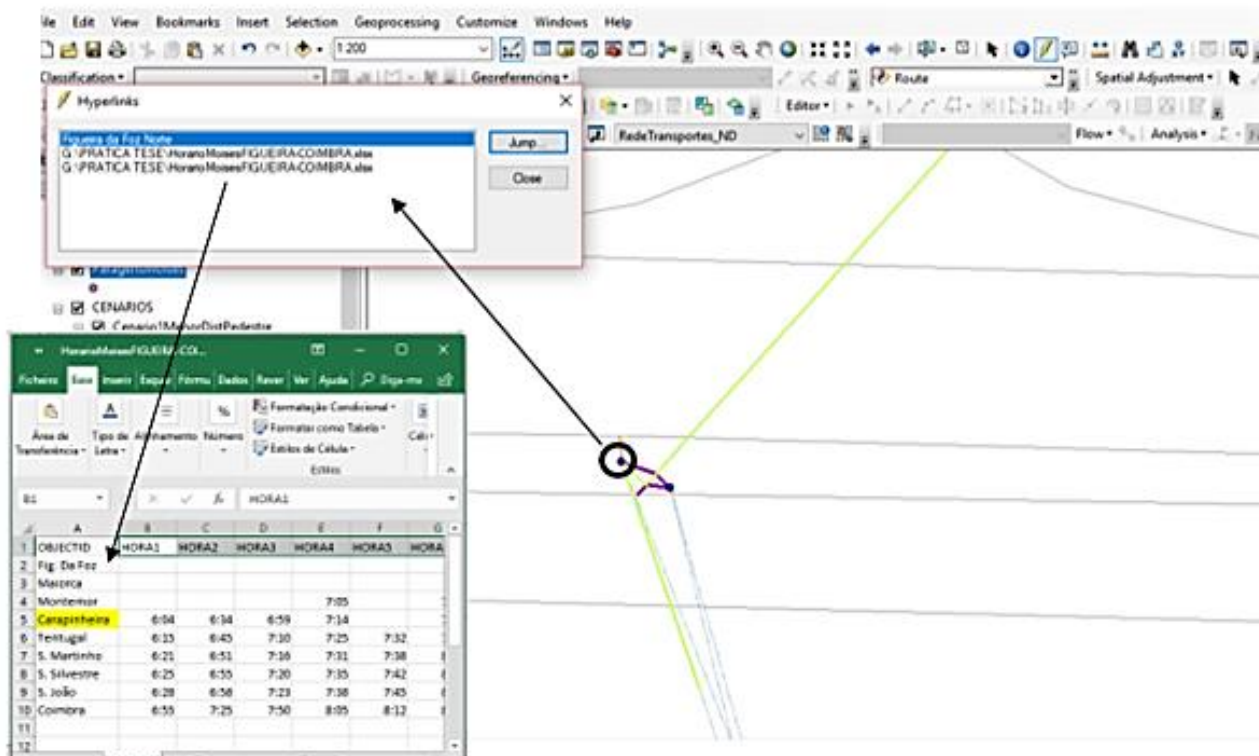


Figura 70- Abertura do *hyperlink* da paragem seleccionada.

Embora a opção de utilização de *hyperlinks* seja interessante, tanto para usar com documentos como com páginas Web, resulta apenas numa mera consulta do documento ou página Web, não havendo uma interação direta e efetiva com a rota, inviabilizando a definição da rota a partir da utilização dos horários. Com isto, o problema de implementação dos horários no projeto continuou em aberto.

Explorou-se, então, outra possível solução para a incorporação dos horários através da hipótese de incorporar os dados de transporte público (*General Transit Feed Specification - GTFS*) num conjunto de dados de rede, concebida por Melinda Morang, de forma a realizar análises com o Network Analyst.

Este conjunto de ferramentas menciona que, depois de criar o conjunto de dados de rede, é possível utilizar as ferramentas do ArcGIS Network Analyst como o cálculo da melhor rota.

Assim, o conjunto de ferramentas para adicionar GTFS a um conjunto de dados de rede consiste numa caixa de ferramentas para pré-processar os dados GTFS, preparando-os para posteriormente, serem usados na rede (Morang, 2018). O GTFS define um formato comum para os horários de transporte públicos e informações geográficas associadas, concebidos em ficheiros de texto, sendo constituído por um ficheiro em que menciona a agência de transporte (agency.txt), a localização das paragens (stops.txt), as rotas (routes.txt), as viagens (trips.txt), os horários (stop_times.txt), a definição do calendário (calendar.txt); as datas do calendário (calendar_dates.txt), as frequências de passagem (frequencies.txt) e as transferências (transfers.txt), entre outros.

Na próxima figura (Figura 71), apresenta-se um exemplo a seguir para a criação de dados GTFS.

```

agency.txt
agency_id, agency_name, agency_url, agency_timezone, agency_phone, agency_lang
FunBus, The Fun Bus, http://www.thefunbus.org, America/Los_Angeles, (310) 555-0222, en

stops.txt
stop_id, stop_name, stop_desc, stop_lat, stop_lon, stop_url, location_type, parent_station
S1, Mission St. & Silver Ave., The stop is located at the southwest corner of the intersection., 37.74103, -122.419382, , S8
S2, Mission St. & Cortland Ave., The stop is located 20 feet south of Mission St., 37.74103, -122.419382, , S8
S3, Mission St. & 24th St., The stop is located at the southwest corner of the intersection., 37.74103, -122.419382, , S8
S4, Mission St. & 21st St., The stop is located at the northwest corner of the intersection., 37.74103, -122.419382, , S8
S5, Mission St. & 18th St., The stop is located 25 feet west of 18th St., 37.74103, -122.419382, , S8
S6, Mission St. & 15th St., The stop is located 10 feet north of Mission St., 37.74103, -122.419382, , S8
S7, 24th St. Mission Station, 37.752240, -122.418450, , S8
S8, 24th St. Mission Station, 37.752240, -122.418450, http://www.bart.gov/stations/stationguide/sta

routes.txt
route_id, route_short_name, route_long_name, route_desc, route_type
A, 17, Mission, "The ""A"" route travels from lower Mission to Downtown.", 3

```

Figura 71- Exemplo de criação de dados GTFS (Google Transit, 2018).

Para este fim, é necessário primeiramente instalar a ferramenta e estruturar os dados necessários que são os dados da rua para a área de estudo da rede, preferencialmente com atributos pedestres e um conjunto de dados GTFS válido. Foi precisamente nesta fase de preparação dos dados GTFS que surgiram obstáculos uma vez que havia apenas duas opções: ou se criavam os dados GTFS para a rede ou se obtinham esses dados, admitindo que eram disponibilizados pelas próprias empresas de transportes ou em páginas Web. Nessa busca, conseguiu-se apenas o acesso aos dados GTFS dos SMTUC, referente ao ano 2014, e concebidos por um particular em GTFS Data Exchange. A conceção

de dados GTFS foi imediatamente descartada, uma vez que é de uma complexidade e morosidade extrema, não comportável no tempo previsto para este trabalho.

Devido às especificações do sistema, o conjunto de ferramentas existentes no pacote que se instalou nunca chegou a ficar devidamente utilizável no ArcMap. Esta situação, pelo que foi possível apurar, é um problema recorrente. Deste modo, o problema dos horários persistia em aberto.

Com o objetivo de associar os horários dos transportes à rota resultante do Network Analyst, criou-se o protótipo de uma aplicação em Python para suporte à comunicação entre a rota obtida no Network Analyst e os horários dos transportes públicos em ficheiros Excel (*.xlsx).

O código (apresentado no Anexo P) começa por ler o ficheiro proveniente das direções da rota do Network Analyst “Directions.txt” e pede ao utilizador para definir a hora de início da viagem. De seguida, analisa linha a linha o conteúdo do documento a fim de encontrar as linhas em que o primeiro elemento é um número, uma vez que no ficheiro de texto “Directions.txt” (Anexo Q) as linhas que se iniciam com números são as que fornecem indicações sobre a rota. Se, depois do número, estiver presente o elemento “Make” e depois o elemento “Sharp”, finalizando a linha, por exemplo, com “Moisés”, a hora de partida será obtida no ficheiro com os horários do Moisés (Anexo X). Também, quando uma linha começar com “Drive”, a informação tem que ser igualmente guardada porque é nesta linha que se encontra o valor da distância a percorrer e o tempo de deslocação. Este código guarda a informação num ficheiro CSV (“mytimeline.csv”- Figura 73), com as indicações da rota, a distância a percorrer em cada ação, o tempo de deslocação e a hora em que inicia, o tempo de espera entre o início da viagem e a hora em que o veículo se encontra na paragem referida, o tempo total da viagem, o tempo total de espera pelo transporte e a distância total, bem como apresenta o resultado numa *Timeline* simples para verificação (Figura 74).

O seguinte Fluxograma pretende apresentar esquematicamente o código desenvolvido (Figura 72), explicitando os ficheiros de entrada, as principais funcionalidades e o ficheiro de saída.

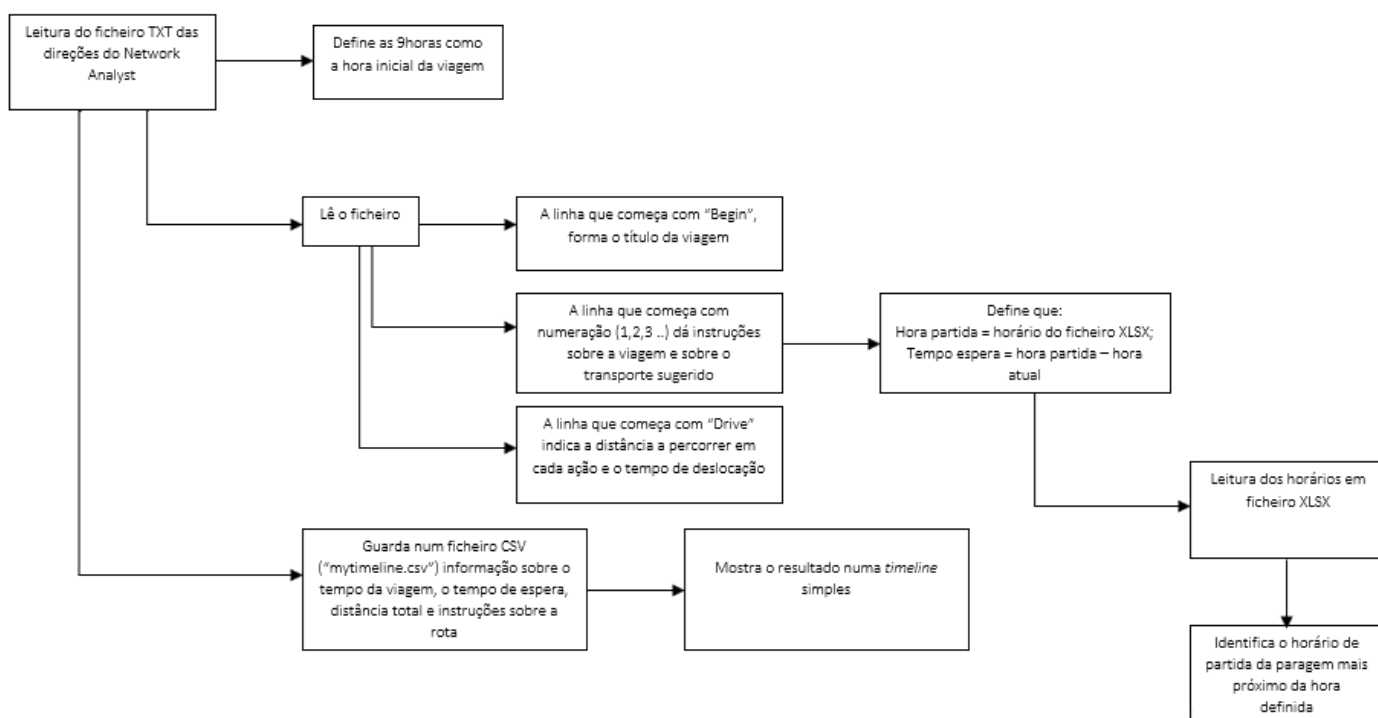


Figura 72- Fluxograma do código desenvolvido em Python.

1	9:00	'1:'	'Start at Figueira da Foz']	
2	9:00	'2:'	'Go north'	'Drive 12 m ~ 2 min']
3	9:02	'3:'	'Make sharp right on Moises'	'Drive 2 m + 63 min (wait)']
4	10:05	'4:'	'Turn left to stay on Moises'	'Drive 16.5 km ~ 31 min']
5	10:36	'5:'	'Turn right to stay on Moises'	'Drive 7 m']
6	10:36	'6:'	'Turn right to stay on Moises'	'Drive 12.1 km ~ 22 min']
7	10:58	'7:'	'Turn right to stay on Moises'	'Drive 3 m']
8	10:58	'8:'	'Turn right to stay on Moises'	'Drive 2.4 km ~ 5 min']
9	11:03	'9:'	'Turn right to stay on Moises'	'Drive 3 m']
10	11:03	'10:'	'Turn right to stay on Moises'	'Drive 11.1 km ~ 21 min']
11	11:24	'11:'	'Turn right to stay on Moises'	'Drive 3 m']
12	11:24	'12:'	'Make sharp left'	'Drive 34 m ~ 3 min']
13	11:27	'13:'	'Bear right at Portagem on SMTUC7'	'Drive 1 m']
14	11:27	'14:'	'Make sharp left to stay on SMTUC7'	'Drive 3.5 km ~ 13 min + 16 min (wait)']
15	11:56	'15:'	'Turn right to stay on SMTUC7'	'Drive < 1 m']
16	11:56	'16:'	'Turn right at Avenida Bissaya Barreto / IPO'	'Drive 18 m ~ 1 min']
17	11:57	'17:'	'Turn right'	'Drive 417 m ~ 8 min']
18	12:05	'18:'	'Turn right'	'Drive 186 m ~ 3 min']
19	12:08	'19:'	'Turn right'	'Drive 33 m ~ < 1 min']
20	12:08	'20:'	'Finish at Hospital Central CHUC on the right']	
TTespera	1h 19min			
Viagem	Viagem: Figueira da Foz - Hospital Central CHUC			
TTtotal	1h 49min			

Figura 73- Ficheiro CSV “mytimeline.csv” do Cenário 1 com menor distância pedestre.

```

Timeline:
Viagem: Figueira da Foz - Hospital Central CHUC
Hora | # | Ação | Distância e/ou duração
09:00 | 1: | Start at Figueira da Foz
09:00 | 2: | Go north | Drive 12 m ~ 2 min
09:02 | 3: | Make sharp right on Moises | Drive 2 m + 63 min (wait)
10:05 | 4: | Turn left to stay on Moises | Drive 16.5 km ~ 31 min
10:36 | 5: | Turn right to stay on Moises | Drive 7 m
10:36 | 6: | Turn right to stay on Moises | Drive 12.1 km ~ 22 min
10:58 | 7: | Turn right to stay on Moises | Drive 3 m
10:58 | 8: | Turn right to stay on Moises | Drive 2.4 km ~ 5 min
11:03 | 9: | Turn right to stay on Moises | Drive 3 m
11:03 | 10: | Turn right to stay on Moises | Drive 11.1 km ~ 21 min
11:24 | 11: | Turn right to stay on Moises | Drive 3 m
11:24 | 12: | Make sharp left | Drive 34 m ~ 3 min
11:27 | 13: | Bear right at Portagem on SMTUC7 | Drive 1 m
11:27 | 14: | Make sharp left to stay on SMTUC7 | Drive 3.5 km ~ 13 min + 16 min (wait)
11:56 | 15: | Turn right to stay on SMTUC7 | Drive < 1 m
11:56 | 16: | Turn right at Avenida Bissaya Barreto / IPO | Drive 18 m ~ 1 min
11:57 | 17: | Turn right | Drive 417 m ~ 8 min
12:05 | 18: | Turn right | Drive 186 m ~ 3 min
12:08 | 19: | Turn right | Drive 33 m ~ < 1 min
12:08 | 20: | Finish at Hospital Central CHUC, on the right
Nº total de iterações: 20
Tempo total: 1h 49min
Tempo total de espera: 1h 19min
Distância total: 46.319 km

```

Figura 74- Resultado do Código em Python do Cenário 1 com menor distância pedestre.

Para o estabelecimento do processo de comunicação entre as aplicações, os dados de entrada são as direções obtidas pelo Network Analyst e guardadas num ficheiro de texto (*.txt) e os horários dos transportes existentes num ficheiro Excel (*.xlsx) e a saída é um *Timeline* simples que é guardada noutro ficheiro Excel em formato CSV.

Desta forma, garante-se a interoperabilidade dos dados e assegura-se a utilização de ferramentas externas ao ArcGIS (com dados oriundos da aplicação), para gerar e visualizar uma *Timeline* da viagem proposta pelo cálculo da melhor rota no Network Analyst e com base nas impedâncias selecionadas.

Pretendendo-se apenas demonstrar a abordagem seguida, o código foi desenvolvido considerando apenas o transporte Moisés (linha Figueira da Foz → Coimbra) e as carreiras 7, 7T e 103 dos SMTUC e assumindo algumas simplificações no processo de atribuição do local da paragem e obtenção do tempo de espera. Em futuros desenvolvimentos, estes aspetos poderão ser melhorados e generalizados, utilizando procedimentos automáticos de identificação das paragens e de todos os elementos necessários à geração da informação necessária para a visualização dos resultados numa *Timeline*.

Perante as soluções apresentadas anteriormente, como a Janela do Tempo e o Hyperlink, o código implementado, foi o recurso que efetivamente conseguiu integrar os horários dos transportes, os tempos de espera e as indicações da rota numa *Timeline* simples, possibilitando a salvaguarda e a visualização de toda a informação de forma integrada.

A ligação entre o resultado do Network Analyst e o código permite que as direções fornecidas para a realização da viagem contenham a componente temporal, na medida que o utilizador poderá escolher a hora a que quer iniciar a viagem e o código, com esse dado e através do ficheiro das direções e indicações e dos ficheiros dos horários dos transportes públicos devolve, num novo ficheiro, a hora em que o veículo está disponível na paragem selecionada e o respetivo tempo de espera.

Apesar do código desenvolvido ser uma versão protótipo que poderá ser aperfeiçoado em vários aspetos, permitiu satisfazer o objetivo de mostrar a viabilidade e a relevância da integração dos horários no projeto Simplificar Coimbra e Sua Região, para os cenários considerados.

Considera-se que o desenvolvimento do código deverá ser aprofundado no sentido de o tornar genérico - não estando direcionado somente para os cenários considerados - e possibilitando, por exemplo, a inclusão de todas as paragens do sistema, incorporação dos dados da CP e, fundamentalmente, a automatização aquando da geração das direções da rota e da execução de todas as funcionalidades numa só aplicação.

O ficheiro “mytimeline.csv”, que contém os dados para uma *Timeline* simples sobre a viagem do Cenário 1 com menor distância pedestre, será usado no programa Timeline Maker Pro para uma visualização gráfica dessa *Timeline* (secção 5.3).

5. Resultados e discussão

5.1. Cenários

Simplificar Coimbra e Sua Região, é um projeto piloto que permite a simulação de viagens que vão ao encontro das necessidades do utilizador e das suas preferências, e surgiu da necessidade de integrar numa só plataforma, todos os modos de transporte da Região de Coimbra, promovendo a acessibilidade intermunicipal por meio de transporte público.

Neste capítulo serão apresentados e discutidos os cenários considerados neste trabalho e as rotas obtidos do cálculo da melhor rota, ou seja, a rota mais curta conforme as impedâncias consideradas.

Os cenários definidos, têm como finalidade representar a realidade e demonstrar as potencialidades do trabalho realizado.

Como foi mencionado anteriormente, foram considerados quatro cenários distintos:

Cenário 1: Viagem entre Figueira da Foz (Avenida Saraiva de Carvalho) e o Hospital Central da Universidade de Coimbra (UC);

Cenário 2: Viagem entre Souselas (Rua 1º de Maio) e o Hospital Central da UC;

Cenário 3: Viagem entre a Solum (Rua de Angola) e o Hospital Central da UC;

Cenário 4: Viagem entre o Palácio da Justiça e o Hospital Central da UC, passando pelo Penedo da Saudade a fim de fazer uma paragem intermédia.

De seguida, serão apresentados pormenorizadamente todos os cenários e as rotas resultantes do cálculo da melhor viagem, no Network Analyst, conforme as preferências definidas (menor distância pedestre, menor tempo de viagem, menor distância total e menor tarifa associada à viagem).

Também serão apresentadas todas as características da rota (tempo, distâncias e preço da viagem) que foram exportadas da tabela de atributos de cada rota calculada e que correspondem apenas a uma viagem. As direções da rota, ou seja, as indicações do percurso de cada rota calculada estão presentes nos Anexos deste documento.

5.1.1. Cenário 1

O cenário 1 visa encontrar a melhor rota entre a Avenida Saraiva de Carvalho (Figueira da Foz) e o Hospital Central da Universidade de Coimbra. A rota resultante, será multimodal, porque conjugará, pelo menos, dois modos de transporte.

Como se pode observar na Figura 75, entre a Figueira da Foz e Coimbra, temos como oferta de transportes públicos, o autocarro Moisés e o comboio. A partir das impedâncias selecionadas, será criada a rota ideal entre os dois pontos definidos (origem e destino).

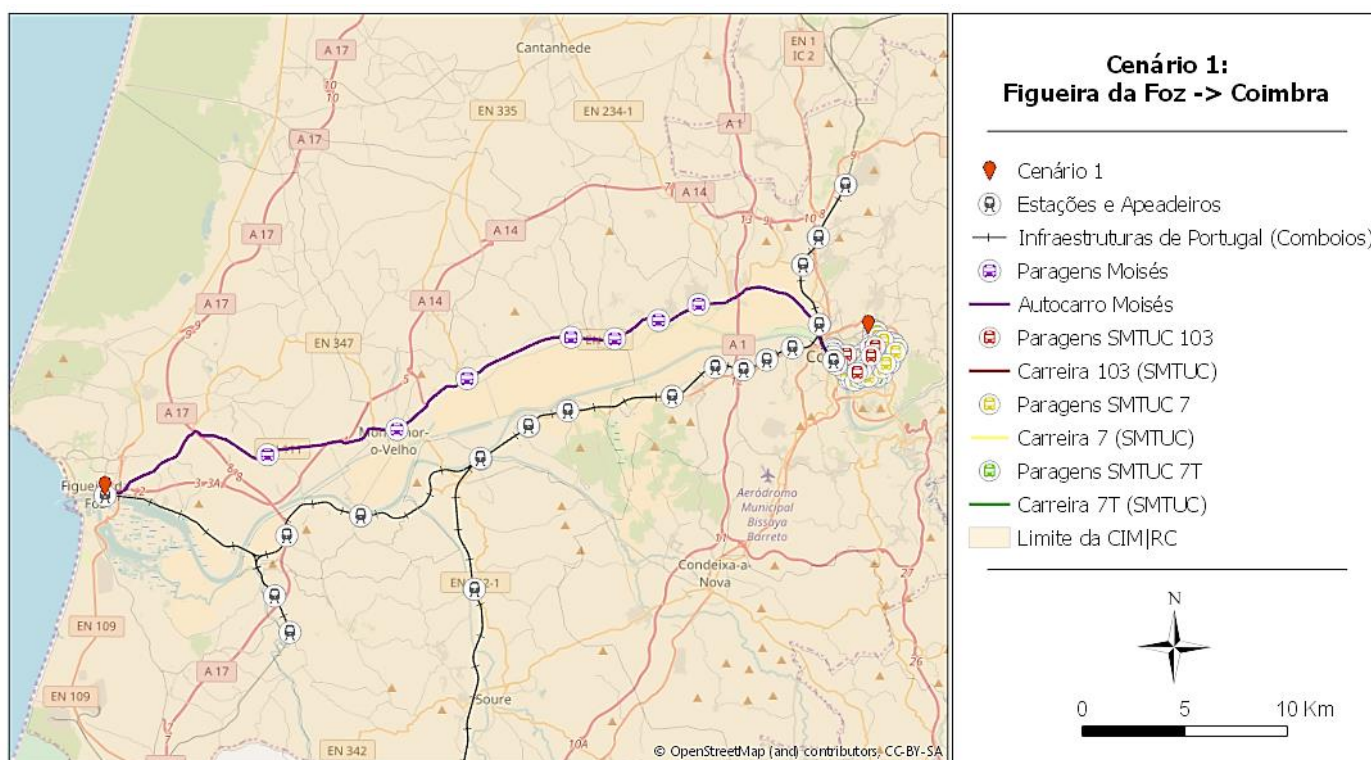


Figura 75- Representação do Cenário 1.

Primeiramente, calculou-se a rota com a menor distância pedestre (Figura 76). Esta impedância, é fundamental, principalmente quando estamos perante utilizadores que têm dificuldades de locomoção. A deslocação para as estações/ paragens e os transbordos, estão condicionados por esta dificuldade.

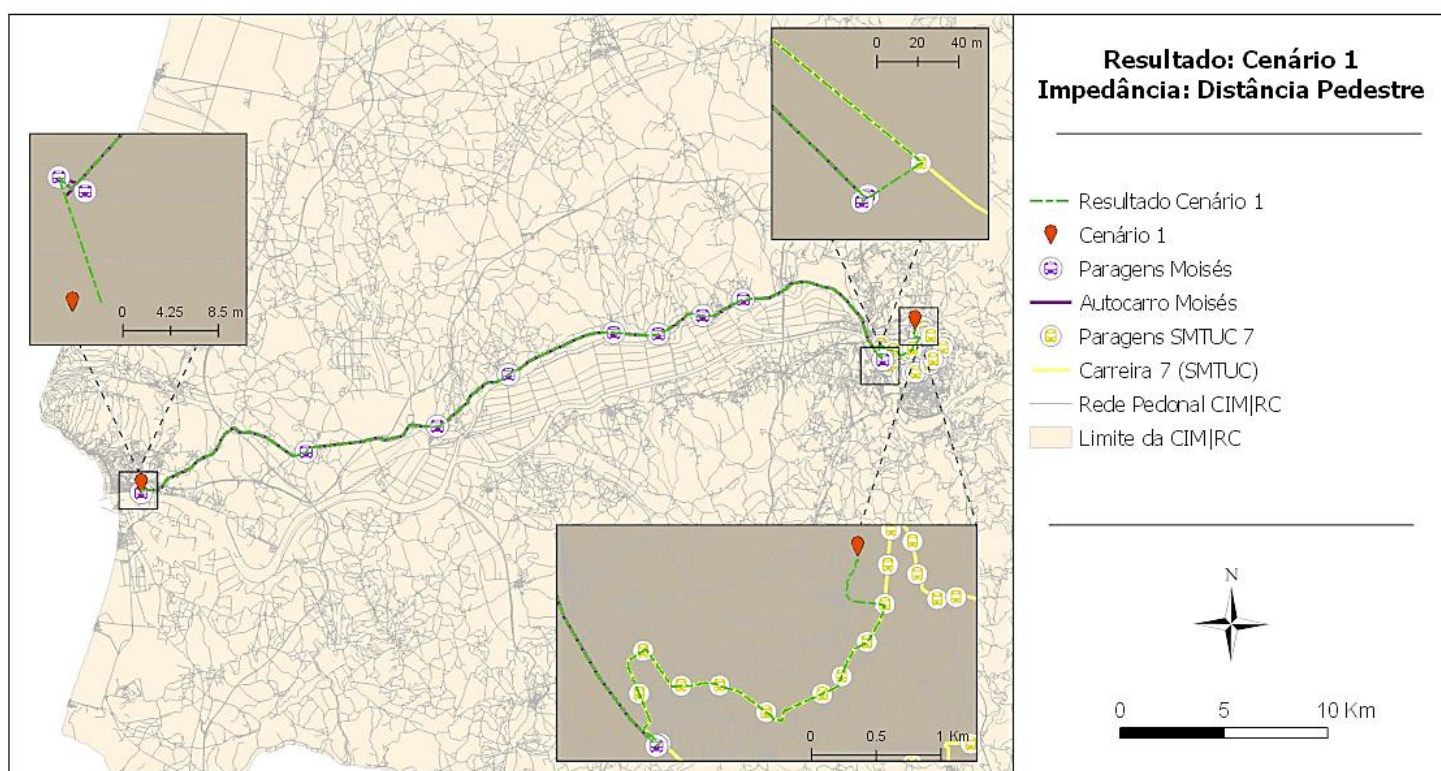
Com isto, a utilização do Moisés para a deslocação entre o nosso ponto de origem e a cidade de Coimbra, revelou-se a melhor opção.

Chegando a Coimbra, a carreira 7 dos SMTUC poderá ser usada para a deslocação entre a paragem do Moisés (junto da estação ferroviária de Coimbra-A) e o Hospital Central da UC.

A rota calculada caracteriza-se por ter uma distância pedestre de 651,87 metros, uma distância total de 46304,11 metros e com uma duração de 1 hora e 49 minutos. A tarifa praticada é de 6,05€, em que 4,45€ corresponde à viagem no Moisés e 1,60€ à viagem de autocarro.

Apesar de ser uma viagem mais dispendiosa - relativamente às restantes, como veremos de seguida - para um utilizador que preferisse uma rota com curta distância pedestre a percorrer, esta seria a melhor opção.

As direções da rota seleccionada podem ser consultadas no Anexo D desta dissertação.



Distância Pedestre (metros)	Tempo Percurso (minutos)	Preço Viagem (€)	Distância Total (metros)
651,87	109	6,05	46304,11

Figura 76- Rota do Cenário 1 com menor distância pedestre.

De seguida, calculou-se a rota com menor tempo de viagem (

Figura 77). Esta questão é imprescindível, principalmente se o utilizador necessitar de realizar esta viagem diariamente - por motivos de trabalho, por exemplo - e quiser encurtar ao máximo o tempo gasto para ir da Figueira da Foz e para o Hospital Central da UC.

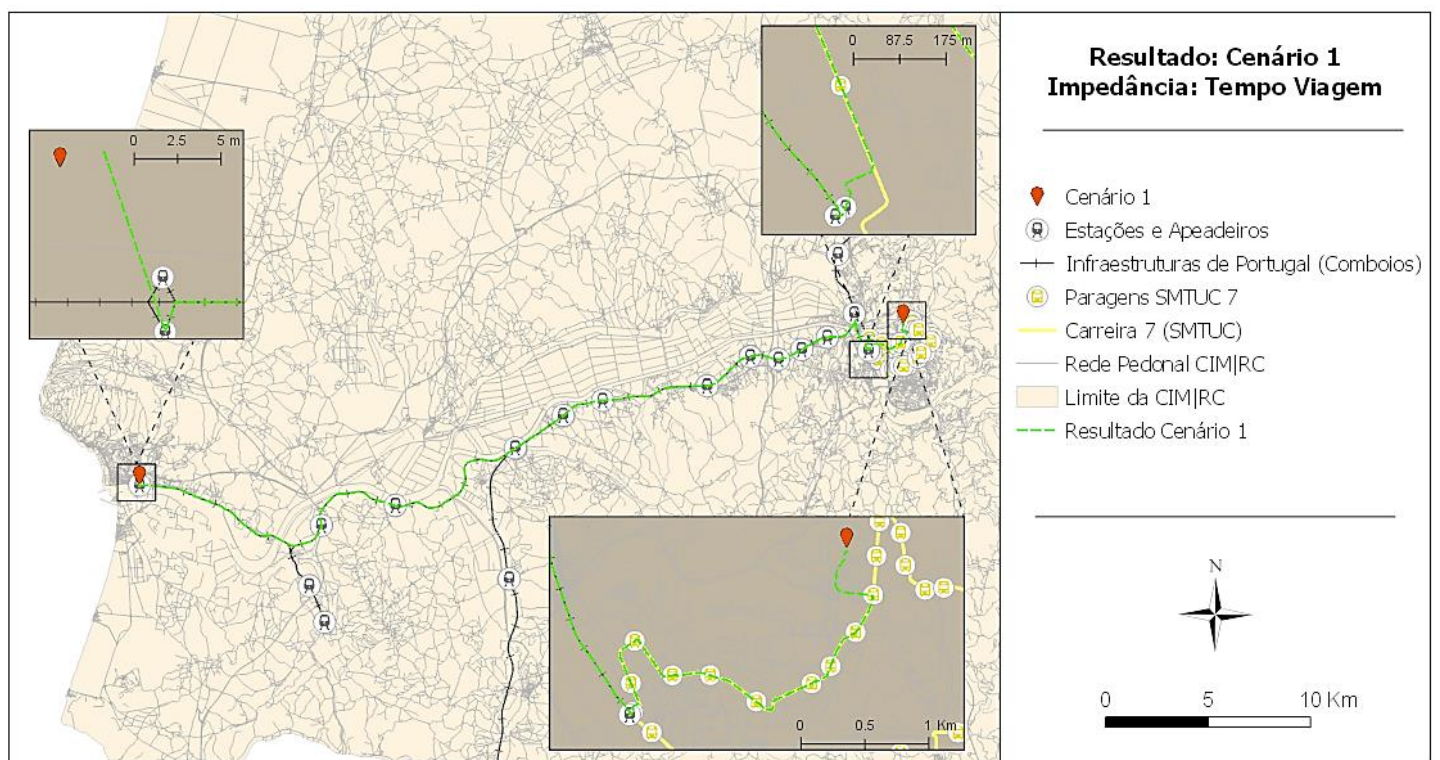
Perante esta impedância, a rota resultante efetua-se de comboio entre a Figueira da Foz e Coimbra e na carreira 7 dos SMTUC, entre a estação ferroviária de Coimbra-A e o Hospital Central.

Esta rota tem uma distância pedestre de 901,26 metros, uma distância total de 47104,93 metros e com uma duração de 1 hora e 24 minutos. Esta viagem é mais económica, relativamente à anterior, com uma tarifa praticada de 4,35€, correspondendo 2,75€ ao comboio e 1,60€ ao autocarro.

Desta forma, a rota calculada revela-se mais rápida e económica, comparativamente com a rota que tem por preferência uma menor distância pedestre.

O utilizador terá que perceber qual a rota mais vantajosa para si, uma vez que a diferença total da distância pedestre entre as duas rotas é de 249,39 metros.

As direções desta rota podem ser consultadas no Anexo E desta dissertação.



Distância Pedestre (metros)	Tempo Percorso (minutos)	Preço Viagem (€)	Distância Total (metros)
901,26	84	4,35	47104,93

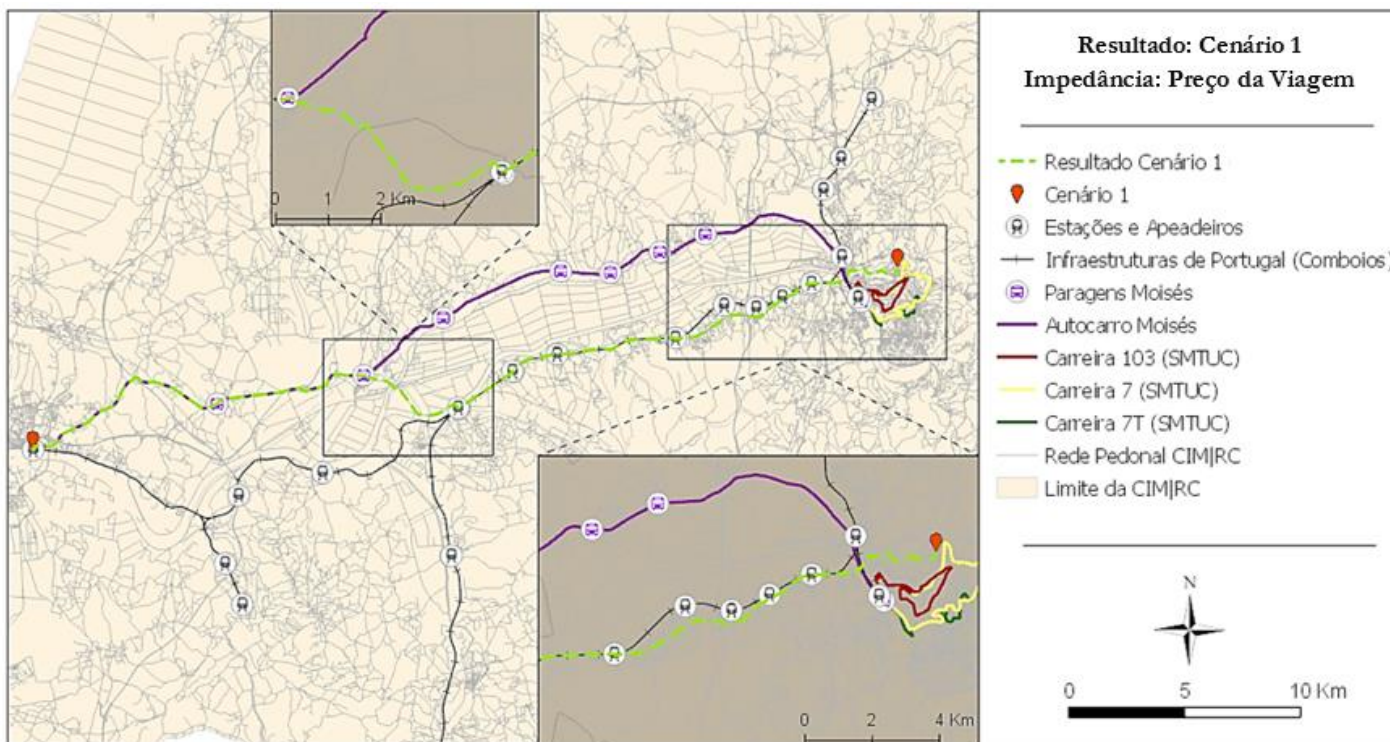
Figura 77- Rota mais rápida do Cenário 1.

A rota proveniente do cálculo da rota com a menor tarifa associada à viagem (Figura 78), corresponde exatamente à rota com menor distância entre a origem e destino (Figura 79).

Serão apresentadas, seguidamente, as duas rotas (exatamente iguais), considerando-se que a distância total é a impedância com menos valor, perante as restantes impedâncias, as quais são consideradas mais relevantes no momento de decidir por qual rota optar para realizar a viagem.

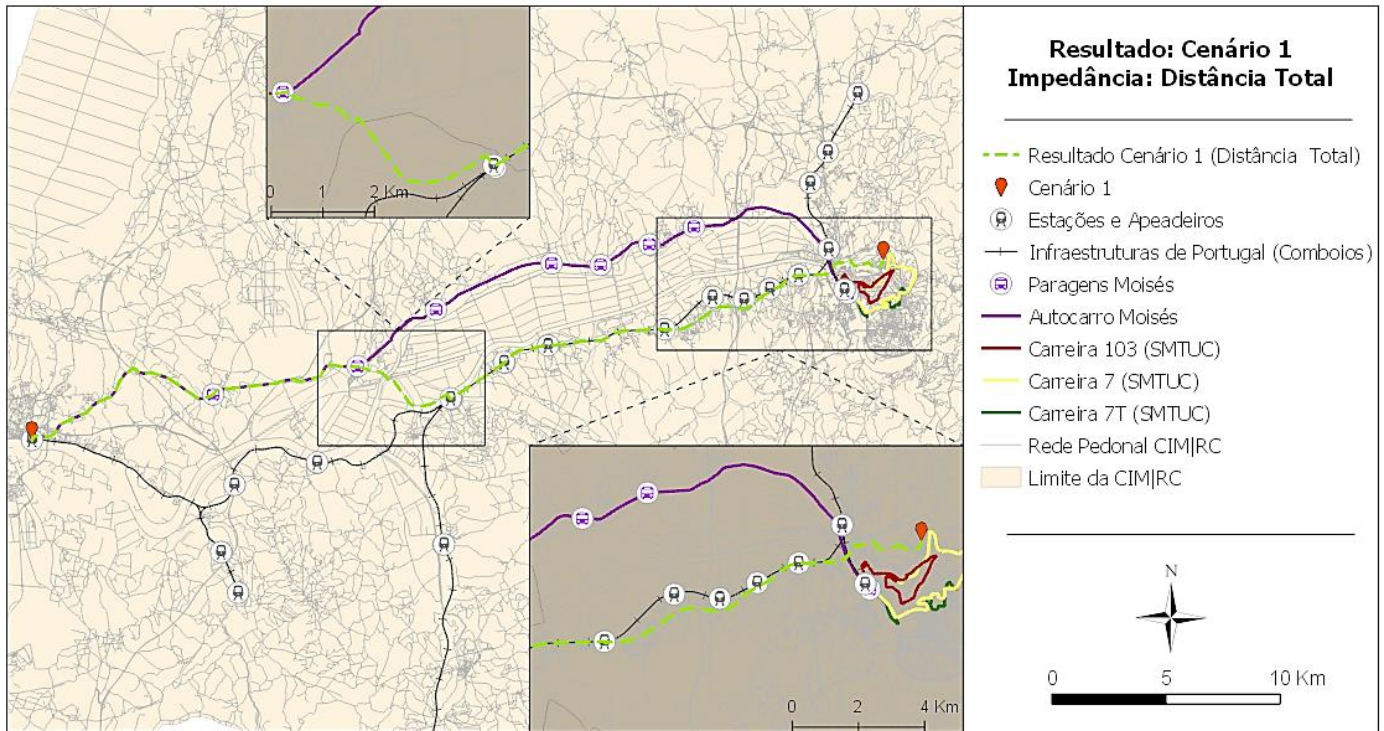
Devido ao fator de a rede pedonal ter um custo associado de 0€, a rota calculada tem uma distância pedestre de 15998,53 metros e uma distância total de 42992,35 metros. Como a distância pedestre é consideravelmente extensa e a velocidade média atingida por um peão é de, em média, 4 km/h, o tempo de viagem aumenta para 5 horas e 15 minutos e o preço da viagem diminui para 2,82€ que corresponde, em parte, ao Moisés e ao comboio. A deslocação em Coimbra (para o Hospital Central) é realizada no modo pedestre.

As direções desta rota podem ser consultadas no Anexo F desta dissertação.



Distância Pedestre (metros)	Tempo Percurso (minutos)	Preço Viagem (€)	Distância Total (metros)
15998,53	315	2,82	42992,35

Figura 78- Rota mais económica do Cenário 1.



Distância Pedestre (metros)	Tempo Percurso (minutos)	Preço Viagem (€)	Distância Total (metros)
15998,53	315	2,82	42992,35

Figura 79- Rota mais curta do Cenário 1.

De seguida, será apresentada uma tabela (Tabela 8) com as características das rotas calculadas com o Cenário 1, onde se encontra informação sobre a distância pedestre, tempo de percurso, preço da viagem e distância total para cada impedância considerada (menor distância pedestre, menor tempo de viagem, menor preço e menor distância total). Desta forma, percebe-se as diferenças dos resultados obtidos, conforme as preferências do utilizador.

Tabela 8- Exposição dos resultados obtidos no cálculo das rotas do Cenário 1.

Impedância	Distância Pedestre (metros)	Tempo Percurso	Preço Viagem (€)	Distância Total (metros)
Menor distância pedestre	651,87	1h 49 min	6,05	46304,11
Menor tempo de viagem	901,26	1h 24 min	4,35	47104,93
Menor custo	15998,53	5h 15 min	2,82	42992,35
Menor distância total	15998,53	5h 15 min	2,82	42992,35

5.1.2. Cenário 2

O Cenário 2 foi concebido na perspetiva de representar o planeamento de viagens de uma pequena localidade - neste caso, Souselas - para a cidade de Coimbra (Figura 80). A deslocação em transportes públicos entre Souselas e Coimbra, poderá ser realizado de comboio ou pelo operador rodoviário Transdev. Porém, a rede topológica implementada, não inclui informação das rotas realizadas pela Transdev.

Nesta perspetiva, será considerada apenas uma opção de transporte entre Souselas e Coimbra e, em Coimbra, serão consideradas as 3 carreiras dos SMTUC, com o objetivo de calcular a melhor rota entre a rua 1º de Maio (Souselas) e o Hospital Central da UC.

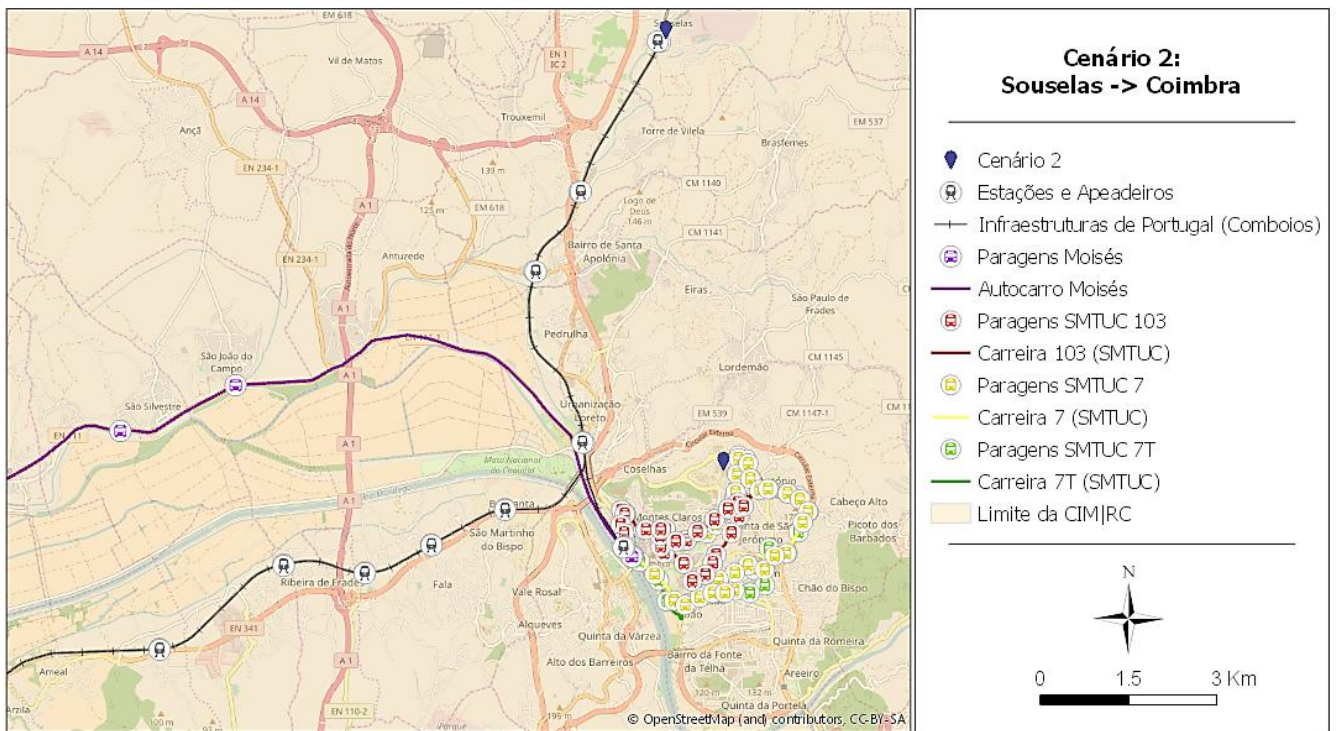


Figura 80- Representação do Cenário 2.

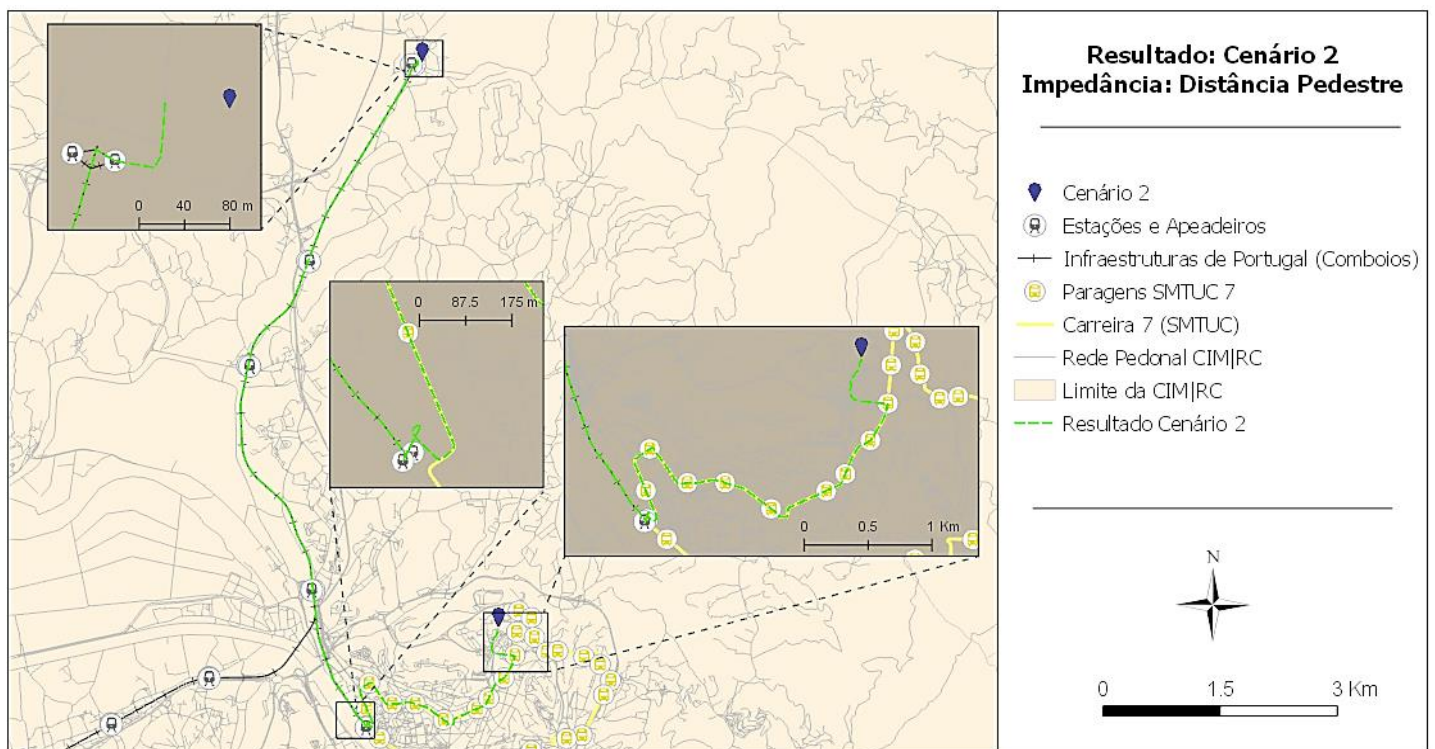
Inicialmente calculou-se a rota com menor distância a percorrer e, de seguida, a rota com menor tempo de viagem. Devido à existência de apenas uma opção de deslocação entre Souselas e Coimbra - o comboio - as duas rotas calculadas tiveram exatamente o mesmo resultado (Figura 81 e Figura 82, respetivamente).

Explanando o resultado, o utilizador terá que se deslocar a pé entre a rua 1º de Maio (Souselas) e a estação de caminhos-de-ferro de Souselas, numa distância de 113 metros (aproximadamente 2 minutos). Ao chegar à estação, entrará no comboio que o transportará até à estação de Coimbra-A,

com uma duração de 16 minutos. Na estação de Coimbra-A, tem a paragem da carreira 7 dos SMTUC, a 4 minutos para percorrer a distância a pé, que permite a chegada ao Hospital Central da UC em 12 minutos.

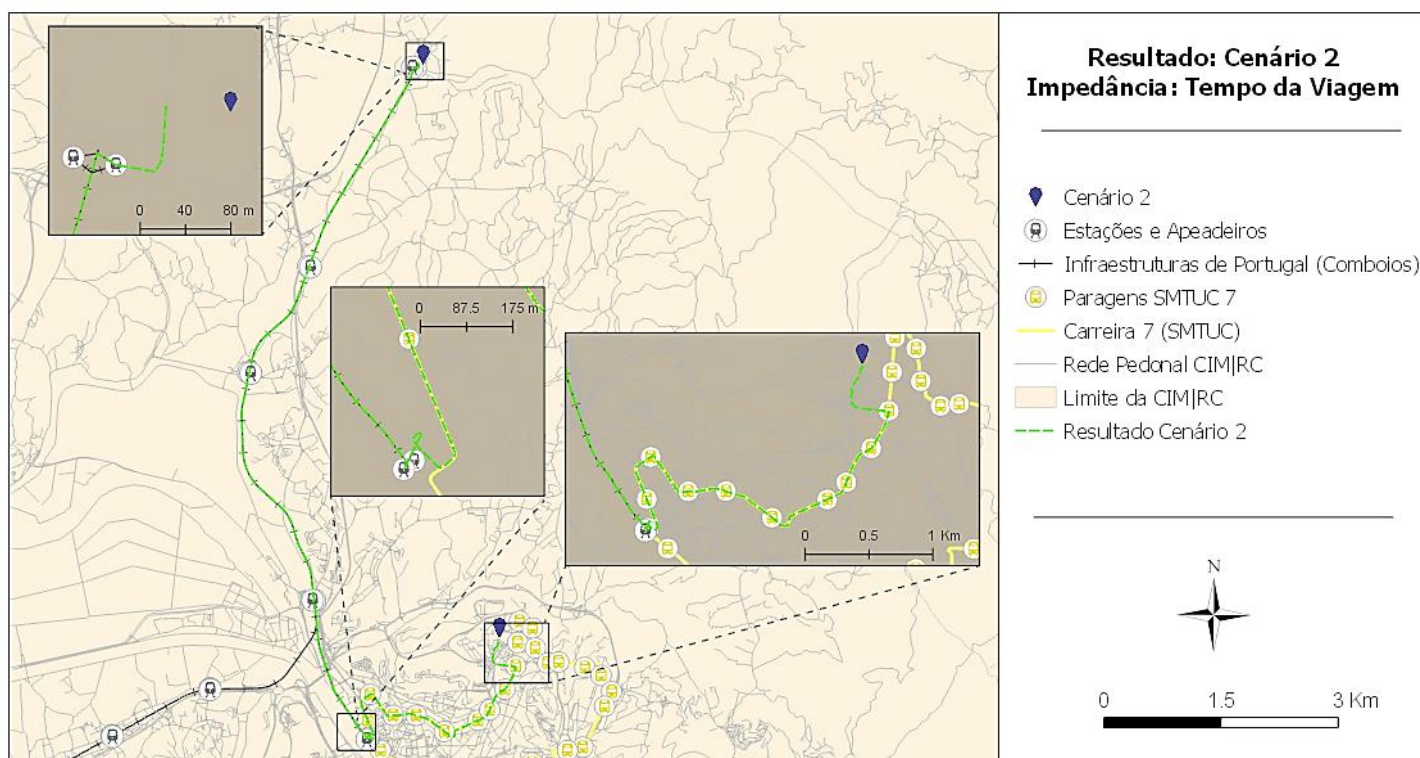
Estas duas rotas têm uma distância pedestre de 960,13 metros e uma distância total de 13755,37 metros. É, sem dúvida, uma viagem consideravelmente rápida, uma vez que tem um total de 45 minutos com uma tarifa praticada de 3,05€ (1,45€ da viagem de comboio e 1,60€ da viagem de autocarro). Trata-se de uma rota multimodal, porque reúne dois modos de transporte.

As direções da rota podem ser consultadas no Anexo G desta dissertação.



Distância Pedestre (metros)	Tempo Percurso (minutos)	Preço Viagem (€)	Distância Total (metros)
960,13	45	3,05	13755,37

Figura 81- Rota com menor distância pedestre do Cenário 2.



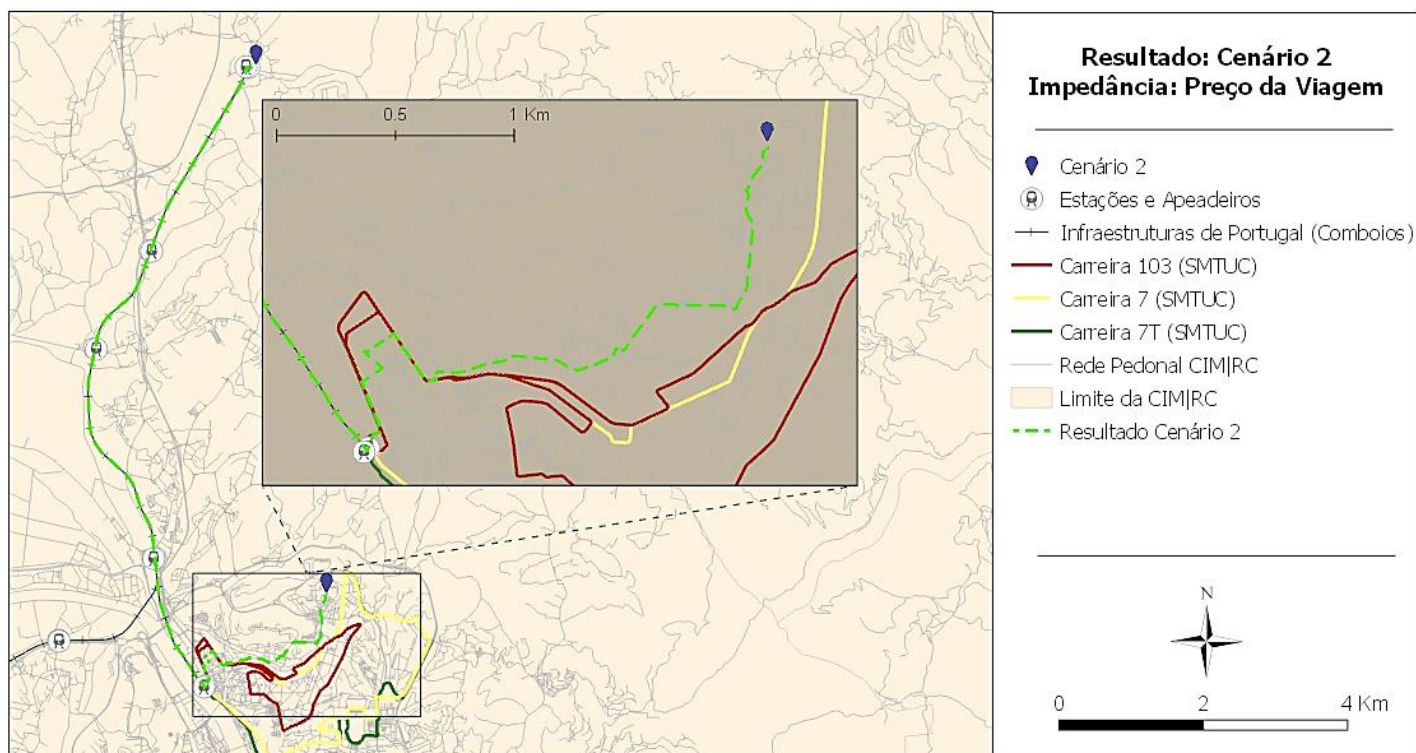
Distância Pedestre (metros)	Tempo Percurso (minutos)	Preço Viagem (€)	Distância Total (metros)
960,13	45	3,05	13755,37

Figura 82- Rota com menor tempo de viagem do Cenário 2.

Depois de calcularmos a rota com menor distância pedestre e com menor tempo de viagem, é importante calcular a rota mais económica. Como foi explicado anteriormente, ao considerarmos o valor de 0€ à rede pedonal, o algoritmo, quando calcula a rota com a impedância de menor custo (€), irá preferir a rede pedonal sempre que possível e isso é perceptível na próxima figura (Figura 83).

Desta forma, a rota resultante tem um preço total de 1,45€, que corresponde à viagem de comboio entre Souselas e Coimbra-A. O restante percurso (até ao Hospital Central), é realizado a pé, com uma distância pedestre de 3158,61 metros e um tempo total de 1 hora e 13 minutos (com a viagem de comboio que tem a duração de 16 minutos).

As direções da rota podem ser consultadas no Anexo H desta dissertação.



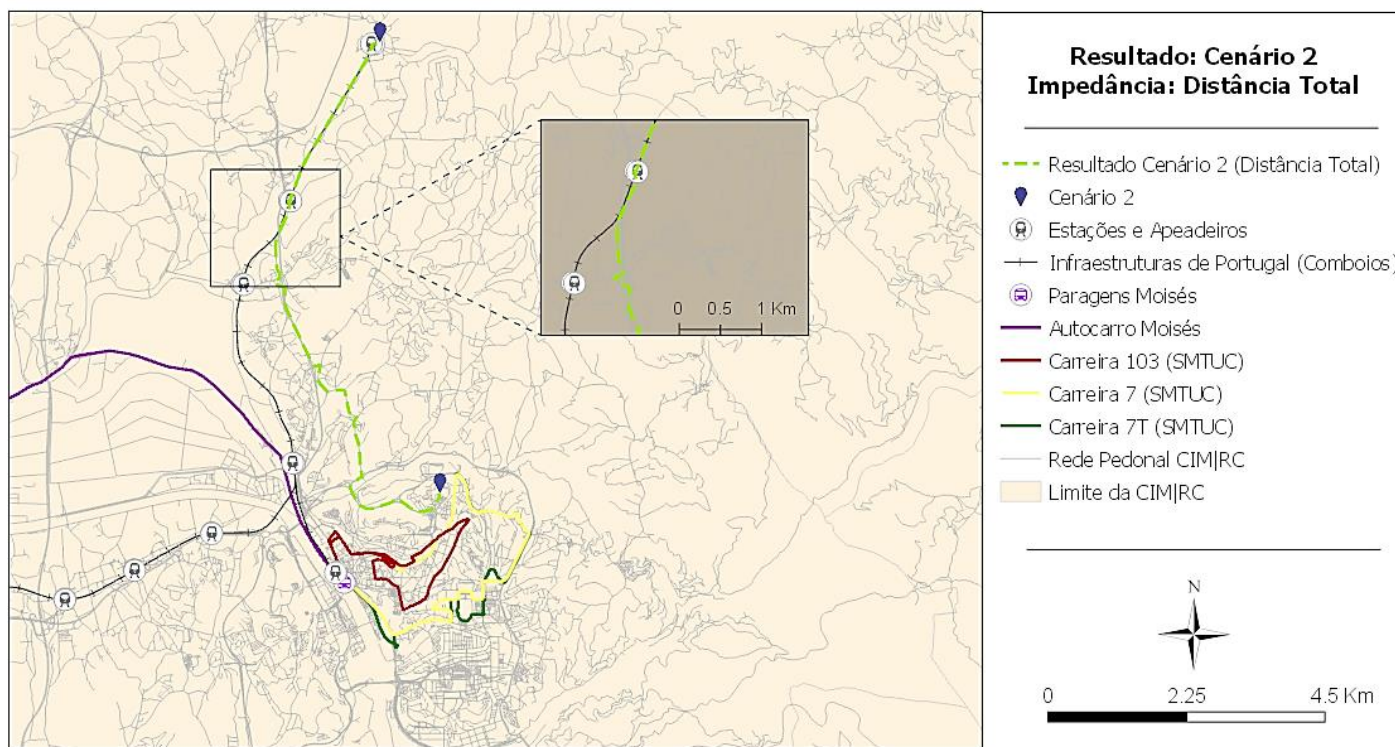
Distância Pedestre (metros)	Tempo Percurso (minutos)	Preço Viagem (€)	Distância Total (metros)
3158,61	73	1,45	12927,26

Figura 83- Rota mais económica do Cenário 2.

Relativamente à rota com menor distância total, sugere-se que seja realizada de forma pedonal até ao destino final, a partir do apeadeiro de Vilela (Figura 84), ou seja, o utilizador entra em Souselas no comboio e sai no apeadeiro de Vilela. É neste momento, que realiza a viagem de forma pedestre até ao Hospital Central de Coimbra, num total de 7712,68 metros. O tempo de percurso aumenta significativamente para 2 horas e 9 minutos, porque a velocidade pedestre considerada é de 4 km/h. Devido ao aumento da distância pedestre a percorrer, em detrimento dos transportes públicos, o valor da viagem diminui para 1,45€, que corresponde à viagem de comboio entre Souselas e Vilela.

Esta rota tem como objetivo encurtar a distância da viagem, porém não será a melhor solução, uma vez que se tem que percorrer aproximadamente 8 km a pé.

As direções da rota podem ser consultadas no Anexo I desta dissertação.



Distância Pedestre (metros)	Tempo Percurso (minutos)	Preço Viagem (€)	Distância Total (metros)
7712,68	129	1,45	10683,83

Figura 84- Rota mais curta do Cenário 2.

No sentido do que se fez no Cenário 2, será apresentada uma tabela (Tabela 9) com todos os resultados obtidos do cálculo da melhor rota (conforme as preferências consideradas) do Cenário 2, percebendo-se, desta forma, as diferenças dos resultados obtidos, conforme as preferências do utilizador.

Tabela 9- Exposição dos resultados obtidos no cálculo das rotas do Cenário 2.

Impedância	Distância Pedestre (metros)	Tempo Percurso	Preço Viagem (€)	Distância Total (metros)
Menor distância pedestre	960,13	45 min	3,05	13755,37
Menor tempo de viagem	960,13	45 min	3,05	13755,37
Menor custo	3158,61	1h 13 min	1,45	12927,26
Menor distância total	7712,68	2h 9 min	1,45	10683,83

5.1.3. Cenário 3

O Cenário 3 foi criado para representar uma viagem simples (só com um modo de transporte) na cidade de Coimbra. Este cenário tem como origem a rua de Angola (Solum) e como destino o Hospital Central da UC (Figura 85).

Nas rotas resultantes, apenas entrará a rede de transportes dos SMTUC, mais concretamente as carreiras consideradas (7, 7T e 103).

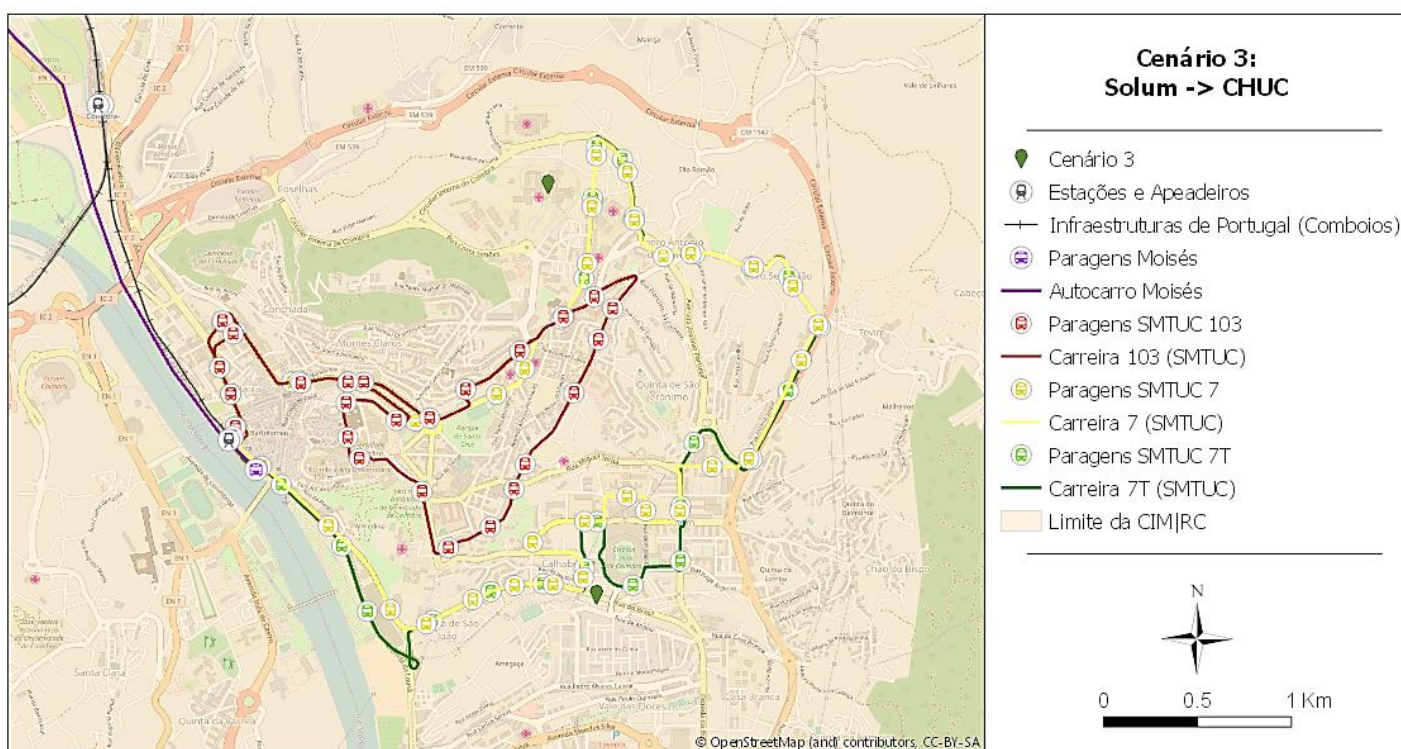
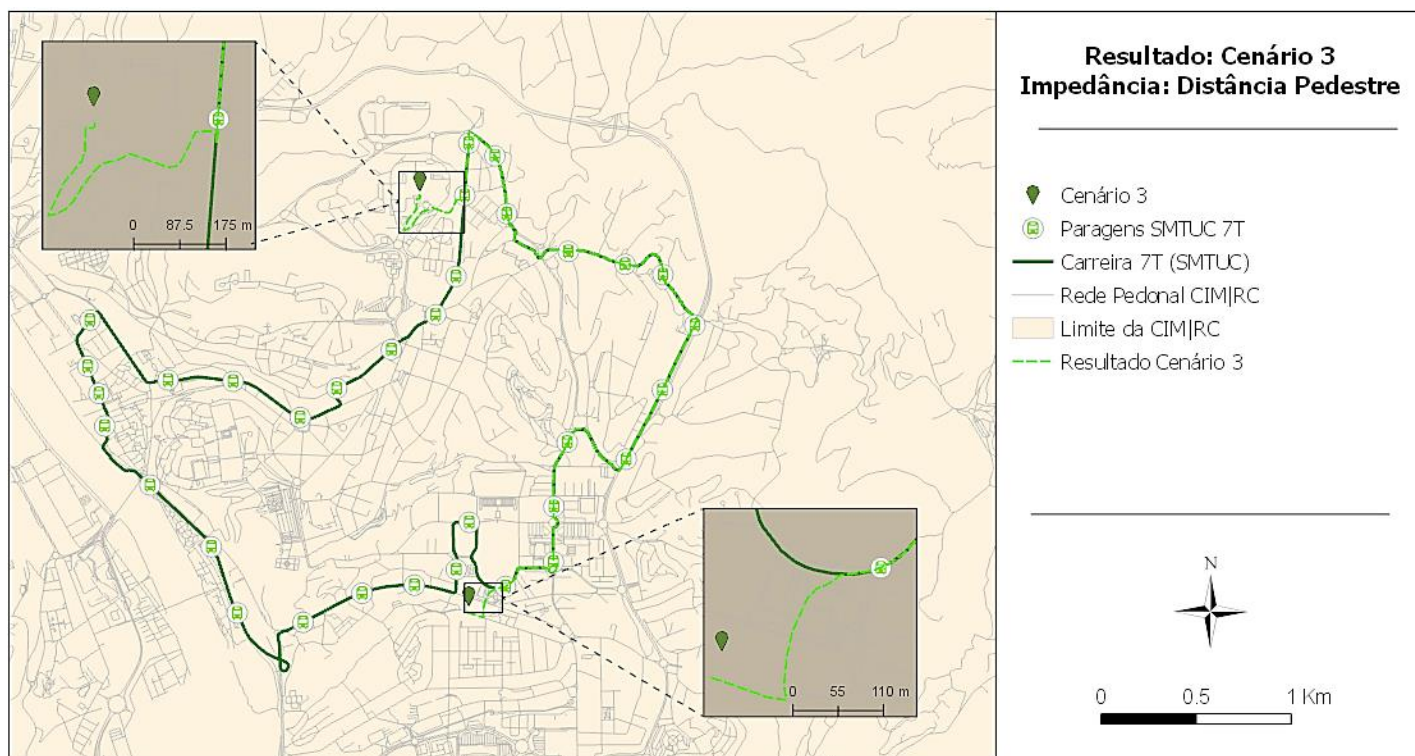


Figura 85- Representação do Cenário 3.

A primeira rota a ser calculada é a rota com menor distância pedestre, como nos cenários anteriores (Figura 86). Nesta rota, o utilizador deverá partir na rua de Angola, em sentido do Estádio Municipal de Coimbra, por uma distância de 343 metros (aproximadamente 7 minutos), em que entrará no autocarro 7T. A viagem de autocarro terá uma duração de 18 minutos e o utilizador deverá sair na paragem Avenida Bissaya Barreto/IPO. Da paragem, ao Hospital Central, deverá percorrer uma distância a pé de 633 metros, representando aproximadamente 15 minutos.

Esta rota terá uma distância pedestre de 976 metros e uma distância total de 5645,46 metros. A viagem terá uma duração de 39 minutos e um custo associado de 1,60€, que corresponde à viagem de autocarro.

As direções desta rota podem ser consultadas no Anexo J desta dissertação.



Distância Pedestre (metros)	Tempo Percurso (minutos)	Preço Viagem (€)	Distância Total (metros)
976,01	39	1,60	5645,46

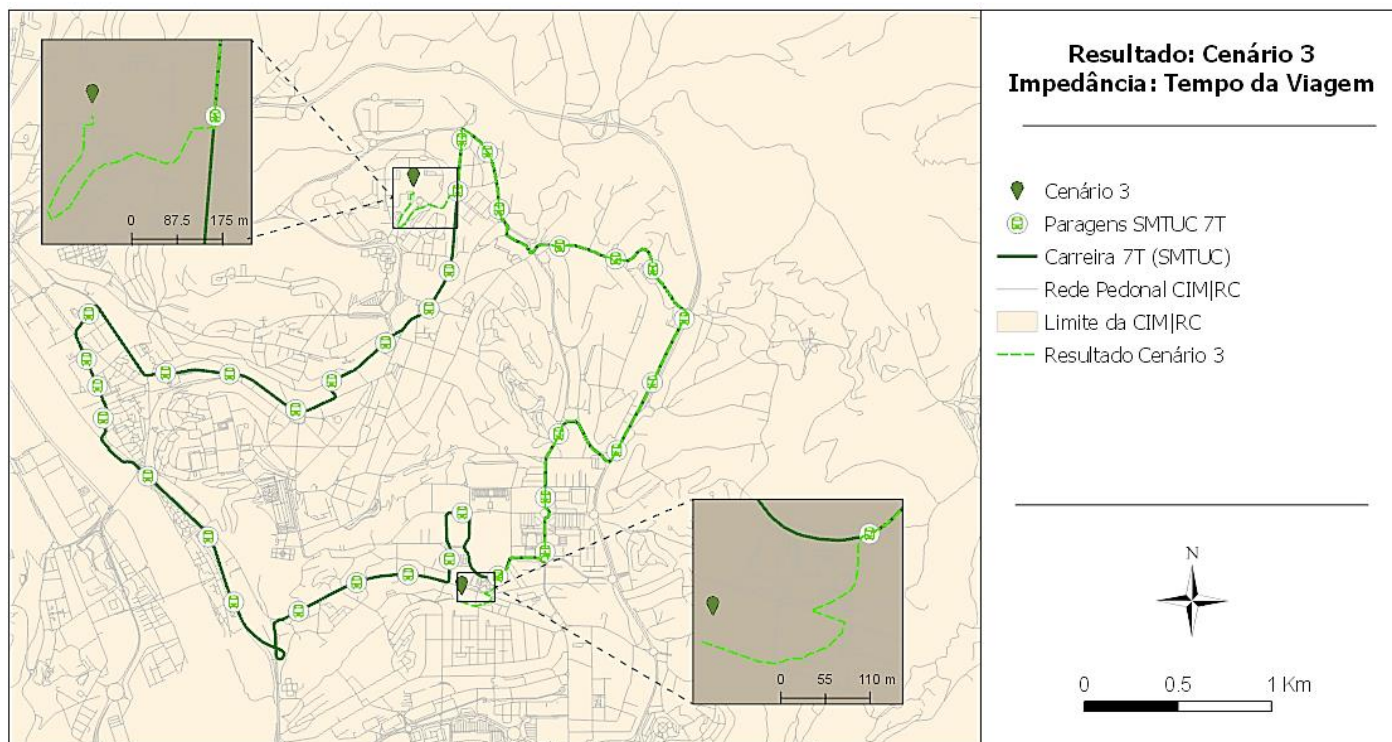
Figura 86- Rota com menor distância pedestre do Cenário 3.

A segunda rota a ser calcula é a que tem menor tempo de viagem (Figura 87). À primeira vista, o resultado parece igual à rota com menor distância pedestre, mas a deslocação entre a rua de Angola e a paragem de autocarro do 7T, faz-se por um percurso diferente. Este percurso tem uma distância pedestre de 379 metros e um tempo de viagem aproximado de 5 minutos.

Comparativamente à rota anterior, a distância pedestre é superior, mas o tempo de viagem é menor. Apesar de ser atribuída uma velocidade média para o peão de 4 km/h, verifica-se que esta rota tem uma distância pedestre superior e um tempo de viagem inferior, relativamente à rota anterior. Isto deve-se ao facto de os arcos da rede topológica serem partidos (para realizar a conectividade), dando origem a arcos com 20 metros, por exemplo, sendo que estes arcos de 20 metros não têm um tempo de viagem associado por ter uma curta distância, mas a sua distância é acumulada às restantes.

A distância total da rota é de 5676,16 metros, com 35 minutos de viagem e com um custo de 1,60€ (tarifa praticada ao entrar no autocarro 7T).

As direções da rota podem ser consultadas no Anexo K desta dissertação.



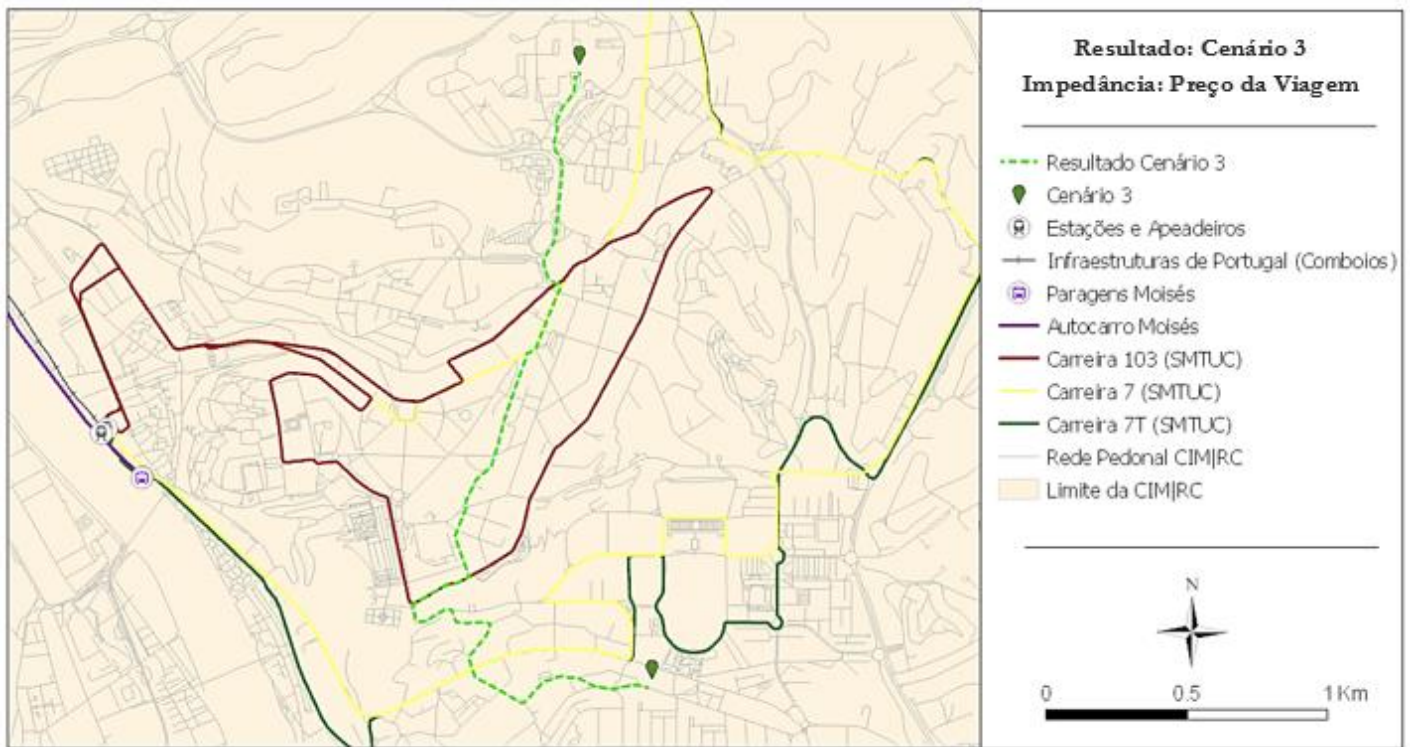
Distância Pedestre (metros)	Tempo Percurso (minutos)	Preço Viagem (€)	Distância Total (metros)
1049,17	35	1,60	5676,16

Figura 87- Rota com menor tempo de viagem do Cenário 3.

As rotas provenientes do cálculo do percurso com menor preço associado e do cálculo do percurso com menor distância total, têm o mesmo resultado (Figura 88 e Figura 89). Como foi explicado anteriormente, este facto deve-se à associação de um custo de 0€ à rede pedonal.

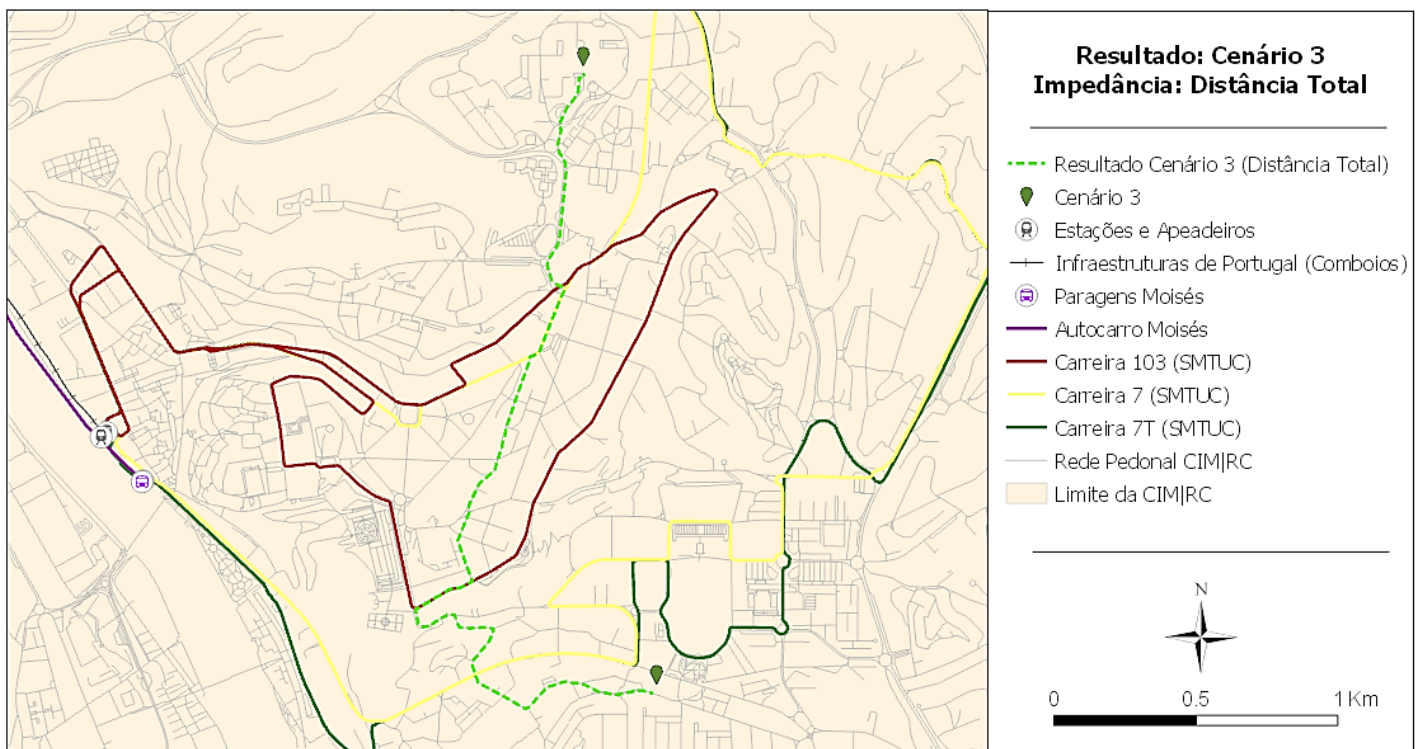
Assim, o cálculo da rota com menor preço, dará preferência à rede pedonal em detrimento do uso dos transportes públicos e a rota com menor distância total tem como objetivo, reduzir a distância total da rota e por isso, propõe uma rota pedestre o mais direto possível entre a origem e o destino. Deste modo, estas rotas têm uma distância pedestre e uma distância total de 3475,20 metros. Relativamente ao tempo de viagem, aumenta para os 59 minutos e não é praticada tarifa.

As direções da rota podem ser consultadas no Anexo L desta dissertação.



Distância Pedestre (metros)	Tempo Percurso (minutos)	Preço Viagem (€)	Distância Total (metros)
3475,20	59	0	3475,20

Figura 88- Rota mais económica do Cenário 3.



Distância Pedestre (metros)	Tempo Percurso (minutos)	Preço Viagem (€)	Distância Total (metros)
3475,20	59	0	3475,20

Figura 89- Rota mais curta do Cenário 3.

Em jeito de conclusão, apresenta-se um resumo das características das rotas obtidas com o Cenário 3, perante a seleção de quatro impedâncias distintas (Tabela 10).

Tabela 10- Exposição dos resultados obtidos no cálculo das rotas do Cenário 3.

Impedância	Distância Pedestre (metros)	Tempo Percurso	Preço Viagem (€)	Distância Total (metros)
Menor distância pedestre	976,01	39 min	1,60	5645,46
Menor tempo de viagem	1049,17	35 min	1,60	5676,16
Menor custo	3475,20	59 min	0	3475,20
Menor distância total	3475,20	59 min	0	3475,20

5.1.4. Cenário 4

Por último, achou-se pertinente definir um cenário mais complexo e multimodal, para a cidade de Coimbra.

Neste cenário, o utilizador pretende iniciar a sua viagem no Palácio da Justiça, fazer uma paragem no Penedo da Saudade e terminar no Hospital Central da UC, tendo um ponto de origem, um intermédio e um de destino (Figura 90).

O Cenário 4 representa um panorama normal no quotidiano da população que pretende visitar vários locais.

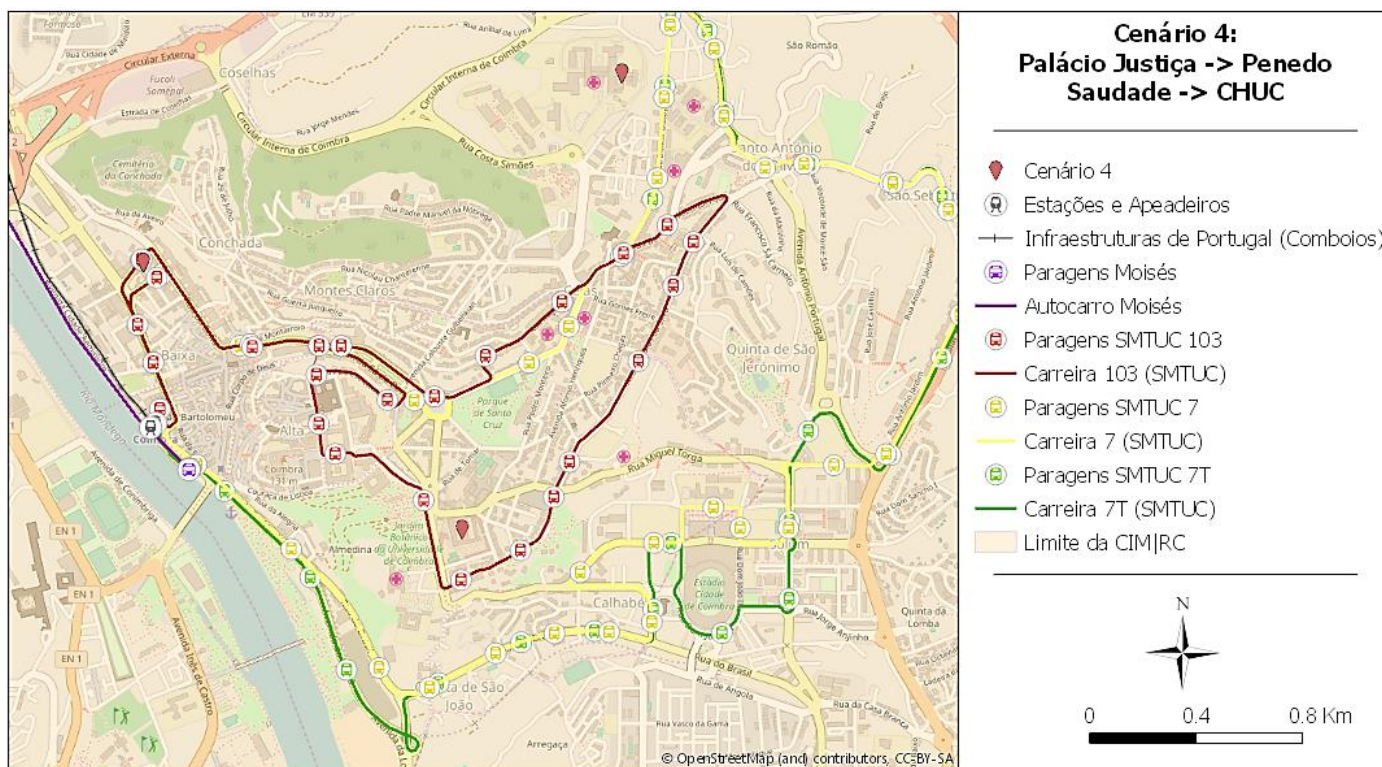


Figura 90- Representação do Cenário 4.

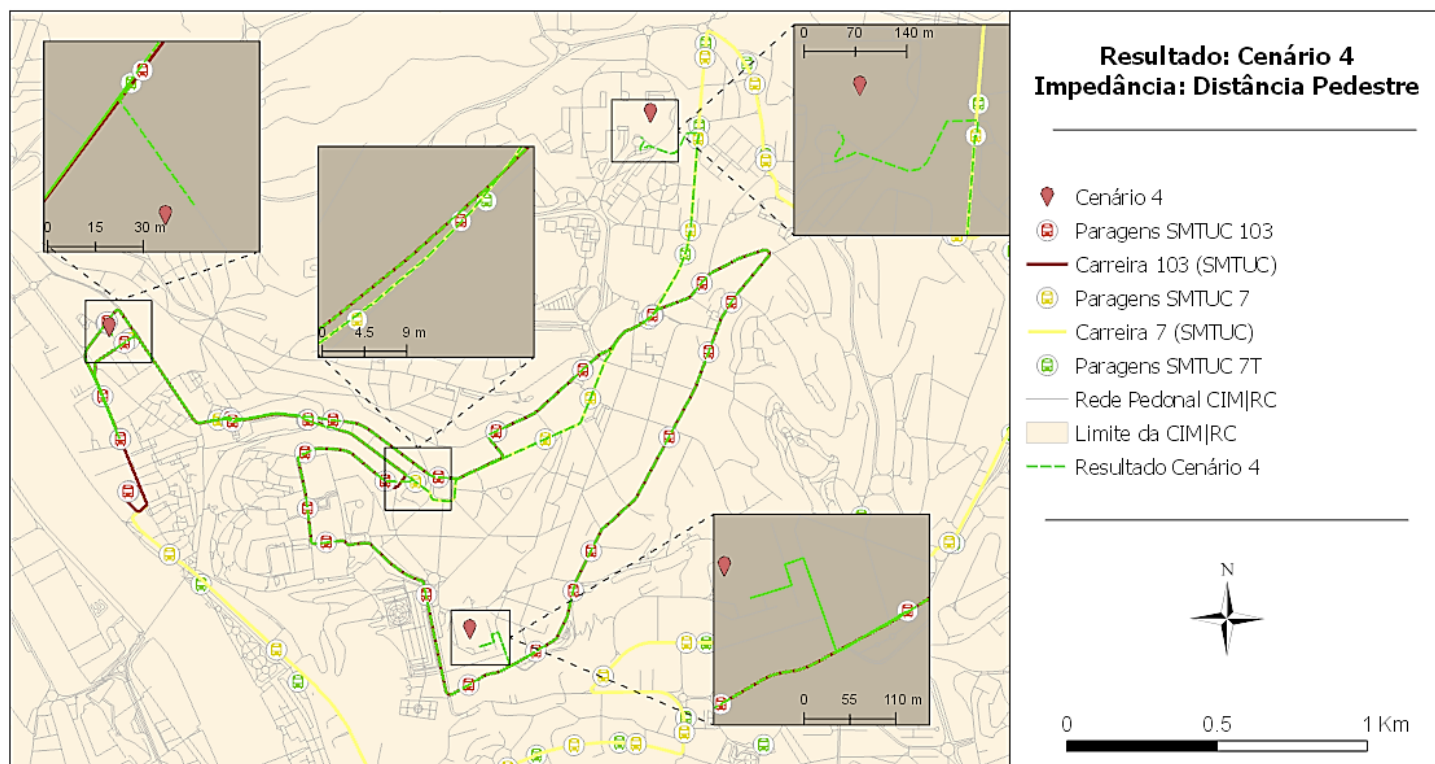
Primordialmente, calculou-se a rota com menor distância pedestre (Figura 91). Porém, esta rota revelou não ser a melhor opção, porque o utilizador prefere percorrer a menor distância possível a pé. Pretendendo-se obter uma rota com uma distância pedestre menor, o algoritmo utiliza as redes de transporte sempre que possível. Perante esta condição, o resultado demonstra a utilização de 6 autocarros dos SMTUC, para uma distância total de 13032,68 metros.

Com isto, a rota resultante é bastante complexa, dispendiosa e tem a duração de 1 hora e 17 minutos.

Efetivamente, a distância pedestre é de apenas 995,57 metros, mas perante o custo total da viagem (9,60€) e o tempo despendido, não será uma rota adequada.

A rota inicia-se no Palácio da Justiça, em que o utilizador entrará no autocarro 7T. De seguida, na Avenida Fernão Magalhães troca para o autocarro 7, na rua Padre António Vieira troca para o 103 e a primeira parte da viagem termina no Penedo da Saudade. Na segunda parte da viagem, que se realizará entre o Penedo da Saudade e o Hospital Central da UC, o utilizador entrará no autocarro 103, trocará na Praça da República para o 7T e por último, troca de autocarro na Fernão Magalhães para o autocarro número 7, autocarro que o levará ao Hospital Central.

As direções desta rota podem ser consultadas no Anexo M desta dissertação.



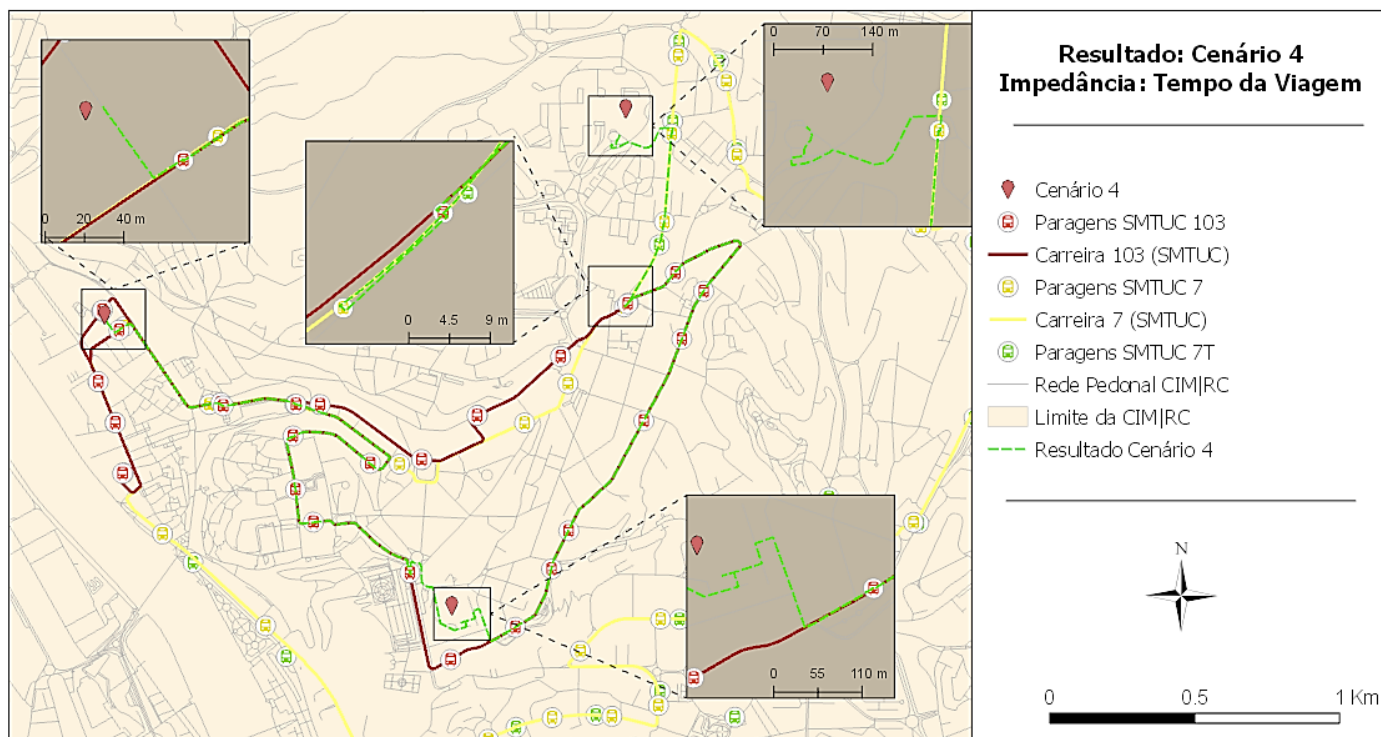
Distância Pedestre (metros)	Tempo Percurso (minutos)	Preço Viagem (€)	Distância Total (metros)
995,57	77	9,60	13032,68

Figura 91- Rota com menor distância pedestre do Cenário 4.

A rota calculada que dá primazia ao menor tempo de viagem (Figura 92), deverá ser a rota mais adequada, uma vez que considera o tempo como impedância, mas a distância pedestre e o preço da viagem são aceitáveis (1208,74 metros e 4,80€, respetivamente).

Este percurso inicia-se igualmente no Palácio da Justiça, mas com o autocarro 103 até ao Penedo da Saudade (é o único autocarro na primeira parte da viagem). O utilizador terá que sair na paragem dos Arcos do Jardim e efetuar o percurso a pé de 8 minutos, até ao Penedo da Saudade. A partir do Penedo da Saudade e até ao Hospital Central, o utilizador terá que recorrer ao autocarro 103 e de seguida ao autocarro 7. O tempo total de viagem é de 44 minutos e a distância total de 6211,72 metros.

As direções da rota podem ser consultadas no Anexo N desta dissertação.



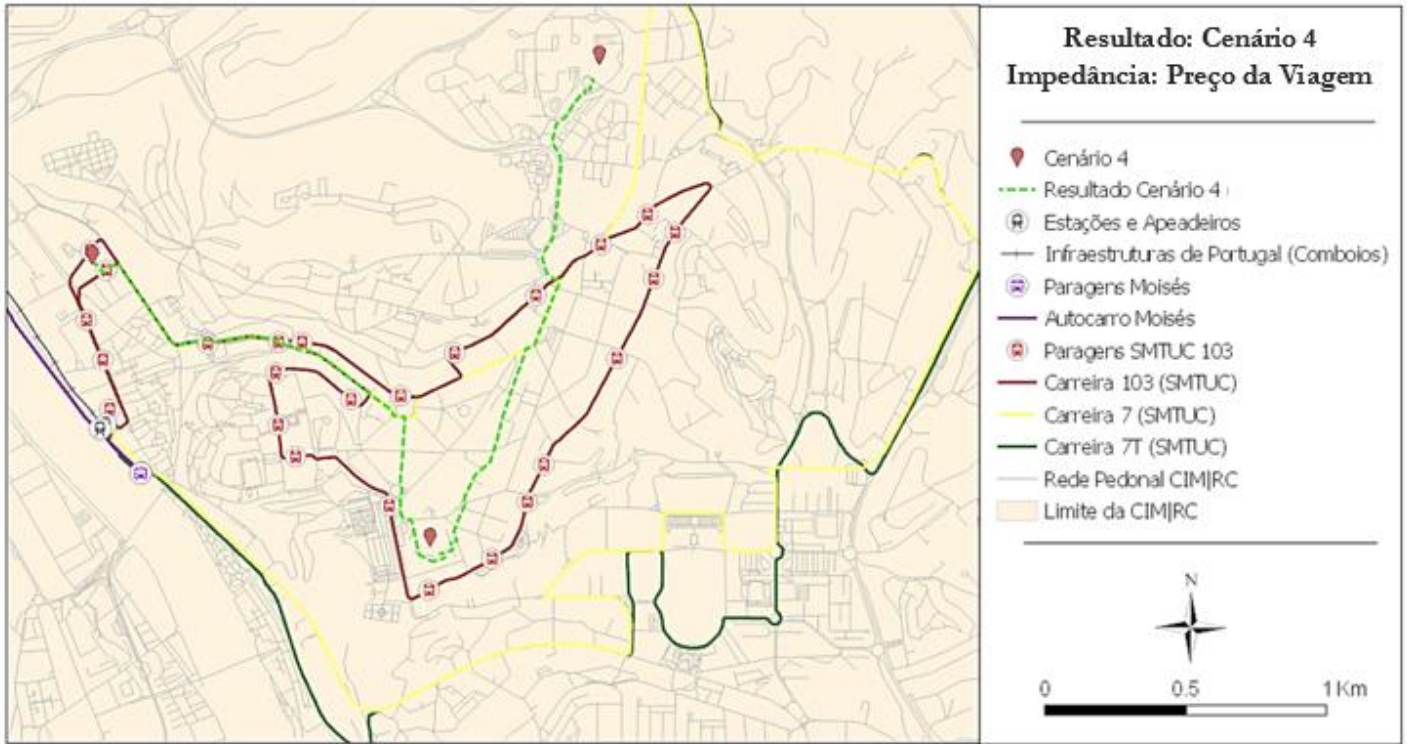
Distância Pedestre (metros)	Tempo Percurso (minutos)	Preço Viagem (€)	Distância Total (metros)
1208,74	44	4,80	6211,72

Figura 92- Rota com menor tempo de viagem do Cenário 4.

Mais uma vez - e conforme explicado anteriormente - a rota mais económica e a rota com menor distância total, têm exatamente as mesmas características, ou seja, mudou-se a impedância mas o resultado é o mesmo (Figura 93 e Figura 94).

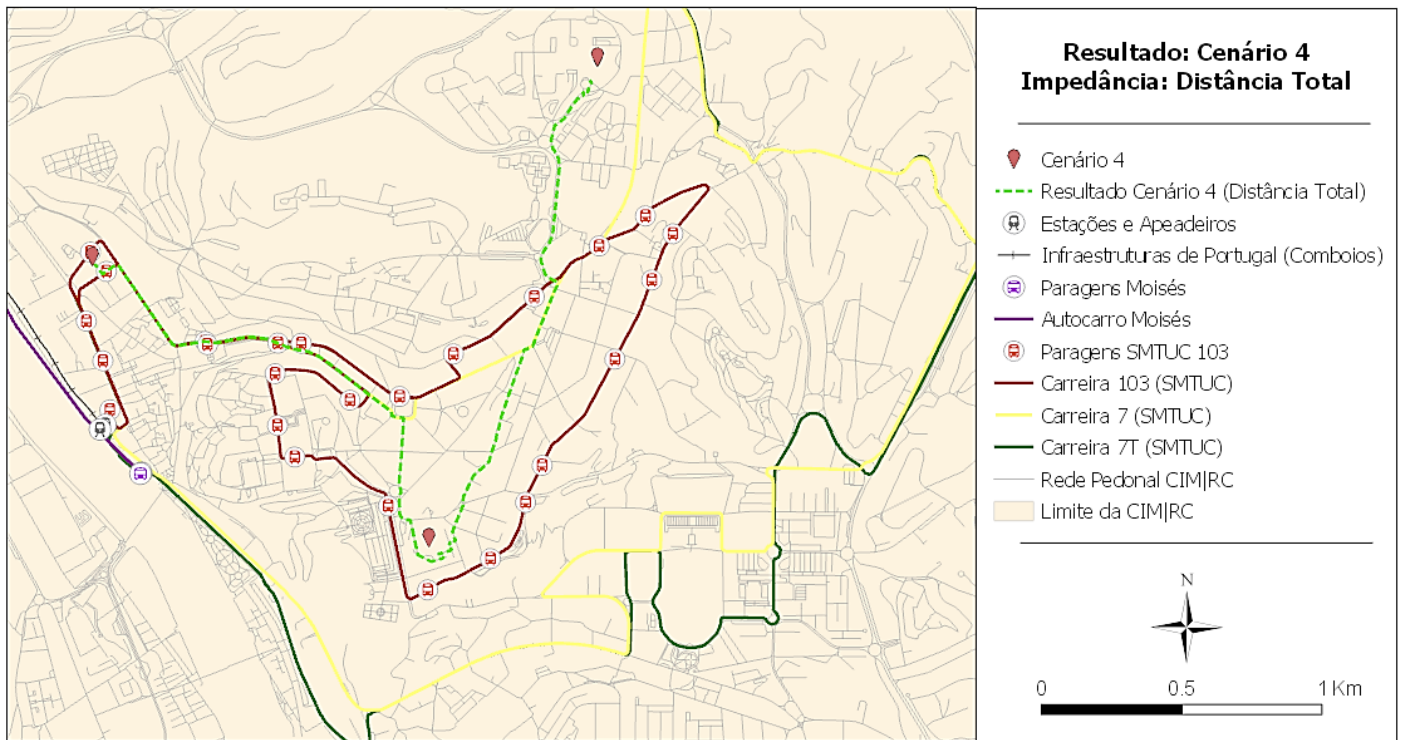
Nesta rota, o utilizador terá que percorrer grande parte a pé, - 3533,43 metros, num total de 3981,22 metros - e recorre apenas a um autocarro dos SMTUC (a carreira 103). Como recorre apenas a um autocarro, o custo total da viagem é de 1,60€ e a duração total da viagem é de 1 hora e 5 minutos.

As direções desta rota podem ser consultadas no Anexo O desta dissertação.



Distância Pedestre (metros)	Tempo Percurso (minutos)	Preço Viagem (€)	Distância Total (metros)
3533,43	65	1,60	3981,22

Figura 93- Rota mais económica do Cenário 4.



Distância Pedestre (metros)	Tempo Percurso (minutos)	Preço Viagem (€)	Distância Total (metros)
3533,43	65	1,60	3981,22

Figura 94- Rota mais curta do Cenário 4.

De seguida, como feito nos cenários anteriores, será apresentada uma tabela que sintetiza as informações das rotas, resultantes do cálculo da melhor rota (conforme as impedâncias) para o Cenário 4 (Tabela 11).

Tabela 11- Exposição dos resultados obtidos no cálculo das rotas do Cenário 4.

Impedância	Distância Pedestre (metros)	Tempo Percurso	Preço Viagem (€)	Distância Total (metros)
Menor distância pedestre	995,57	1h 17min	9,60	13032,68
Menor tempo de viagem	1208,74	44 min	4,80	6211,72
Menor custo	3533,43	1h 5min	1,60	3981,22
Menor distância total	3533,43	1h 5min	1,60	3981,22

Resumidamente, apesar de o utilizador conseguir seleccionar o critério que pretende privilegiar na criação da rota, deverá consultar as restantes opções, visto que, por vezes, as diferenças entre os resultados são pequenas em alguns aspetos, mas muito relevantes noutros.

Deste modo, a escolha da viagem a realizar, deve ser ponderada e planeada adequadamente.

5.2. As rotas resultantes dos cenários e a plataforma SCR

No seguimento dos resultados das melhores rotas para os quatro cenários, consoante a impedância selecionada pelo utilizador, verificou-se que os resultados na generalidade foram ao encontro do esperado, uma vez que antes do cálculo das melhores rotas, foi simulado para cada cenário, manualmente, as viagens. Estas simulações aproximaram-se o mais possível à realidade do planeamento de viagens multimodais e intermunicipais e tiveram como objetivo confrontar com os resultados obtidos pela extensão Network Analyst. Era expectável que, no cálculo das rotas com menor preço de viagem, o preço da viagem fosse de 0 euros e que a rota se efetuasse no modo pedonal. Porém, em alguns casos este facto não se verificou por falta de conectividade na rede pedonal que permitisse o fluxo somente no modo pedestre.

É importante consciencializar as entidades competentes das potencialidades que uma plataforma com estas características, na medida que ao apostar na disponibilização de informação para o público sobre o planeamento de viagens, promove a utilização dos transportes públicos em detrimento do transporte individual.

Concluindo, o protótipo desenvolvido foi testado e validado nos cenários considerados, revelando a importância do desenvolvimento de uma plataforma que concilie os diferentes modos de transporte da Região de Coimbra e que promova a ligação entre os concelhos da região através do

transporte público, contribuindo efetivamente para uma melhor utilização dos transportes na CIM|RC.

5.3. Representação e visualização dos resultados

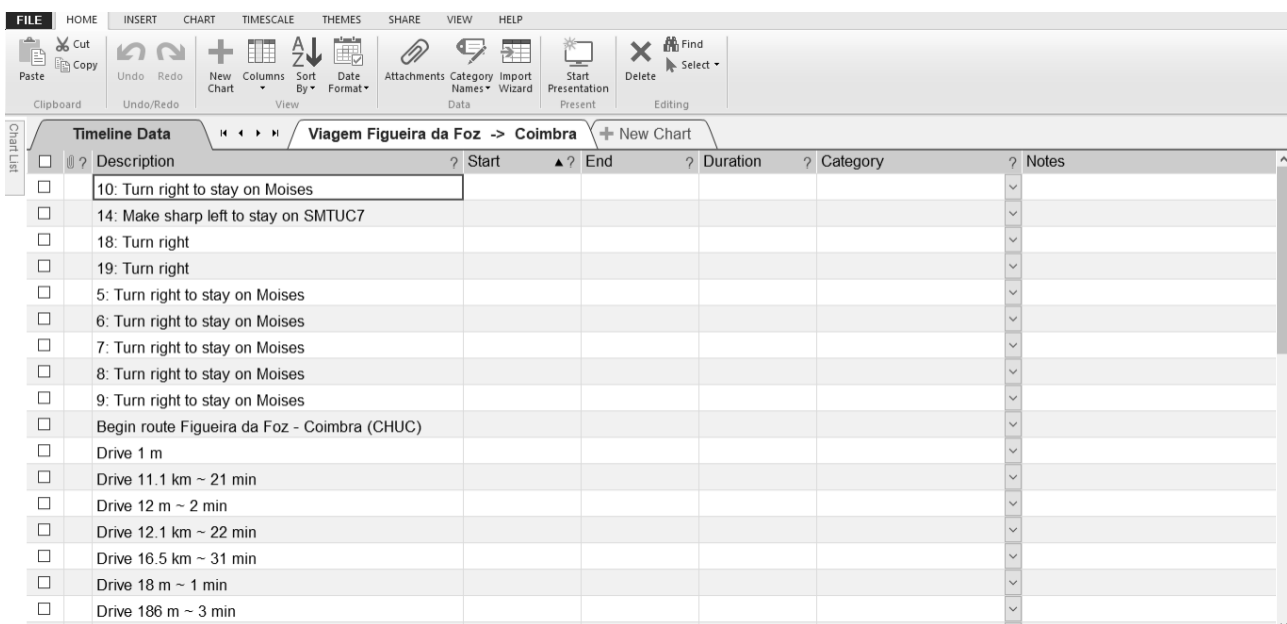
Na secção anterior foram conhecidos os cenários considerados e visualizados em mapas as rotas resultantes do cálculo da melhor rota conforme as preferências do utilizador. Contudo, achou-se pertinente inserir a visualização temporal da rota, em que através de uma linha do tempo, conhecemos as indicações da rota com uma perceção temporal.

As rotas resultantes da obtenção da melhor rota, a partir da seleção da impedância, foram inseridas no ArcGIS Online, apenas para conhecer esta ferramenta do ArcGIS e visualizar os dados numa interface *online*.

5.3.1. Linha do tempo (*Timeline*)

As direções com as indicações referentes à viagem, provenientes do cálculo da melhor rota, podem ser guardadas em ficheiro TXT (*.txt), HTML Document (*.html), HTML Document with Maps (*.html), XML (*.xml) e CSV (*.csv).

Com o intuito de se visualizarem os resultados gerados numa linha do tempo, guardaram-se as direções da viagem do Cenário 1 - a iniciar a viagem às 9h (Figueira da Foz -> Coimbra) - em ficheiro de texto e procedeu-se à visualização dos resultados através do programa Timeline Maker Pro, que tem a seguinte configuração, após a devida importação do ficheiro de texto (Figura 95):



The screenshot shows the Timeline Maker Pro application window. The title bar reads "Viagem Figueira da Foz -> Coimbra". The main area contains a table with the following columns: Description, Start, End, Duration, Category, and Notes. The table lists various driving instructions and distances.

Description	Start	End	Duration	Category	Notes
10: Turn right to stay on Moises					
14: Make sharp left to stay on SMTUC7					
18: Turn right					
19: Turn right					
5: Turn right to stay on Moises					
6: Turn right to stay on Moises					
7: Turn right to stay on Moises					
8: Turn right to stay on Moises					
9: Turn right to stay on Moises					
Begin route Figueira da Foz - Coimbra (CHUC)					
Drive 1 m					
Drive 11.1 km ~ 21 min					
Drive 12 m ~ 2 min					
Drive 12.1 km ~ 22 min					
Drive 16.5 km ~ 31 min					
Drive 18 m ~ 1 min					
Drive 186 m ~ 3 min					

Figura 95- Importação do ficheiro de texto das direções no programa Timeline Maker Pro.

Neste exemplo, a informação teve que ser editada (Figura 96) e configurada manualmente para de seguida ser construída automaticamente a *Timeline* no programa apenas para visualização por parte do utilizador das indicações da rota com o tempo inserido manualmente e sem referência ao tempo de espera, porque foi utilizado o ficheiro de texto que não tem referência temporal nem recorre aos horários dos transportes considerados (Figura 97).

No segundo exemplo (Figura 99), a componente temporal já se encontra de forma automática na *Timeline*, uma vez que com o protótipo da aplicação em Python há a integração dos horários dos transportes.

1: Inicie na Figueira da Foz	9:00:00
2: Vá para Norte	9:00:00
3: Dirija-se para a Paragem do Moises	9:02:00
4: Entre no Moises	9:03:00
11: Saía do Moises	10:32:00
12: Vire à esquerda em sentido da Paragem do 7 (...)	10:33:00
13: Entre no linha 7 (SMTUC)	10:34:00
15: Saía da linha 7	10:42:00
16: Vire à direita para a Avenida Bissaya Barreto / ...	10:43:00
17: Vire à direita em sentido dos CHUC	10:45:00
20: Chegou ao destino Coimbra (CHUC)	10:49:00

Figura 96- Edição da informação das direções

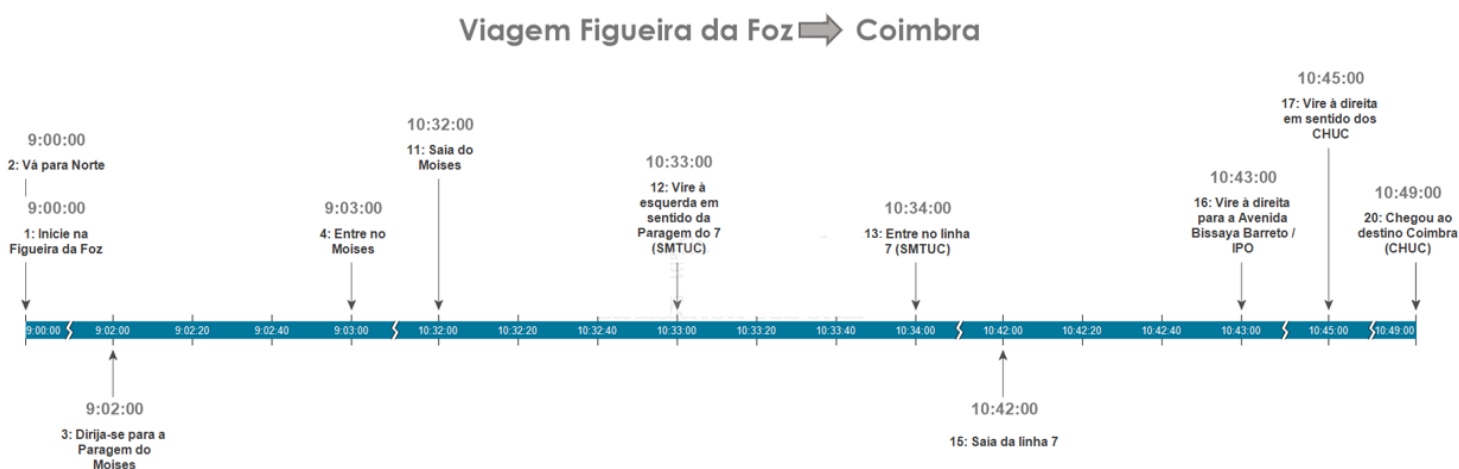


Figura 97- *Timeline* 1 da viagem entre Figueira da Foz e Coimbra a iniciar às 9h.

Na secção 4.2.4.3. fez-se a descrição das funcionalidades do código desenvolvido para a integração dos horários dos transportes públicos e das direções da rota do Network Analyst para o Cenário 1 com menor distância pedestre. Na mesma secção, referiu-se que o código devolve um ficheiro, em formato CSV (“mytimeline.csv”), que contém as indicações sobre a rota, o tempo da viagem, a distância, o tempo de espera pelo transporte público e as horas, ou seja, uma *Timeline* simples. Perante a existência desta informação, achou-se pertinente usar uma ferramenta externa ao ArcGIS para gerar uma *Timeline* e, desta forma, proporcionar ao utilizador a visualização de uma linha do tempo com todas as indicações sobre a viagem. O programa utilizado, foi igualmente o Timeline Maker Pro, mas desta vez sem a necessidade de inserir manualmente a informação porque o ficheiro “mytimeline” é importado para a plataforma, possibilitando a criação automática da *Timeline* (Figura 98).

The screenshot shows the Timeline Maker Pro interface with a table titled "Timeline Data" for the journey "Viagem: Figueira da Foz - Hospital Central CHUC". The table has columns for ID, Description, Start, and Duration. It lists 20 events, each with a checkmark in the first column, indicating they are selected. The events describe driving directions, distances, and wait times along the route.

ID	Description	Start	Duration
1	1 'Start at Figueira da Foz'];	09:00	
2	2 'Go north'; 'Drive 12 m ~ 2 min']	09:00	
3	3 'Make sharp right on Moises'; 'Drive 2 m + 63 min (wait)']	09:02	
4	4 'Turn left to stay on Moises'; 'Drive 16.5 km ~ 31 min']	10:05	
5	5 'Turn right to stay on Moises'; 'Drive 7 m']	10:36	
6	6 'Turn right to stay on Moises'; 'Drive 12.1 km ~ 22 min']	10:36	
7	7 'Turn right to stay on Moises'; 'Drive 3 m']	10:58	
8	8 'Turn right to stay on Moises'; 'Drive 2.4 km ~ 5 min']	10:58	
9	9 'Turn right to stay on Moises'; 'Drive 3 m']	11:03	
10	10 'Turn right to stay on Moises'; 'Drive 11.1 km ~ 21 min']	11:03	
11	11 'Turn right to stay on Moises'; 'Drive 3 m']	11:24	
12	12 'Make sharp left'; 'Drive 34 m ~ 3 min']	11:24	
13	13 'Bear right at Portagem on SMTUC7'; 'Drive 1 m']	11:27	
14	14 'Make sharp left to stay on SMTUC7'; 'Drive 3.5 km ~ 13 n...	11:27	
15	15 'Turn right to stay on SMTUC7'; 'Drive < 1 m']	11:56	
16	16 'Turn right at Avenida Bissaya Barreto / IPO'; 'Drive 18 m ...	11:56	
17	17 'Turn right'; 'Drive 417 m ~ 8 min']	11:57	
18	18 'Turn right'; 'Drive 186 m ~ 3 min']	12:05	
19	19 'Turn right'; 'Drive 33 m ~ < 1 min']	12:08	
20	20 'Finish at Hospital Central CHUC; on the right']	12:08	
	Enter new event here...		

Figura 98- Importação do ficheiro CSV “mytimeline.csv” no programa Timeline Maker Pro.

O programa disponibiliza quatro *templates*, mas considerou-se apenas um *templates* para a visualização dos pormenores da viagem (Figura 99).

A linha do tempo permite a visualização temporal e gráfica da viagem, de forma a simplificar e facilitar a interpretação das indicações fornecidas pela função Route do Network Analyst e, é sem dúvida uma mais valia para as plataformas de simulação de viagens.

Viagem: Figueira da Foz - Hospital Central CHUC

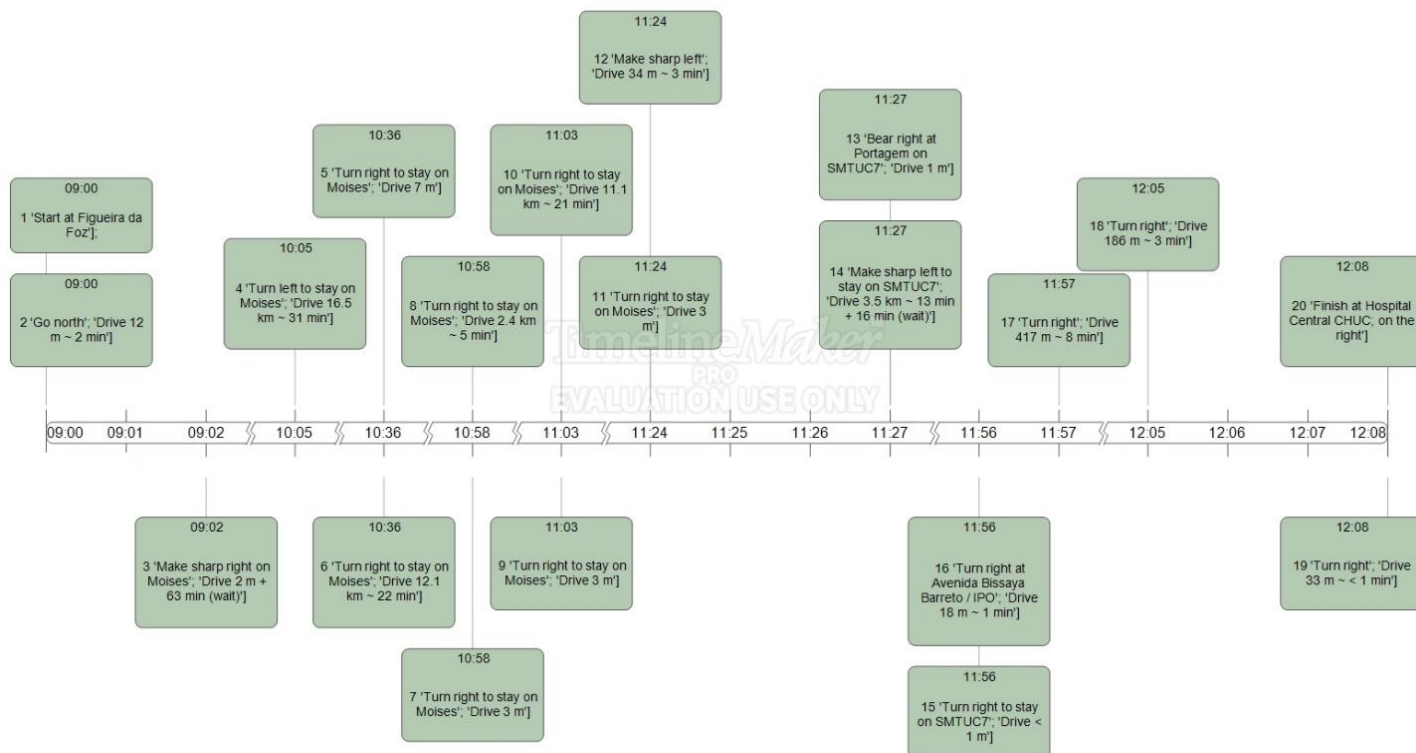


Figura 99- *Timeline 2* da viagem entre Figueira da Foz e Coimbra a iniciar às 9h.

5.3.2. ArcGIS Online

O ArcGIS permite que o projeto realizado seja disponibilizado eletronicamente na Web, para visualização e edição privada ou pública (Figura 100).

Sendo assim, disponibilizou-se no ArcGIS Online o que foi realizado, ou seja, os dados e as rotas originárias dos cenários tidos em conta, de forma a experimentar outra das funcionalidades do ArcGIS.

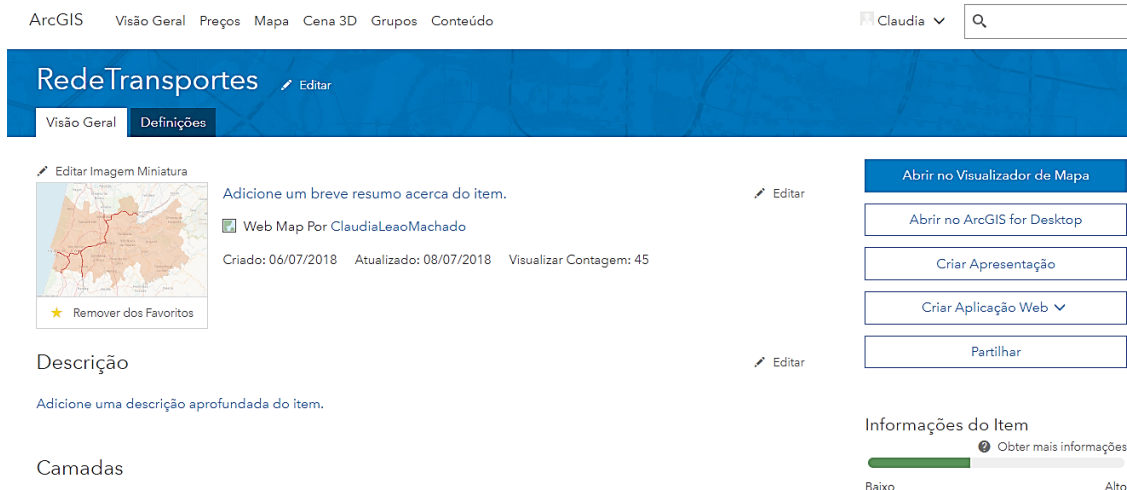


Figura 100- A rede de transportes disponibilizada no ArcGIS Online.

Na Figura 101 temos a representação da rede ferroviária e da rede rodoviária do Moisés no ArcGIS Online.

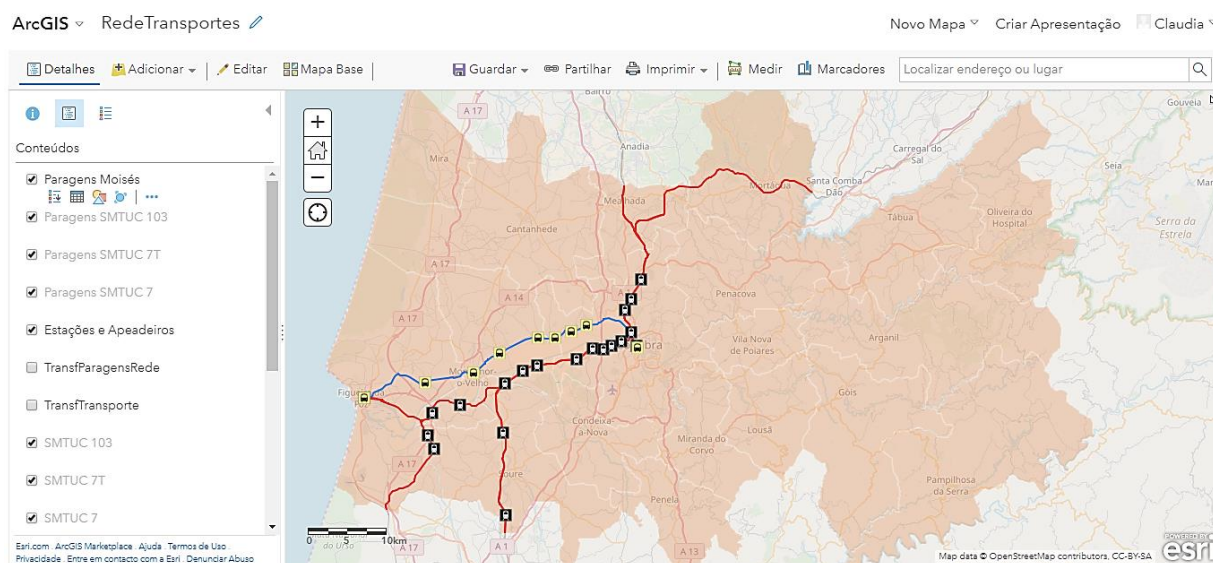


Figura 101- Representação da rede ferroviária e rodoviária do Moisés na interface do ArcGIS Online.

Na Figura 102 é representada toda a rede de transportes concebida em ArcMap e ArcGIS Pro e disponibilizada para consulta no ArcGIS Online, uma vez que é gerado um *link* de partilha com o público.

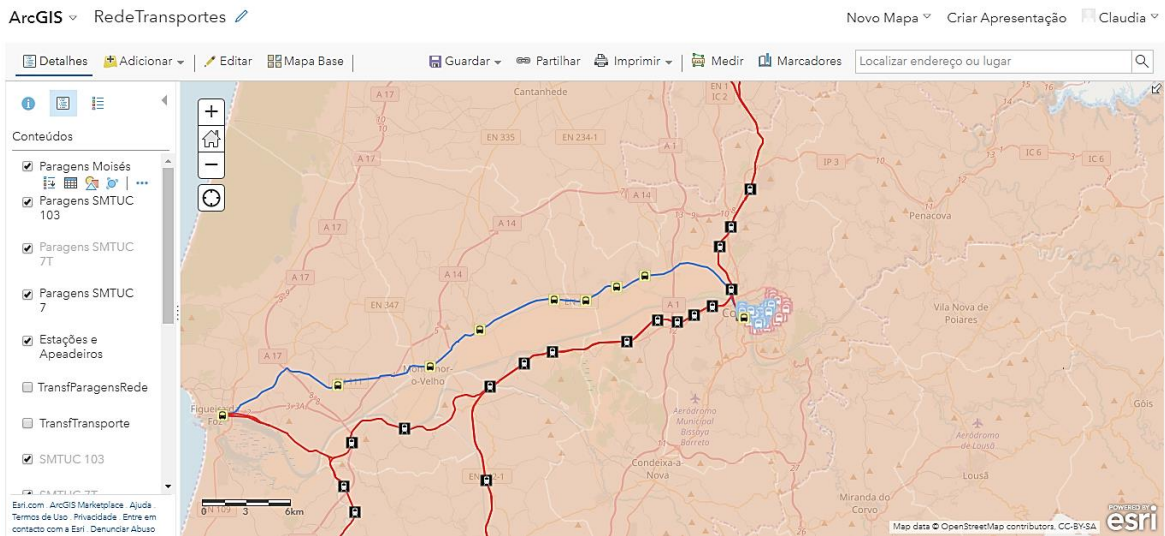


Figura 102- Representação de toda a rede de transportes.

Por fim, na Figura 103 está representada pormenorizadamente a rede rodoviária dos SMTUC no limite urbano de Coimbra.

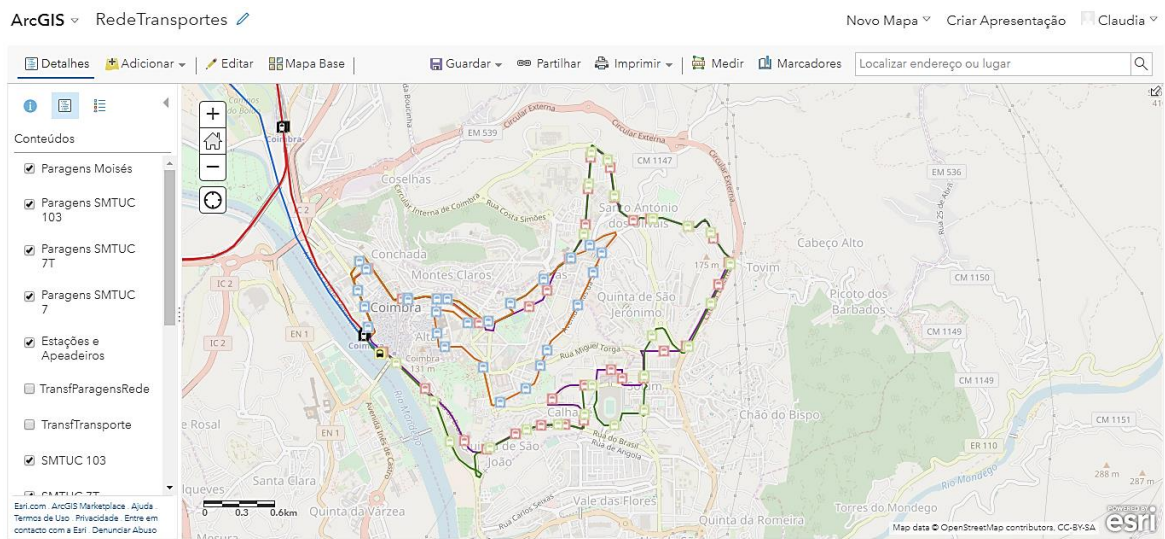


Figura 103- Representação fundamentalmente da rede rodoviária dos SMTUC no limite urbano de Coimbra.

Embora a utilização do ArcGIS Online tenha sido, fundamentalmente, para conhecer e avaliar as suas funcionalidades e para visualização da informação na Web, foi possível, a partir do ArcGIS Online, conceber uma aplicação Web, tendo como base *templates* do ArcGIS para diversas temáticas. Esta funcionalidade é interessante para um trabalho futuro, de forma a dar continuidade ao que foi realizado nesta dissertação.

6. Conclusões

O transporte representa uma das atividades humanas mais importantes e é uma componente indispensável da economia, desempenhando um papel fulcral nas relações espaciais.

Atualmente, há uma preocupação maior em proporcionar melhores condições de deslocação aos cidadãos, permitindo que façam escolhas inteligentes, a partir do acesso a informação disponibilizada pelos operadores de transportes públicos. Por escolhas inteligentes, entende-se a seleção adequada de viagens com custos mais acessíveis, com tempos aceitáveis de espera e percursos que minimizem as distâncias total e pedonal a percorrer.

Porém, a transição do transporte pessoal para o transporte público (em deslocações entre casa e trabalho e/ou casa e escola, por exemplo), por parte da população, não se verifica, nomeadamente na Região de Coimbra. Uma das razões para esta situação deve-se à falta de informação necessária para o planeamento de viagens - tanto na cidade de Coimbra como entre os concelhos da região - e à integração de vários meios de transporte da região, numa única plataforma. Por exemplo, o operador de transporte público Moisés Correia de Oliveira Gestão e Inovação de Transportes (conhecido, apenas, por Moisés) não disponibiliza informação sobre as rotas que efetua, nem os horários nem o preço. Perante esta situação, para se obter informações sobre as rotas, é necessário entrar em contacto por telefone com o operador ou recorrer aos pontos de venda de bilhetes. Em contrapartida, a Transdev já tem a sua página Web desenvolvida com o intuito de disponibilizar informação à população. Estas questões afetam a acessibilidade da população e, segundo a Comunidade Intermunicipal da Região de Coimbra (2017), é fundamental garantir a acessibilidade para todos, tanto na inclusão territorial, social e física, considerando os diversos modos de transporte; assegurar a eficiência do sistema de acessibilidades, reconhecendo a diversidade da procura e adaptando a oferta; promover a integração abrangente do sistema de mobilidade – física (particularmente nos interfaces), tarifária, lógica (informação e integração de horários) e institucional (facilitando a regulação e operacionalização) e assegurar a participação pública, desde o início do planeamento, aumentando a transparência das decisões. A CIM|RC tem como estratégia a pequeno/médio prazo, a criação de um sistema de integração bilhética e tarifária dos diversos operadores de transporte público e a criação de títulos de transporte multimodais. Assim, os diversos tipos de serviço de transporte público, suburbano e urbano, devem funcionar numa lógica de compatibilização e não de concorrência.

A disponibilização de informação ao público e a possibilidade de definir as preferências relativamente ao modo de transporte e aos trajetos, permitem um planeamento adequado e atempado da viagem, por parte do utilizador. Os utentes dos transportes, ao serem informados, utilizam as redes

de transporte de forma mais organizada e inteligente, aumentando a usabilidade do sistema de transportes públicos independentemente de operarem em rotas específicas com horários fixos.

Parafraseando a Comunidade Intermunicipal da Região de Aveiro (2014), “a articulação entre modos de transporte, visa a implementação de um sistema integrado de mobilidade, permite diminuir o uso do transporte individual e, simultaneamente, garante a adequada mobilidade das populações, promovendo a inclusão social e a qualidade de vida da região”.

De forma a combater o uso do transporte individual, é elementar que as empresas dos transportes públicos melhorem a disponibilização de informação ao público, através de páginas Web e aplicações móveis, com mapas intuitivos, consulta de horários e circuitos, pontos de paragem e transbordo de passageiros, disponibilizando informação adequada antes da realização da viagem e desenvolvendo soluções necessárias ao melhoramento do acesso ao transporte público.

A multimodalidade verifica-se na Região de Coimbra, uma vez que contempla o transporte rodoviário (urbano e regional) e o transporte ferroviário. Contudo, a integração de diferentes modos ainda não é considerada na Região e é uma das condições essenciais para a promoção de uma mobilidade que vá ao encontro das necessidades dos utentes e da promoção do uso do transporte público em detrimento do transporte individual. A integração de diferentes modos de transporte consiste na possibilidade de a população articular na sua viagem diferentes transportes para que a acessibilidade e a deslocação entre a origem e o destino sejam facilitadas.

A ideia do projeto-piloto “Simplificar Coimbra e sua Região” surgiu a partir das fragilidades presentes na integração e utilização do transporte público multimodal a nível intermunicipal na região.

As fragilidades na integração e utilização do transporte público multimodal a nível intermunicipal, verifica-se pela falta de informação para o público sobre os serviços de transporte público, sobre as rotas e frotas dos operadores, horários, tarifas e a impossibilidade de planear uma viagem numa só plataforma.

No sentido de promover a melhor utilização dos transportes públicos coletivos na Região de Coimbra, desenvolveu-se um protótipo que permite simular viagens que vão ao encontro das necessidades do utilizador e das suas preferências, recorrendo à funcionalidade Route da extensão Network Analyst do ArcGIS. Nesta funcionalidade, através de um ponto de origem e um de destino, definidos pelo utilizador, é apresentada a rota que permite a deslocação entre esses pontos, conforme as impedâncias, podendo ser a mais curta, a mais rápida ou a mais económica.

Para testar e avaliar o protótipo desenvolvido foram considerados quatro cenários na Região de Coimbra, que representam a deslocação entre diversos pontos da região e o Hospital Central da Universidade de Coimbra, em Coimbra. Estes cenários representam situações problemáticas de mobilidade verificadas diariamente pela população da região. Ao gerar a rota, independentemente da

impedância selecionada, é disponibilizada informação sobre a distância total da viagem, a distância pedestre, a tarifa, o tempo de viagem, as direções passo-a-passo da viagem e os transbordos a realizar. Neste projeto, apenas se consideraram três carreiras dos SMTUC (7, 7T e 103), a rota do Moisés entre a Figueira da Foz e Coimbra e a rede ferroviária da CIM|RC.

A rede considerada, revelou-se complexa devido ao pré-processamento dos dados, à criação da topologia, à multimodalidade e ao número de modos de transporte considerados. Além disso, foram muitos os erros topológicos que surgiram, como por exemplo, a falta de conectividade entre as redes (erros de *overshoot* e *undershoot*), a ausência de topologia da primeira rede de eixos de via utilizada (pelo que, aquando da descoberta da falta de topologia no decorrer da implementação desta sub-rede, teve que se considerar outra rede de eixos de via com a finalidade de ser utilizada como rede pedonal), e o erro de integração da Feature Class “arcos de ligação” na rede. Com isto, ao longo da realização do trabalho, foram criados, eliminados e alterados, por diversas vezes, os atributos da rede. Daqui resulta que, sempre que se realiza alguma alteração ou edição na geometria das Feature Classes presentes, a topologia tem que ser verificada e atualizar os dados da tabela de atributos.

É importante mencionar que, na pesquisa de bibliografia sobre a construção de redes topológicas e cálculo de rotas, se encontrou essencialmente informação relativa à otimização de transportes de passageiros e de mercadorias. Deste modo, foi fundamental compreender estas temáticas e adaptá-las ao trabalho que se pretendia realizar.

A nível do Network Analyst, surgiram algumas dificuldades, na medida que não se encontra preparado para consultar e processar a rota recorrendo aos horários, seja qual for o formato em que se encontrem. Assim, foram implementadas e testadas soluções para integrar os horários na rede topológica, como é exemplo a inserção do *hyperlink* nas paragens do transporte público e a criação de um protótipo de uma aplicação em Python.

O desenvolvimento deste projeto previu contribuir para a criação de uma plataforma que incluía o transporte multimodal e intermunicipal na Comunidade Intermunicipal de Coimbra. A criação de uma plataforma para o público com estas especificidades, é fulcral na medida de possibilitar um planeamento ajustado e atempado das viagens a realizar pelos utilizadores, entre os concelhos da Região de Coimbra, recorrendo a diferentes operadores de viagens.

Com base no objetivo geral e nos objetivos específicos definidos, conclui-se que os objetivos foram atingidos na totalidade. A rede topológica está a funcionar corretamente e os resultados obtidos foram os esperados e os adequados perante os dados e as impedâncias considerados nos cenários de teste.

É de salientar a pertinência da utilização de outros *softwares* do ArcGIS que ainda não tinham sido explorados (ArcGIS Pro e ArcGIS Online), conhecendo-se as particularidades e funcionalidades dos mesmos.

A extensão Network Analyst do ArcGIS, apesar de não ser possível incrementar os horários dos transportes no cálculo das rotas, revelou-se uma ferramenta extremamente vantajosa quando aplicada à criação da melhor rota com transportes públicos.

É importante ressaltar que no decorrer do projeto, foram testadas diversas funcionalidades e soluções aos problemas apresentados, principalmente ao problema de integração dos horários dos transportes na rota.

Resumidamente, no projeto desenvolvido, foram calculadas as melhores rotas, entre vários pontos e conforme as preferências possíveis de considerar. Estas preferências podem ir da eleição pela rota mais curta, a rota mais rápida, a rota mais económica ou a rota com menor esforço físico associado. Após o cálculo da melhor rota, é possível gerar as direções passo-a-passo da rota, de forma a pormenorizar todos os passos e facilitar a compreensão das etapas da viagem pretendida.

A temática da disponibilização de informação ao público sobre os transportes públicos coletivos, é fundamental e cada vez mais, é essencial promover a acessibilidade aos transportes públicos em detrimento ao transporte individual, principalmente no núcleo urbano. A informação presente nas plataformas como as mencionadas de SIG-T e no projeto desenvolvido nesta dissertação, relevam-se cruciais para o incremento do transporte público na sociedade atual.

6.1. Trabalho futuro

Como foi mencionado anteriormente, os Sistemas de Informação Geográfica aplicados aos transportes públicos têm vindo a ganhar importância e a serem desenvolvidas diversas estratégias e plataformas que facilitam o acesso e utilização dos transportes públicos no quotidiano.

Numa perspetiva de trabalho futuro, é importante trabalhar e integrar as redes de transporte de todos os operadores de transporte da região numa só plataforma, automatizando o planeamento de viagens e tornando a aplicação genérica, não estando direcionada somente para os cenários considerados.

Para além da automatização das funcionalidades da plataforma criada (SCR), poderá ser desenvolvido o cálculo da rota a partir do menor número de transbordos que, apesar de serem descritos os transbordos na nossa plataforma, não é possível selecionar esta condição como impedância. Outras componentes importantes a desenvolver, é a visualização em tempo real da localização dos transportes públicos, a fim de saber qual a carreira (no caso do transporte rodoviário) que está a chegar à paragem

mais próxima da localização do utilizador e a integração de um serviço de notificações e alerta ao utilizador, via *sms*, de condicionamentos da sua viagem.

Concluindo, seria interessante, numa perspetiva de trabalho futuro, desenvolver o projeto piloto Simplificar Coimbra e Sua Região, a fim de disponibilizá-lo ao público com todas as características referidas e consideradas neste trabalho, para que a população da Comunidade Intermunicipal de Coimbra faça o melhor uso da rede de transportes da região.

Bibliografia

- ARANHA, J. T. (2006) *Sistemas de Informação Geográfica, Conceitos e Aplicações*. Universidade de Trás-os-Montes e Alto Douro.
- ASSOCIAÇÃO NACIONAL DAS EMPRESAS DE TRANSPORTES URBANOS (2013) *ITS- Sistemas Inteligentes de Transporte*.
- ATKINS/WAY2GO (2014) *Relatório 3 - Relatório Estratégico Parte 1- Estudo de Mobilidade Integrada da Associação de Municípios de Fins Específicos Quadrilátero Urbano*. Lisboa.
- BARREIRA, N. M. (2016) Sistema Inteligente para otimização de rotas. *Dissertação de Mestrado em Engenharia Eletrotécnica e de Computadores*. Faculdade de Ciências e Tecnologias da Universidade Nova de Lisboa.
- BVG (2017) Página de Berliner Verkehrsbetriebe, <http://www.bvg.de/en/>. Acedido a 20 de novembro de 2018.
- BURROUGH, P. A. (1986) *Principles of geographic information systems for land resources assessment*. Oxford: Clarendon Press.
- BURROUGH, P. A., MCDONNELL, R. A. (1998) *Principles of Geographical Information Systems*. Oxford: University Press.
- CAMPOS, M. L. (2014) Otimização da recolha de resíduos urbanos: Caso de estudo de Aveiro. *Dissertação de Mestrado em Engenharia do Ambiente*. Departamento de Ambiente e Ordenamento da Universidade de Aveiro, Aveiro.
- CAOP 2017 (2018) Página da DGT, http://www.dgterritorio.pt/cartografia_e_geodesia/cartografia/carta_administrativa_oficial_de_portugal_caop_/caop__download_/carta_administrativa_oficial_de_portugal__versao_2017__em_vigor_/. Acedido a 2 de Janeiro de 2018.
- CARÔCO, A. M. (2013) Simulação de uma cadeia logística de transporte de mercadorias. A problemática das emissões de carbono. *Dissertação em Engenharia Civil*. Técnico de Lisboa.
- CATALÃO, D. F. (2015) O contributo dos SIG com recurso a ferramentas de código aberto e programação em Python para o planeamento do transporte coletivo: o caso da cidade do Porto. *Dissertação de Mestrado em Sistemas de Informação Geográfica e Ordenamento do Território*. Faculdade de Letras, Universidade do Porto.
- CHANG, K.-T. (2010) *Introduction to Geographic Information Systems*. New York: Mc Graw Hill- Higher Education.
- CIM|RC. (2018) Página da Comunidade Intermunicipal da Região de Coimbra, <http://cim-regiaodecoimbra.pt/>. Acedido a 5 de maio de 2018.

- COIMBRA.MOVE-ME (2018) Página da Coimbra.MOVE-ME, <http://coimbra.move-me.mobi/>.
Acedido a 2 de junho de 2018.
- COMISSÃO EUROPEIA (2001) *Livro Branco- A Política Europeia de Transportes no Horizonte 2010: a Hora das Opções*. Luxemburgo.
- COMUNIDADE INTERMUNICIPAL DA REGIÃO DE AVEIRO (2014). Plano Intermunicipal de Mobilidade e Transportes da Região de Aveiro. Região de Aveiro.
- COMUNIDADE INTERMUNICIPAL DE COIMBRA (2016) Plano Intermunicipal de Mobilidade e Transportes da Região de Coimbra. *Relatório final para divulgação*. Coimbra.
- COMUNIDADE INTERMUNICIPAL REGIÃO DE COIMBRA (2017) Plano de Ação de Mobilidade Urbana Sustentável. Águeda.
- COSTA, A. P. (2008) *Manual de Planeamento das Acessibilidades e da Gestão Viária. Transportes Públicos*. Comissão de Coordenação e Desenvolvimento Regional do Norte (CCDR).
- CP (2017) Página da CP, <https://www.cp.pt/passageiros/pt>. Acedido a 20 de novembro de 2017.
- CRUZ, F. D. (2014) A mobilidade no Polo II da Universidade de Coimbra. *Dissertação de Mestrado em Engenharia Civil na Especialidade de Urbanismo, Transportes e Vias de Comunicação*. Departamento de Engenharia Civil da Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade de Coimbra, Coimbra.
- DATACENTRO - Informação para a Região (2017). Página da DataCentro da CCDR, <http://datacentro.ccdrc.pt/Viewer.aspx>. Acedido a 17 de novembro de 2017.
- DIREÇÃO GERAL DO DESENVOLVIMENTO REGIONAL (2005) *Formulação de Políticas Públicas no Horizonte 2013. Acessibilidades e Transportes*. Lisboa.
- DIREÇÃO GERAL DO TERRITÓRIO (2017) Página da DGT, <http://www.dgterritorio.pt/>.
Acedido a 5 de outubro de 2017.
- DURAND, A. E. (2013) Centro de operações integrado: Câmara Municipal do Barreiro. Cidades Inteligentes- Análise de um estudo de caso. *Dissertação de Mestrado em Sistemas de Informação Geográfica*. Escola Superior de Ciências Empresariais no Instituto Politécnico de Setúbal.
- ESRI MANAGE DATA (2018) Página da ESRI,
<https://desktop.arcgis.com/en/arcmap/10.3/main/manage-data/what-is-geodata.htm>.
Acedido a 7 de junho de 2018.
- ESRI NETWORK ANALYST (2017) Página do Network Analyst do ArcGIS,
<http://desktop.arcgis.com/en/arcmap/latest/extensions/network-analyst/network-elements.htm>. Acedido a 15 de novembro de 2017.
- ESRI (2012) *Tutorial de Network Analyst*. Obtido de Help ArcGIS.

- ESRI (2018) Página What are map projections?, <http://desktop.arcgis.com/en/arcmap/10.3/guide-books/map-projections/what-are-map-projections.htm>. Acedido a 7 de junho de 2018.
- EXAMPLES GTFS FEED (2018) Página do Google Transit, <https://developers.google.com/transit/gtfs/examples/gtfs-feed>. Acedido a 5 de maio de 2018.
- FEDERAL TRANSIT ADMINISTRATION- OFFICE OF RESEARCH, DEMONSTRATION AND INNOVATION (2000) *Advanced Public Transportation Systems: The State of the Art*. Washington.
- FERRAZ, I. O. (2012) Aplicação de SIG em Sistemas de Informação ao Cliente de Transportes Públicos. *Dissertação de Mestrado em Sistemas de Informação Geográfica*. Universidade da Beira Interior.
- FERREIRA, P. R. (2007) Metodologia para geração de mapas de transporte público urbano em um ambiente de Sistemas de Informação Geográfica Livre via Web. *Dissertação de Mestrado em Ciências em Engenharia de Transportes*. Universidade Federal do Rio de Janeiro.
- FERREIRA, S. M. (2004) Planeamento de transportes com apoio de Sistemas de Informação Geográfica. A rede de transportes urbanos de Braga. *Seminário Científico em Geografia e Planeamento*. Universidade do Minho, Braga.
- FIGUEIRA, V. J. (2014) Identificação do modo de transporte através de informação GPS. *Dissertação de Mestrado em Engenharia Informática e Computação*. Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto.
- FIGUEIREDO, L. B. (2005) Sistemas Inteligentes de Transportes. *Dissertação de Doutoramento em Engenharia Electrotécnica e de Computadores*. Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto.
- FIGUEIREDO, L., JESUS, I., MACHADO, J. T., and FERREIRA, J. R. (2002) Sistemas Inteligentes de Transporte, *Ingenium* 2ª série, 71, 84-92.
- FILHO, J. B. (2002) Alternativas de redes multimodais para o transporte público na zona Oeste da Região Metropolitana de Fortaleza. Fortaleza: *Dissertação de Mestrado em Engenharia de Transportes*.
- GASPAR, J. (2008) *Dicionário de Ciências Cartográficas (2ª edição)*. Lisboa: Lidel.
- GOMES, M. N., JÚNIOR, W. C., PALHANO, A. D., COUTINHO, E. F., and DE CASTRO, G. A. (2009) *O Problema do Carteiro Chinês, Algoritmos Exatos e um ambiente MVI para análise de suas instâncias: Sistema Xnês*.
- GOOGLE MAPS (2017) Página do Google Maps, <https://www.google.com/maps>. Acedido a 20 de novembro de 2017.
- GOOGLE TRANSIT (2018) Página do Google Transit, <https://maps.google.com/landing/transit/index.html>. Acedido a 15 de janeiro de 2018.

- GRANCHO, N. J. (2005) Origem e evolução recente dos Sistemas de Informação Geográfica em Portugal. *Dissertação de Mestrado em Ciências e Sistemas de Informação Geográfica*. Instituto Superior de Estatística e Gestão de Informação da Universidade Nova de Lisboa, Lisboa.
- GTFS DATA EXCHANGE (2018) Página da Notice: GTFS Data Exchange Shutting Down, <http://www.gtfs-data-exchange.com/agency/servios-municipalizados-de-transportes-urbanos-de-coimbra/>. Acedido a 10 de Junho de 2018.
- HVV (2017) Página da *Hamburger Verkehrsverbund*, <http://www.hvv.de/>. Acedido a 20 de novembro de 2017.
- INE (2018) Página do Instituto Nacional de Estatísticas- Statistics Portugal, https://www.ine.pt/xportal/xmain?xpgid=ine_main&xpid=INE. Acedido a 31 de maio de 2018.
- INFRAESTRUTURAS DE PORTUGAL (2017) Página das Infraestruturas de Portugal, <http://www.infraestruturasdeportugal.pt/>. Acedido a 20 de novembro de 2017.
- INSTITUTO DE MOBILIDADE E DOS TRANSPORTES TERRESTRES- IMTT (2011) *Tipologias de meios e modos de transporte*.
- KEMP, K. (2008) *Encyclopedia of Geographic Information Science*.
- Kiedy Bus (2017) Página da Kiedy Bus, <https://www.kiedybus.pl/>. Acedido a 20 de novembro de 2017.
- LEI DE BASES DO SISTEMA DE TRANSPORTES TERRESTRES (1990) Artigo 2, 17 de Março de 1990. Diário da República N°64/1990, Lisboa.
- LEITE, M. I. (2012) Aplicabilidade dos SIG na Gestão dos Transportes Públicos. Caso de estudo: Município de Almada. *Trabalho de Projeto em Gestão do Território*. Faculdade de Ciências Sociais e Humanas da Universidade Nova de Lisboa, Lisboa.
- LEVITA, A. R. (2012) InfoBUS anyWhere- aplicação móvel para consulta de transportes públicos. *Dissertação de Mestrado em Engenharia Informática e de Computadores*. Instituto Superior Técnico da Universidade Técnica de Lisboa.
- MAGALHÃES, C. T. (2008) Avaliação de tecnologias de rastreamento por GPS para monitoramento do transporte público por ônibus. *Dissertação de Mestrado em Ciências em Engenharia de Transportes*. Universidade Federal do Rio de Janeiro, Brasil.
- MAGALHÃES, M. S. (2011) Optimização de Rotas. Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto.
- MAIA, C. A., LOUREIRO, C. F. (2015) Modelagem de redes multimodais integradas de transporte público: discussão conceitual e aplicada. *XXIX Congresso Nacional de Pesquisa em Transportes da ANPET*, (1833-1844). Ouro Preto, Brasil.
- MATOS, J. (2008) *Fundamentos de Informação Geográfica (5ª Edição)*. Lisboa: Lidel.

- MCDONNELL, R., and KEMP, K. (1995) *International GIS Dictionary*. USA: John Wiley & Sons, Inc.
- ViaMichelin (2017) Página da ViaMichelin, <https://www.viamichelin.pt/>. Acedido a 20 de novembro de 2017.
- MILLER, H. J., SHAW, S.-L. (2001) *Geographic Information Systems for Transportation. Principles and applications*. New York: Oxford University Press.
- MITCHELL, A. (1999) *The ESRI Guide to GIS Analysis. Volume 1: Geographic Patterns & Relationships*. California: ESRI Press.
- MITCHELL, A. (2005) *The ESRI Guide to GIS Analysis. Volume 2: Spatial Measurements & Statistics*. California: ESRI Press.
- MPT (2017) Página da Mobilidade e Planeamento do Território, <http://www.mobilidadept.com/projetosgaleria.php?cat=an1&zona=0>. Acedido a 20 de novembro de 2017.
- MOOVIT (2017) Página da Moovit, https://moovit.com/?utm_medium=Organic&utm_source=insights_website&customerId=4908&metroId=1905&lang=pt. Acedido a 20 de novembro de 2017.
- MORAIS, P., GUERREIRO, R. and COSTA, N. (2013) Os transportes públicos e a mobilidade dos cidadãos portadores de deficiência motora no Município de Lisboa. IGOT, Universidade de Lisboa.
- MORANG, M. (2018) *Add GTFS to a Network Dataset*. Obtido de <https://www.arcgis.com/home/item.html?id=0fa52a75d9ba4abca6b88bb6285fae1>.
- MORGADO, P. (2002) *Modelação Geográfica de Indicadores de Desenvolvimento Sustentável. Uma aplicação à Área Metropolitana de Lisboa*. Instituto Superior Técnico, Universidade Técnica de Lisboa.
- MORGADO, P. (2011) *Efeito estruturante das redes de transporte no território. Modelo de Análise*. Centro de Estudos Geográficos, Universidade de Lisboa, Lisboa.
- MORO, M. F. (2014) O Problema do Carteiro Chinês aplicado na otimização de rotas usadas na coleta de lixo reciclável: Estudo de caso. *Dissertação de Mestrado*. UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ.
- MOVE-ME.AMP (2017) Página da MOVE-ME AMP, <http://www.move-me.mobi/>. Acedido a 20 de novembro de 2017.
- OLIVEIRA, L. F. (2015) Identificação e representação automática de percursos de autocarros. *Dissertação de Mestrado em Engenharia de Redes de Comunicações e Multimédia*. Instituto Superior de Engenharia de Lisboa.
- ONEBUSAWAY (2017) Página OneBusAway, <https://onebusaway.org/>. Acedido a 20 de novembro de 2017.

- OpenStreetMap (2017) Página OSM, <https://www.openstreetmap.org/search?query=coimbra~#map=12/40.2186/-8.5072>.
Acedido a 10 de outubro de 2017.
- PINTO, J. A. (2011) Análise Espacial de Indicadores da qualidade de serviço de transportes coletivos. *Dissertação de Mestrado em Engenharia do Território*. Instituto Superior Técnico da Universidade Técnica de Lisboa, Lisboa.
- PLANO ESTRATÉGICO DE MOBILIDADE E TRANSPORTES (2016) *Fase II Estratégia de Intervenção*. Município de Leiria.
- RATP (2017) Página da Régie Autonome des Transports Parisiens, <https://www.ratp.fr/>. Acedido a 20 de novembro de 2017.
- ROCHA, A. M., SOARES, J. L. (2006) Resolução do problema do caixeiro viajante assimétrico (e uma variante) através da relaxação Lagrangeana. *Estúdio de Optimização, DMAT, FCTUC*.
- RODRIGUE, J. P., COMTOIS, C., and SLACK, B. (2009) *The Geography of Transport Systems*. Oxon: Routledge.
- RODRIGUES, R. G. (2008) Gestão em tempo real de serviços de transporte de passageiros. *Dissertação de Mestrado em Engenharia Informática*. Instituto Superior Técnico da Universidade Técnica de Lisboa, Lisboa.
- RUST, R. (1983) Um Algoritmo Branch and Bound para resolução de problemas de localização capacitados. *Dissertação de Mestrado*. Universidade Federal do Rio de Janeiro.
- SANTOS, S. (2006) Mobilidades e percepções na "região urbana" de Coimbra. *Cadernos de Geografia*, 24/25, FLUC, 279-292.
- SECO, Á. J., ANTUNES, A. J., COSTA, A. H., and SILVA, A. M. (2008) *Princípios Básicos de Organização das Redes Viárias*. CCDRN- Comissão de Coordenação e Desenvolvimento Regional do Norte.
- SMTUC (2017) Página dos Serviços Municipalizados de Transportes Urbanos de Coimbra, <http://www.smtuc.pt/>. Acedido a 20 de novembro de 2017.
- SERVIÇOS MUNICIPALIZADOS DE TRANSPORTES URBANOS DE COIMBRA (2017) *Grandes Opções do Plano e Orçamento*. Coimbra.
- SILVA, A. N. (1998) Sistemas de Informações Geográficas para planeamento de transportes. *Obtenção do título de Livre-Docente em concurso realizado pelo Departamento de Transportes*. Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo, São Carlos.
- SILVA, D. P. (2006) Sistemas de Informação Geográfica para transportes- uma aplicação aos transportes urbanos de Guimarães. *Dissertação de Mestrado em Ciências e Sistemas de Informação Geográfica*. Instituto Superior de Estatística e Gestão de Informação da Universidade Nova de Lisboa, Lisboa.

- SOUSA, P. M. (2010) *Efeito estruturante das redes de transporte no território. Modelo de análise*. Instituto de Geografia e Ordenamento do Território (IGOT), Universidade de Lisboa.
- SPTRANS (2009) *Sistemas Informatizados para a Gestão do Transporte Coletivo do Município de São Paulo*. São Paulo.
- THEOBALD, D. M. (2007) *GIS Concepts and ArcGIS Methods*. USA.
- TIMELINE MAKER PRO (2008) Página do programa Timeline Maker Pro, <https://www.timelinemaker.com/>. Acedida a 10 de Junho de 2018.
- TRANSPORLIS (2017) Página da Transporlis, <http://www.transporlis.pt/Default.aspx?tabid=36>. Acedido a 20 de novembro de 2017.
- TRANSPORT FOR LONDON (2017) Página TFL, <https://tfl.gov.uk/>. Acedido a 20 de novembro de 2017.
- VERGA, J., YAMAKAMI, A. (2015) Uma abordagem para o problema de transporte multimodal fuzzy. *Anais do I Congresso de Matemática Aplicada e Computacional da Região Sudeste*.
- VINHAS, L. (2012) *Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. Bancos de Dados*. Brasília, Brasil: Ministério da Ciência e Tecnologia.
- WADE, T., and SOMMER, S. (2006) *A to Z GIS: An illustrated dictionary of geographic information systems*. ESRI Press.
- WATERS, N. (1999) *Transportation GIS: GIS-T*, 827-844.
- WORBOYS, M., DUCKHAM, M. (2004) *GIS: A computing Perspective. Second Edition*. USA: CRC Press.

Anexos

Anexo A: Rede ferroviária da CP.

Anexo B: Velocidades consideradas pela REFER na rede ferroviária da CP.

Anexo C: Extensão da rede rodoviária dos Transportes Urbanos de Coimbra (SMTUC).

Anexo D: Direções do cenário 1 para rota com menor distância pedestre.

Anexo E: Direções do cenário 1 para rota com menor tempo de viagem.

Anexo F: Direções do cenário 1 para rota com menor preço associado e rota com menor distância total.

Anexo G: Direções do cenário 2 para rota com menor distância pedestre e rota com menor tempo de viagem.

Anexo H: Direções do cenário 2 para rota com menor preço associado.

Anexo I: Direções do cenário 2 para rota com menor distância total.

Anexo J: Direções do cenário 3 para rota com menor distância pedestre.

Anexo K: Direções do cenário 3 para rota com menor tempo de viagem.

Anexo L: Direções do cenário 3 para rota com menor preço associado e rota com menor distância total.

Anexo M: Direções do cenário 4 para rota com menor distância pedestre.

Anexo N: Direções do cenário 4 para rota com menor tempo de viagem.

Anexo O: Direções do cenário 4 para rota com menor preço associado e rota com menor distância total.

Anexo P: Código desenvolvido em Python.

Anexo Q: Ficheiro TXT (“directions”) exportado das direções do Network Analyst.

Anexo R: Horário da carreira 7 dos SMTUC.

Anexo S: Horário da carreira 7T dos SMTUC.

Anexo T: Horário da carreira 103 dos SMTUC.

Anexo U: Horário da Linha Figueira da Foz – Coimbra (CP).

Anexo V: Horário da Linha Souselas – Coimbra (CP).

Anexo X: Horário da linha Figueira da Foz – Coimbra (Moisés).

Anexo A: Rede ferroviária da CP

Representação da Rede Ferroviária de Portugal Continental. A Figura foi retirada da página Web da CP (Comboios de Portugal).



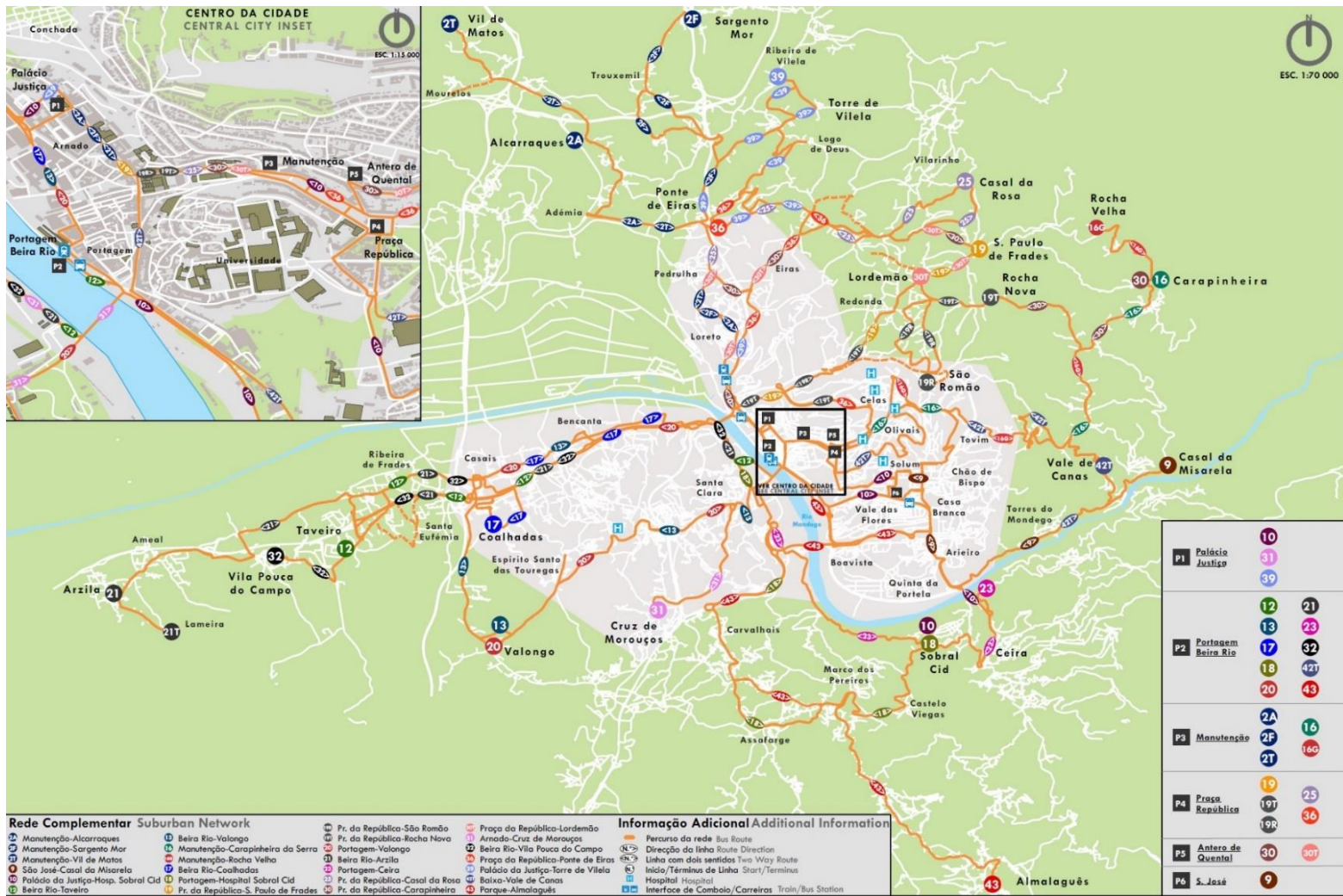
Anexo B: Velocidades consideradas pela REFER na rede ferroviária da CP

Representação das velocidades consideradas pela REFER na rede ferroviária da CP consoante os comboios que operam e as condições da linha ferroviária. A Figura foi recolhida do site da REFER.



Anexo C: Extensão da rede rodoviária dos Transportes Urbanos de Coimbra (SMTUC)



















Representação da extensão da rede rodoviária dos SMTUC.









Anexo D: Direções do cenário I para rota com menor distância pedestre

As seguintes direções são referentes à rota resultante do cenário 1, no Network Analyst, com a preferência por uma rota com menor distância pedestre.

Route: Figueira da Foz (Avenida Saraiva de Carvalho) – Hospital Central da Universidade de Coimbra

	Start at Avenida Saraiva de Carvalho	
	Go north	12 m ~ 2 min
	Make sharp right on Moises	2 m
	Turn left to stay on Moises	16.5 km ~ 31 min
	Turn right to stay on Moises	7 m
	Turn right to stay on Moises	12.1 km ~ 22 min
	Turn right to stay on Moises	3 m
	Turn right to stay on Moises	2.4 km ~ 5 min
	Turn right to stay on Moises	3 m
	Turn right to stay on Moises	11.1 km ~ 21 min
	Turn right to stay on Moises	3 m
	Make sharp left	34 m ~ 3 min
	Bear right at Portagem on SMTUC7	1 m
	Make sharp left to stay on SMTUC7	3.5 km ~ 13 min
	Turn right to stay on SMTUC7	< 1 m
	Turn right at Avenida Bissaya Barreto / IPO	18 m ~ 1 min
	Turn right on Rua São Teotónio	288 m ~ 6 min
	Bear right on Rua Costa Simões	47 m ~ 1 min

	Continue	10 m
	Bear right on Hospital Central	53 m ~ 1 min
	Bear left	19 m
	Turn right	186 m ~ 3 min
	Turn right	33 m ~ < 1 min
	Finish at Hospital Central da Universidade de Coimbra, on the right	

Total time: 1 hr 49 min













Total distance: 652 m

Anexo E: Direções do cenário I para rota com menor tempo de viagem

As seguintes direções são referentes à rota resultante do cenário 1, no Network Analyst, com a preferência por uma rota com menor tempo de viagem.

Route: Figueira da Foz (Avenida Saraiva de Carvalho) – Hospital Central da Universidade de Coimbra

	Start at Avenida Saraiva de Carvalho	
	Go southeast toward Ramal Ferroviário do Porto da Figueira da Foz	13 m ~ 1 min
	Turn left on Ramal Ferroviário do Porto da Figueira da Foz	3.0 km ~ 4 min
	Continue on Linha do Oeste	4.9 km ~ 6 min
	Continue on Ramal de Alfarelos	17.5 km ~ 21 min
	Continue on Linha do Norte - Linha 2 - Porto > Lisboa	2.1 km ~ 3 min
	Continue to stay on Linha do Norte - Linha 2 - Porto > Lisboa	5.2 km ~ 6 min
	Turn right to stay on Linha do Norte - Linha 2 - Porto > Lisboa	20 m
	Turn right to stay on Linha do Norte - Linha 2 - Porto > Lisboa	2.6 km ~ 3 min
	Turn right to stay on Linha do Norte - Linha 2 - Porto > Lisboa	31 m
	Turn right to stay on Linha do Norte - Linha 2 - Porto > Lisboa	1.4 km ~ 2 min
	Continue to stay on Linha do Norte - Linha 2 - Porto > Lisboa	13 m
	Continue to stay on Linha do Norte - Linha 2 - Porto > Lisboa	4.5 km ~ 6 min
	Make sharp right on Ligação Coimbra A - Coimbra B	1.7 km ~ 2 min
	Turn right	27 m
	Turn left at Ligação Coimbra A - Coimbra B	119 m ~ 2 min
	Turn left	176 m ~ 4 min

	Turn left at Avenida Fernão de Magalhães on SMTUC7	< 1 m
	Turn right to stay on SMTUC7	3.0 km ~ 11 min
	Turn right to stay on SMTUC7	< 1 m
	Turn right at Avenida Bissaya Barreto / IPO	18 m ~ 1 min
	Turn right on Rua São Teotónio	288 m ~ 6 min
	Bear right on Rua Costa Simões	47 m ~ 1 min
	Continue	10 m
	Bear right on CHUC	53 m ~ 1 min
	Bear left	19 m
	Turn right	186 m ~ 3 min
	Turn right	33 m ~ < 1 min
	Finish at Hospital Central, on the right	

















Total time: 1 hr 24 min

Total distance: 901 m

Anexo F: Direções do cenário I para rota com menor preço associado e rota com menor distância total

As seguintes direções são referentes à rota resultante do cenário 1, no Network Analyst, com a preferência por uma rota com menor preço associado. As mesmas direções verificam-se para o cálculo de uma rota com menor distância total.

Route: Figueira da Foz (Avenida Saraiva de Carvalho) – Hospital Central da Universidade de Coimbra

	Start at Avenida Saraiva de Carvalho	
	Go north	12 m ~ 2 min
	Make sharp right on Moises	2 m
	Turn left to stay on Moises	16.5 km ~ 31 min
	Turn right to stay on Moises	4 m
	Bear left	306 m ~ 5 min
	Turn right and immediately turn left	982 m ~ 16 min
	Turn right	27 m
	Turn right	1.7 km ~ 28 min
	Turn left	2.2 km ~ 34 min
	Turn left on Ramal de Alfarelos	2.8 km ~ 3 min
	Continue on Linha do Norte - Linha 2 - Porto > Lisboa	7.4 km ~ 9 min
	Turn right	7.6 km ~ 2 hr 10 min
	Make sharp left	1.2 km ~ 19 min
	Make sharp left	558 m ~ 9 min
	Turn right	900 m ~ 15 min



Turn right

881 m ~ 14 min



Turn right

33 m ~ < 1 min



Finish at Hospital Central, on the right

Total time: 5 hr 15 min










Total distance: 43 km

Anexo G: Direções do cenário 2 para rota com menor distância pedestre e rota com menor tempo de viagem

As seguintes direções são referentes à rota resultante do cenário 2, no Network Analyst, com a preferência por uma rota com menor distância pedestre. Devido à pouca oferta de transportes para este cenário, verifica-se a mesma rota e respetivas direções para o cálculo da rota com menor tempo de viagem. Contudo, o cálculo da rota com menor custo associado e da rota com menor distância total, originam rotas diferentes.

Route: Souselas (Rua 1º de Maio) - Hospital Central da UC

	Start at Rua 1º de Maio	
	Go southwest	113 m ~ 2 min
	Turn left on Linha do Norte - Linha 2 - Porto > Lisboa	4.5 km ~ 5 min
	Bear right to stay on Linha do Norte - Linha 2 - Porto > Lisboa	20 m
	Turn right to stay on Linha do Norte - Linha 2 - Porto > Lisboa	3.2 km ~ 4 min
	Turn right to stay on Linha do Norte - Linha 2 - Porto > Lisboa	35 m
	Turn right to stay on Linha do Norte - Linha 2 - Porto > Lisboa	213 m ~ 3 min
	Continue on Ligação Coimbra A - Coimbra B	1.7 km ~ 2 min
	Turn right	27 m
	Turn left at Ligação Coimbra A - Coimbra B	119 m ~ 2 min
	Turn left	176 m ~ 4 min
	Turn left at Avenida Fernão de Magalhães on SMTUC7	< 1 m
	Turn right to stay on SMTUC7	3.0 km ~ 11 min
	Turn right to stay on SMTUC7	< 1 m

	Turn right at Avenida Bissaya Barreto / IPO	18 m ~ 1 min
	Turn right on Rua São Teotônio	288 m ~ 6 min
	Bear right on Rua Costa Simões	47 m ~ 1 min
	Continue	10 m
	Bear right on CHUC	53 m ~ 1 min
	Bear left	29 m
	Turn right	186 m ~ 3 min
	Turn right	33 m ~ < 1 min
	Finish at Hospital Central, on the right	

Total time: 45 min





Total distance: 960 m

Anexo H: Direções do cenário 2 para rota com menor preço associado

As seguintes direções são referentes à rota resultante do cenário 2, no Network Analyst, com a preferência por uma rota com menor preço associado.

Route: Souselas (Rua 1º de Maio) - Hospital Central da UC

	Start at Rua 1º de Maio	
	Go southwest	113 m ~ 2 min
	Turn left on Linha do Norte - Linha 2 -Porto > Lisboa	6.3 km ~ 7 min
	Continue south on Linha do Norte - Linha 2 - Porto > Lisboa	1.6 km ~ 5 min
	Continue on Ligação Coimbra A - Coimbra B	1.2 km ~ 1 min
	Continue southeast on Ligação Coimbra A - Coimbra B	506 m ~ < 1 min
	Make sharp left	74 m ~ 3 min
	Turn right at Estação Nova	31 m ~ 2 min
	Turn left on Avenida Fernão Magalhães	227 m ~ 4 min
	Turn right on Rua da Louça	106 m ~ 2 min
	Turn left on Largo das Olarias	107 m ~ 2 min
	Make sharp right	150 m ~ 3 min
	Turn right on Rua da Moeda	281 m ~ 5 min
	Turn left on Praça 8 de Maio	333 m ~ 6 min
	Bear left on Rua Olímpio Nicolau	517 m ~ 8 min
	Turn right and immediately turn left	614 m ~ 10 min

-  Turn left on Rua Montarroio 515 m ~ 9 min
-  Turn right on Rua Dr. António José de Almeida 186 m ~ 3 min
-  Turn right 33 m ~ < 1 min
-  Finish at Hospital Central, on the right

Total time: 1 hr 13 min

Total distance: 12.9 km

Anexo I: Direções do cenário 2 para rota com menor distância total

As seguintes direções são referentes à rota resultante do cenário 2, no Network Analyst, com a preferência por uma rota com menor distância total.

Route: Souselas (Rua 1º de Maio) - Hospital Central da UC

	Start at Rua 1º de Maio	
	Go southwest	113 m ~ 2 min
	Turn left on Linha do Norte - Linha 2 - Porto > Lisboa	2.9 km ~ 3 min
	Turn right on Rua da Cerâmica Ceres	1.5 km ~ 25 min
	Turn left Rua Dr. Uriel Salvador	203 m ~ 2 min
	Make sharp right on Rua Manuel Madeira	34 m
	Turn right on Bairro São Miguel	1.5 km ~ 24 min
	Make sharp right on Rua da Liberdade	768 m ~ 13 min
	Turn right on Estrada Vale de Figueiras	522 m ~ 8 min
	Turn right on Rua Costa Simões	97 m ~ 1 min
	Make sharp left	913 m ~ 15 min
	Make sharp right	2.2 km ~ 36 min
	Turn right	33 m ~ < 1 min
	Finish at Hospital Central, on the right	













Total time: 2 hr 9 min

Total distance: 10.7 km

Anexo J: Direções do cenário 3 para rota com menor distância pedestre

As seguintes direções são referentes à rota resultante do cenário 3, no Network Analyst, com a preferência por uma rota com uma menor distância pedestre.

Route: Solum (Rua de Angola) - Hospital Central da UC

	Start at Rua de Angola	
	Go east on Rua de Angola toward Viaduto do Calhabé / Rua do Ultramar	95 m ~ 1 min
	Turn left on Viaduto do Calhabé	126 m ~ 2 min
	Bear right	102 m ~ 3 min
	Make sharp right at Estádio Municipal on SMTUC7T	< 1 m
	Make sharp left to stay on SMTUC7T	4.6 km ~ 18min
	Turn left to stay on SMTUC7T	1 m
	Turn right at Avenida Bissaya Barreto / IPO	66 m ~ 4 min
	Turn left	414 m ~ 7 min
	Make sharp right	186 m ~ 3 min
	Turn right	33 m ~ < 1min
	Finish at Hospital Central, on the right	



















Total time: 39 min

Total distance: 976 m

Anexo K: Direções do cenário 3 para rota com menor tempo de viagem

As seguintes direções são referentes à rota resultante do cenário 3, no Network Analyst, com a preferência por uma rota com um menor tempo de viagem.

Route: Solum (Rua de Angola) - Hospital Central da UC

	Start at Rua de Angola	
	Go east on Rua de Angola toward Viaduto do Calhabé / Rua do Ultramar	95 m ~ 1 min
	Bear left on Rua do Ultramar	35 m ~ 1 min
	Bear left to stay on Rua do Ultramar	58 m ~ 1 min
	Bear left	13 m
	Turn left on Rua do Brasil	27 m
	Continue	17 m
	Make sharp right on Praça 25 de Abril	124 m ~ 1min
	Turn right	10 m ~ 1 min
	Make sharp right at Estádio Municipal on SMTUC7T	< 1 m
	Make sharp left to stay on SMTUC7T	4.6km ~ 18min
	Turn left to stay on SMTUC7T	1 m
	Turn right at Avenida Bissaya Barreto / IPO	24 m ~ 1 min
	Turn right on Hospital Central CHUC	196 m ~ 3 min
	Turn left	215 m ~ 4min
	Turn right and immediately turn right	205 m ~ 3min
	Turn right	33m ~ <1min
	Finish at Hospital Central, on the right	
















Total time: 35 min

Total distance: 1 km

Anexo L: Direções do cenário 3 para rota com menor preço associado e rota com menor distância total

As seguintes direções são referentes à rota resultante do cenário 3, no Network Analyst, com a preferência por uma rota com menor preço associado. As mesmas direções verificam-se para o cálculo de uma rota com menor distância total.

Route: Solum (Rua de Angola) - Hospital Central da UC

	Start at Rua de Angola	
	Go west on Rua de Angola	40 m ~ < 1 min
	Continue	455 m ~ 7 min
	Turn right	410 m ~ 7 min
	Turn left	168 m ~ 3 min
	Turn left	193 m ~ 4 min
	Turn right	225 m ~ 4 min
	Turn left on Rua Filipe Simões	46 m ~ 1 min
	Continue Rua Augusto Filipe Simões	127 m ~ 2 min
	Continue	70 m ~ 1 min
	Turn left and immediately turn right	621 m ~ 10 min
	Turn right and immediately bear left	901 m ~ 16 min
	Turn right	186 m ~ 3 min
	Turn right	33 m ~ < 1 min
	Finish at Hospital Central, on the right	


















Total time: 59 min























Total distance: 3.5 km





Anexo M: Direções do cenário 4 para rota com menor distância pedestre

As seguintes direções são referentes à rota resultante do cenário 4, no Network Analyst, com a preferência por uma rota com menor distância pedestre.

Route: Palácio da Justiça - Penedo da Saudade - Hospital Central da UC

	Start at Palácio da Justiça	
	Go northwest on Rua Rosa Falcão	40 m ~ < 1 min
	Turn right	7 m ~ < 1 min
	Make sharp left at Palácio da Justiça on SMTUC7T	< 1 m
	Turn left to stay on SMTUC7T	431 m ~ 2 min
	Turn left to stay on SMTUC7T	2 m
	Bear left at Avenida Fernão de Magalhães 1	3 m ~ 3 min
	Turn left at Avenida Fernão de Magalhães on SMTUC7	< 1 m
	Turn right to stay on SMTUC7	1.6 km ~ 6 min
	Make sharp right to stay on SMTUC7	< 1 m
	Continue at Praça da República	101 m ~ 3 min
	Continue at Padre Antônio Vieira 1 on SMTUC103	< 1 m
	Turn right to stay on SMTUC103	1.8 km ~ 8 min
	Turn left to stay on SMTUC103	1 m
	Bear left at Penedo da Saudade 2	< 1 m ~ 1 min
	Turn left on Avenida Marnoco e Sousa	99 m ~ 1 min
	Turn right on Rua Filipe Simões	46 m ~ 1 min

	Continue Rua Augusto Filipe Simões	74 m ~ 1 min
	Turn left and immediately turn left	50 m
	Turn right	52 m ~ 1 min
	Arrive at Penedo da Saudade, on the right	
	Depart Penedo da Saudade	
	Go back east	52 m ~ 1 min
	Turn left and immediately turn right	50 m
	Turn right on Rua Augusto Filipe Simões	74 m ~ 1 min
	Continue Rua Filipe Simões	46 m ~ 1 min
	Turn left on Avenida Marnoco e Sousa	99 m ~ 1 min
	Turn right	< 1 m ~ 1 min
	Bear right at Penedo da Saudade 2 on SMTUC103	1 m
	Make sharp left to stay on SMTUC103	3.0 km ~ 12 min
	Make sharp right to stay on SMTUC103	< 1 m
	Turn right at Praça da República	< 1 m ~ 3 min
	Turn right at Praça da República on SMTUC7T	< 1 m
	Turn right to stay on SMTUC7T	1.8 km ~ 8 min
	Turn left to stay on SMTUC7T	2 m
	Bear left at Avenida Fernão de Magalhães 1	3 m ~ 3 min
	Turn left at Avenida Fernão de Magalhães on SMTUC7	< 1 m
	Turn right to stay on SMTUC7	3.3 km ~ 12 min
	Turn right to stay on SMTUC7	1 m

-  Turn left at Hospitais U.C. 23 m ~ 1 min
-  Turn left 241 m ~ 4 min
-  Make sharp right 46 m ~ < 1 min
-  Finish at Hospital Central, on the right



















Total time: 1 hr 17 min

Total distance: 996 m

Anexo N: Direções do cenário 4 para rota com menor tempo de viagem

As seguintes direções são referentes à rota resultante do cenário 4, no Network Analyst, com a preferência por uma rota com menor tempo de viagem.

Route: Palácio da Justiça - Penedo da Saudade - Hospital Central da UC

	Start at Palácio da Justiça	
	Go southeast on Rua Rosa Falcão	44 m ~ < 1 min
	Turn left	18 m ~ 2 min
	Make sharp right at Palácio da Justiça 1 on SMTUC103	< 1 m
	Make sharp left to stay on SMTUC103	2.3 km ~ 10 min
	Make sharp left to stay on SMTUC103	2 m
	Turn right at Arcos do Jardim	10 m ~ 1 min
	Make sharp left and immediately turn right	77 m ~ 1 min
	Turn right	112 m ~ 2 min
	Turn right at Rua da Infancia 23	225 m ~ 4 min
	Turn left and immediately turn left	34 m
	Arrive at Penedo da Saudade, on the right	
	Depart Penedo da Saudade	
	Go back east	52 m ~ 1 min
	Turn left and immediately turn right	50 m
	Turn right on Rua Augusto Filipe Simões	74 m ~ 1 min
	Continue Rua Filipe Simões	46 m ~ 1 min
	Turn left on Avenida Marnoco e Sousa	99 m ~ 1 min

	Turn right	< 1 m ~ 1 min
	Bear right at Penedo da Saudade 2 on SMTUC103	1 m
	Make sharp left to stay on SMTUC103	2.0 km ~ 9 min
	Make sharp left to stay on SMTUC103	< 1 m
	Make sharp right at Bernardo Albuquerque 2	16 m ~ 2 min
	Turn right at Bernardo Albuquerque on SMTUC7	< 1 m
	Make sharp right to stay on SMTUC7	632 m ~ 2 min
	Turn right to stay on SMTUC7	1 m
	Turn left at Hospitais U.C.	23 m ~ 1 min
	Turn left	196 m ~ 3 min
	Turn left	63 m ~ 1 min
	Turn right and immediately turn right	28 m
	Turn left	46 m ~ < 1 min
	Finish at Hospital Central, on the right	

















Total time: 44 min







Total distance: 1.2 km

Anexo 0: Direções do cenário 4 para rota com menor preço associado e rota com menor distância total

As seguintes direções são referentes à rota resultante do cenário 4, no Network Analyst, com a preferência por uma rota com menor preço associado. As mesmas direções verificam-se para o cálculo de uma rota com menor distância total.

Route: Palácio da Justiça - Penedo da Saudade - Hospital Central da UC

	Start at Palácio da Justiça	
	Go southeast on Rua Rosa Falcão	44 m ~ < 1 min
	Turn left	39 m ~ 3 min
	Turn left at Arnado on SMTUC7	< 1 m
	Turn right to stay on SMTUC7	446 m ~ 2 min
	Turn left to stay on SMTUC7	< 1 m
	Turn right at Rua da Sofia	801 m ~ 16 min
	Turn left and immediately turn right	287 m ~ 5 min
	Bear left	150 m ~ 2 min
	Turn right at Rua da Infantaria 23	225 m ~ 4 min
	Turn left and immediately turn left	34 m
	Arrive at Location 2, on the right	
	Depart Location 2	
	Go back east	52 m ~ 1 min
	Turn left and immediately turn right	50 m
	Turn left on Rua Augusto Filipe Simões	53 m ~ < 1 min

	Continue	70 m ~ 1 min
	Turn left and immediately turn right	621 m ~ 10 min
	Turn right and immediately bear left	1.0 km ~ 19 min
	Turn left and immediately turn right	28 m
	Turn left	46 m ~ < 1 min
	Finish at Hospital Central, on the right	

Total time: 1 hr 5 min

Total distance: 4.0 km

Anexo P: Código desenvolvido em Python

```
def TL_read_txt(fc):
    f = open(fc, 'r')
    d_global = { }
    d_orient = { }
    ident_linha = 1
    ident_orient = 1
    dist_total = 0
    t_total = 0
    t_total_espera = 0
    h_init = 9.0
    h_atual = h_init

    for linha in f:
        l = linha.split()
        if len(l) < 1:
            continue

        d_global[ident_linha] = 1
        ident_linha += 1
        if l[0] == 'Begin':
            titulo = ' '.join(l[2:])
            titulo = 'Viagem: ' + titulo
            d_orient['Viagem'] = titulo
            t_delta = 0
            t_espera = 0

        if l[0] == str(ident_orient)+'.':
            h_atual += t_delta
            t_delta = 0
            t_espera = 0
            d_orient[ident_orient] = [h_atual, l[0], ' '.join(l[1:])]
            ident_orient += 1

        if l[1] == 'Make' and l[2] == 'sharp':
            if l[-1] == 'Moises':
                local = u'Fig. Da Foz'

                h_partida = TL_read_horario_Moises(local, h_atual)
                t_espera = h_partida - h_atual
                t_delta = t_espera
                t_total_espera += t_espera

            if l[1] == 'Make' and l[2] == 'sharp':
                if l[-1] == 'SMTUC7' :
                    local = u'Portagem'
                    h_partida = TL_read_horario_SMTUC7(local, h_atual)
                    t_espera = h_partida - h_atual
                    t_delta = t_espera
                    t_total_espera += t_espera

            if l[1] == 'Make' and l[2] == 'sharp':
                if l[-1] == 'SMTUC7T' :
                    local = u'Av. Fernão Magalhães'
                    h_partida = TL_read_horario_SMTUC7T(local, h_atual)
                    t_espera = h_partida - h_atual
                    t_delta = t_espera
                    t_total_espera += t_espera

            if l[1] == 'Make' and l[2] == 'sharp':
                if l[-1] == 'SMTUC103' :
                    local = u'Av. Fernão Magalhães'
                    h_partida = TL_read_horario_SMTUC103(local, h_atual)
                    t_espera = h_partida - h_atual
                    t_delta = t_espera
                    t_total_espera += t_espera
```

```

        if l[0] == 'Drive':
            d_orient[ident_orient-1].append(" ".join(l))

            if t_espera != 0:
                d_orient[ident_orient-1][-1] += ' + ' + str(int(round(t_espera*
5                60.0))) + ' min (wait)'

        if l[0] == 'Drive' and l[1] != '<':
            dist = float(l[1])
            if l[2] == 'km':
                dist *= 1000
            dist_total += dist
            if len(l) > 4:
                if l[3] == '~' and l[4] != '<':
                    tempo = float(l[-2]) / 60.0
                    t_delta += tempo
                    if l[5] != 'min':
                        print('ALERTA: O tempo não está em minutos!')
                    t_total += tempo

    d_orient['ITotal'] = ident_orient-1
    d_orient['TTotal'] = t_total
    d_orient['TTEspera'] = t_total_espera
    d_orient['DTotal'] = dist_total
    TL_guarda_res(d_orient)
    TL_mostra_res(d_orient)
    f.close()
    return d_global, d_orient

def TL_read_horario_Moises(local, h_chegada):
    import xlrd

    fc = 'HorarioMoisesFIGUEIRA-COIMBRA.xlsx'

    book = xlrd.open_workbook(fc)
    sheet = book.sheet_by_index(0)

    for i in range(sheet.nrows):
        r = sheet.row_values(i)
        if r[0] == local:
            r1 = map(lambda x: -1 if x==' ' else x, r[1:])
            h_prox = next(x for x in r1 if x >= h_chegada/24.0)
            ind_h_prox = r1.index(h_prox)
            break
    return h_prox*24.0

def TL_read_horario_SMTUC7(local, h_chegada):
    import xlrd

    fc2 = 'HorarioSMTUC7.xlsx'

    book = xlrd.open_workbook(fc2)
    sheet = book.sheet_by_index(0)

    for i in range(sheet.nrows):
        r = sheet.row_values(i)
        if r[0] == local:
            r1 = map(lambda x: -1 if x==' ' else x, r[1:])
            h_prox = next(x for x in r1 if x >= h_chegada/24.0)
            ind_h_prox = r1.index(h_prox)
            break
    return h_prox*24.0

def TL_read_horario_SMTUC7T(local, h_chegada):
    import xlrd

    fc3 = 'HorarioSMTUC7T.xlsx'

    book = xlrd.open_workbook(fc3)
    sheet = book.sheet_by_index(0)

```

```

for i in range(sheet.nrows):
    r = sheet.row_values(i)
    if r[0] == local:
        r1 = map(lambda x: -1 if x==' ' else x, r[1:])
        h_prox = next(x for x in r1 if x >= h_chegada/24.0)
        ind_h_prox = r1.index(h_prox)
        break
return h_prox*24.0

def TL_read_horario_SMTUC103(local, h_chegada):
    import xlrd

    fc2 = 'HorarioSMTUC103.xlsx'

    book = xlrd.open_workbook(fc2)
    sheet = book.sheet_by_index(0)

    for i in range(sheet.nrows):
        r = sheet.row_values(i)
        if r[0] == local:
            r1 = map(lambda x: -1 if x==' ' else x, r[1:])
            h_prox = next(x for x in r1 if x >= h_chegada/24.0)
            ind_h_prox = r1.index(h_prox)
            break
    return h_prox*24.0

def TL_mostra_res(d_orient):
    print('Timeline:')
    print(d_orient['Viagem'])
    print('%-5s %s' % ('Hora', u'| # | Ação | Distância e/ou duração'))
    for i in range(1,d_orient['ITotal']+1):
        h = int(d_orient[i][0])
        m = int(round((d_orient[i][0]-h)*60.0))

        print('%02d:%02d | %3s | %s' % (h, m, d_orient[i][1], ' | '.join(
5         d_orient[i][2:])))
    print(u'Nº total de iterações: %d' % d_orient['ITotal'])
    h = int(d_orient['TTotal'])
    m = int(round((d_orient['TTotal']-h)*60.0))
    print('Tempo total: %2dh %02dmin' % (h, m))
    h = int(d_orient['TTEspera'])
    m = int(round((d_orient['TTEspera']-h)*60.0))
    print('Tempo total de espera: %2dh %02dmin' % (h, m))
    print(u'Distância total: %.3f km' % (d_orient['DTotal']/1000.0))
    return

def TL_guarda_res(d_orient):
    import csv
    with open('mytimeline.csv','wb') as f:
        w = csv.writer(f)
        w.writerows(d_orient.items())
    f.close()
    return

# Teste
ficheiro = 'directions.txt'
(d_global, d_orient) = TL_read_txt(ficheiro)

```

Anexo Q: Ficheiro TXT (“directions”) exportado das direções do Network Analyst

Begin route Figueira da Foz - Hospital Central CHUC

1: Start at Figueira da Foz

2: Go north

Drive 12 m ~ 2 min

3: Make sharp right on Moises

Drive 2 m

4: Turn left to stay on Moises

Drive 16.5 km ~ 31 min

5: Turn right to stay on Moises

Drive 7 m

6: Turn right to stay on Moises

Drive 12.1 km ~ 22 min

7: Turn right to stay on Moises

Drive 3 m

8: Turn right to stay on Moises

Drive 2.4 km ~ 5 min

9: Turn right to stay on Moises

Drive 3 m

10: Turn right to stay on Moises

Drive 11.1 km ~ 21 min

11: Turn right to stay on Moises

Drive 3 m

12: Make sharp left

Drive 34 m ~ 3 min

13: Bear right at Portagem on SMTUC7

Drive 1 m

14: Make sharp left to stay on SMTUC7

Drive 3.5 km ~ 13 min

15: Turn right to stay on SMTUC7

Drive < 1 m

16: Turn right at Avenida Bissaya Barreto / IPO

Drive 18 m ~ 1 min

17: Turn right

Drive 417 m ~ 8 min

18: Turn right

Drive 186 m ~ 3 min

19: Turn right

Drive 33 m ~ < 1 min

20: Finish at Hospital Central CHUC, on the right

Total time: 1 hr 49 min

Total distance: 46 km

End of route Figueira da Foz - Hospital Central CHUC

Anexo R: Horário da carreira 7 dos SMTUC

OBJECTID	HORA1	HORA2	HORA3	HORA4	HORA5	HORA6	HORA7	HORA8	HORA9	HORA10	HORA11	HORA12	HORA13	HORA14	HORA15	HORA16	HORA17	HORA18	HORA19	HORA20	HORA21	HORA22	HORA23	HORA24	HORA25	HORA26	HORA27	HORA28	HORA29	HORA30	HORA31
Arnado	6:30	6:40	6:55	7:05	7:15	7:30	7:45	8:00	8:15	8:30	8:45	9:00	9:17	9:34	9:51	10:08	10:25	10:42	10:59	11:16	11:33	11:50	12:07	12:24	12:41	12:58	13:15	13:32	13:49	14:06	14:23
Rua da Sofia	6:32	6:42	6:57	7:07	7:22	7:35	7:50	8:05	8:23	8:35	8:50	9:03	9:25	9:38	9:55	10:11	10:29	10:46	11:04	11:23	11:37	11:54	12:11	12:28	12:45	13:02	13:18	13:36	13:52	14:10	14:27
Mercado D.Pedro V	6:35	6:45	7:00	7:10	7:26	7:39	7:54	8:09	8:27	8:39	8:54	9:05	9:29	9:41	9:58	10:14	10:31	10:50	11:07	11:27	11:41	11:57	12:15	12:31	12:47	13:06	13:21	13:40	13:55	14:13	14:30
Praça da República	6:38	6:48	7:03	7:13	7:28	7:42	7:57	8:10	8:29	8:42	8:57	9:07	9:31	9:44	10:01	10:16	10:34	10:52	11:10	11:29	11:44	12:01	12:18	12:34	12:49	13:10	13:25	13:43	13:57	14:16	14:33
Cruz de Celas	6:41	6:51	7:06	7:16	7:30	7:45	8:00	8:15	8:31	8:45	9:00	9:10	9:34	9:47	10:05	10:18	10:37	10:55	11:13	11:31	11:47	12:05	12:21	12:37	12:52	13:13	13:28	13:46	14:01	14:20	14:36
Av. Bissaya Barreto	6:43	6:53	7:08	7:18	7:33	7:48	8:03	8:18	8:35	8:48	9:03	9:13	9:37	9:49	10:07	10:20	10:41	10:59	11:17	11:35	11:50	12:08	12:24	12:41	12:56	13:15	13:31	13:49	14:04	14:23	14:40
Hospitais U.C.	6:46	6:56	7:11	7:21	7:36	7:51	8:08	8:23	8:38	8:51	9:08	9:18	9:39	9:51	10:10	10:23	10:44	11:02	11:21	11:38	11:53	12:11	12:28	12:45	12:59	13:18	13:34	13:52	14:09	14:26	14:43
St. António dos Olivais	6:48	6:58	7:13	7:23	7:39	7:55	8:12	8:27	8:42	8:55	9:12	9:22	9:41	9:57	10:13	10:27	10:46	11:04	11:23	11:40	11:56	12:14	12:31	12:48	13:02	13:21	13:37	13:54	14:12	14:28	14:45
São Sebastião	6:49	6:59	7:14	7:24	7:42	7:58	8:18	8:32	8:47	8:58	9:18	9:25	9:42	9:58	10:16	10:33	10:50	11:07	11:25	11:41	11:58	12:16	12:32	12:50	13:05	13:23	13:40	13:57	14:14	14:31	14:47
Tovim	6:50	7:00	7:15	7:25	7:45	8:05	8:20	8:35	8:50	9:05	9:20	9:27	9:44	10:01	10:18	10:35	10:52	11:09	11:26	11:43	12:00	12:17	12:34	12:51	13:08	13:25	13:42	13:59	14:16	14:33	14:50
Solum	6:53	7:03	7:18	7:28	7:48	8:07	8:22	8:37	8:54	9:07	9:22	9:29	9:47	10:05	10:24	10:37	10:56	11:11	11:29	11:47	12:05	12:21	12:39	12:55	13:11	13:28	13:45	14:03	14:20	14:37	14:53
Estádio Municipal	6:57	7:07	7:22	7:32	7:52	8:11	8:26	8:41	8:58	9:11	9:26	9:32	9:51	10:08	10:26	10:39	10:59	11:14	11:31	11:50	12:08	12:25	12:41	12:57	13:14	13:31	13:48	14:07	14:23	14:40	14:57
São José	6:59	7:09	7:24	7:34	7:54	8:14	8:29	8:44	9:00	9:14	9:29	9:35	9:53	10:11	10:29	10:41	11:03	11:17	11:35	11:53	12:11	12:28	12:44	12:59	13:17	13:35	13:51	14:10	14:27	14:43	15:01
Rua do Brasil	7:01	7:11	7:26	7:36	7:56	8:17	8:32	8:47	9:02	9:17	9:32	9:38	9:55	10:13	10:31	10:44	11:06	11:20	11:38	11:56	12:14	12:31	12:47	13:02	13:21	13:39	13:55	14:13	14:30	14:47	15:05
Av. Navarro	7:06	7:16	7:31	7:41	8:01	8:19	8:35	8:49	9:07	9:19	9:35	9:41	10:00	10:18	10:33	10:49	11:09	11:23	11:41	11:59	12:17	12:34	12:50	13:05	13:25	13:42	13:59	14:15	14:33	14:49	15:08
Portagem	7:07	7:17	7:32	7:42	8:02	8:23	8:37	8:53	9:08	9:23	9:37	9:44	10:01	10:20	10:34	10:51	11:11	11:27	11:43	12:03	12:21	12:37	12:53	13:09	13:28	13:45	14:01	14:17	14:36	14:50	15:11
Av. Fernão Magalhães	7:13	7:23	7:39	7:49	8:10	8:28	8:43	8:57	9:15	9:31	9:47	9:49	10:06	10:23	10:40	10:57	11:15	11:31	11:47	12:06	12:23	12:39	12:56	13:13	13:30	13:47	14:04	14:20	14:39	14:55	15:13

OBJECTID	HORA32	HORA33	HORA34	HORA35	HORA36	HORA37	HORA38	HORA39	HORA40	HORA41	HORA42	HORA43	HORA44	HORA45	HORA46	HORA47	HORA48	HORA49	HORA50	HORA51	HORA52	HORA53	HORA54	HORA55	HORA56	HORA57	HORA58
Arnado	14:40	14:57	15:14	15:30	15:45	16:00	16:15	16:30	16:45	17:00	17:15	17:30	17:45	18:00	18:15	18:30	18:45	19:00	19:15	19:30	20:00	20:20	21:00	22:00	22:50	23:30	0:10
Rua da Sofia	14:44	15:01	15:18	15:35	15:47	16:04	16:18	16:35	16:47	17:04	17:18	17:35	17:47	18:04	18:18	18:35	18:47	19:04	19:18	19:35	20:04	20:24	21:04	22:04	22:54	23:35	0:17
Mercado D.Pedro V	14:47	15:05	15:21	15:39	15:50	16:08	16:21	16:39	16:50	17:08	17:21	17:39	17:50	18:08	18:21	18:39	18:50	19:05	19:21	19:39	20:07	20:27	21:07	22:07	22:57	23:39	0:10
Praça da República	14:50	15:08	15:24	15:42	15:52	16:11	16:25	16:42	16:52	17:11	17:25	17:42	17:52	18:11	18:25	18:42	18:52	19:11	19:25	19:42	20:09	20:29	21:09	22:09	22:59	23:42	0:2
Cruz de Celas	14:53	15:11	15:27	15:45	15:57	16:16	16:28	16:45	16:57	17:16	17:28	17:45	17:57	18:16	18:28	18:45	18:57	19:16	19:28	19:45	20:11	20:31	21:21	21:11	23:01	23:45	0:23
Av. Bissaya Barreto	14:55	15:14	15:30	15:48	15:59	16:20	16:31	16:48	16:59	17:20	17:31	17:48	17:59	18:20	18:31	18:48	18:59	19:20	19:31	19:48	20:13	20:33	21:23	21:13	23:03	23:48	0:25
Hospitais U.C.	14:57	15:17	15:33	15:51	16:04	16:24	16:34	16:51	17:04	17:24	17:34	17:51	18:07	18:24	18:34	18:51	19:04	19:24	19:34	19:51	20:15	20:35	21:25	21:15	23:05	23:51	0:27
St. António dos Olivais	15:00	15:20	15:36	15:55	16:07	16:28	16:37	16:55	17:07	17:28	17:37	17:55	18:10	18:28	18:37	18:55	19:07	19:28	19:37	19:55	20:19	20:39	21:29	21:19	23:07	23:55	0:30
São Sebastião	15:05	15:22	15:39	15:57	16:12	16:30	16:42	16:57	17:12	17:30	17:42	17:57	18:14	18:30	18:42	18:57	19:12	19:30	19:42	19:57	20:21	20:41	21:31	21:21	23:09	23:57	0:32
Tovim	15:07	15:24	15:41	15:58	16:15	16:32	16:47	17:02	17:17	17:32	17:47	18:02	18:17	18:32	18:47	19:02	19:17	19:32	19:47	20:00	20:25	20:45	21:35	22:25	23:10	23:50	0:35
Solum	15:10	15:28	15:44	16:07	16:18	16:36	16:50	17:07	17:18	17:36	17:55	18:07	18:21	18:36	18:50	19:07	19:18	19:36	19:50	20:07	20:29	20:49	21:39	21:29	23:13	24:07	0:37
Estádio Municipal	15:13	15:31	15:48	16:11	16:21	16:39	16:53	17:11	17:21	17:39	17:58	18:11	18:23	18:39	18:53	19:11	19:21	19:39	19:53	20:11	20:31	20:51	21:41	21:31	23:16	24:11	0:39
São José	15:16	15:35	15:51	16:14	16:24	16:42	16:56	17:14	17:24	17:42	18:02	18:14	18:26	18:42	18:56	19:14	19:24	19:42	19:56	20:14	20:33	20:53	21:43	21:33	23:19	24:14	0:4
Rua do Brasil	15:19	15:38	15:53	16:17	16:29	16:45	16:59	17:17	17:29	17:45	18:05	18:17	18:30	18:45	18:59	19:17	19:29	19:45	19:59	20:17	20:35	20:55	21:45	21:35	23:21	24:17	0:43
Av. Navarro	15:21	15:41	15:56	16:19	16:33	16:48	17:00	17:19	17:33	17:48	18:07	18:19	18:33	18:48	19:00	19:19	19:33	19:48	19:00	20:19	20:38	20:58	21:48	21:38	23:23	24:19	0:46
Portagem	15:26	15:42	15:58	16:23	16:37	16:51	17:05	17:23	17:37	17:51	18:10	18:23	18:37	18:51	19:05	19:23	19:37	19:51	19:05	20:23	20:40	21:00	21:50	21:40	23:26	24:23	0:46
Av. Fernão Magalhães	15:29	15:44	15:59	16:28	16:42	16:57	17:10	17:28	17:42	17:57	18:13	18:28	18:42	18:57	19:13	19:28	19:42	19:57	19:13	20:28	20:42	21:05	21:55	21:45	23:28	24:28	0:50

Anexo S: Horário da carreira 7T dos SMTUC

OBJECTID	HORA1	HORA2	HORA3	HORA4	HORA5	HORA6	HORA7	HORA8	HORA9	HORA10	HORA11	HORA12	HORA13	HORA14	HORA15	HORA16	HORA17	HORA18	HORA19	HORA20	HORA21	HORA22	HORA23	HORA24	HORA25	HORA26	HORA27	HORA28	HORA29	HORA30	HORA31	HORA32	HORA33
Palácio da Justiça	6:40	6:55	7:05	7:15	7:30	7:45	8:00	8:15	8:30	8:45	9:00	9:17	9:34	9:51	10:08	10:25	10:42	10:59	11:16	11:33	11:50	12:07	12:24	12:41	12:58	13:15	13:32	13:49	14:06	14:23	14:40	14:57	15:14
Av. Fernão Magalhães	6:42	6:57	7:07	7:22	7:35	7:50	8:05	8:23	8:35	8:50	9:03	9:25	9:38	9:55	10:11	10:29	10:46	11:04	11:23	11:37	11:54	12:11	12:28	12:45	13:02	13:18	13:36	13:52	14:10	14:27	14:44	15:01	15:18
Estação Nova	6:45	7:00	7:10	7:26	7:39	7:54	8:09	8:27	8:39	8:54	9:05	9:29	9:41	9:58	10:14	10:31	10:50	11:07	11:27	11:41	11:57	12:15	12:31	12:47	13:06	13:21	13:40	13:55	14:13	14:30	14:47	15:05	15:21
Av. Navarro	6:48	7:03	7:13	7:28	7:42	7:57	8:10	8:29	8:42	8:57	9:07	9:31	9:44	10:01	10:16	10:34	10:52	11:10	11:29	11:44	12:01	12:18	12:34	12:49	13:10	13:25	13:43	13:57	14:16	14:33	14:50	15:08	15:24
Av. Louzã	6:51	7:06	7:16	7:30	7:45	8:00	8:15	8:31	8:45	9:00	9:10	9:34	9:47	10:05	10:18	10:37	10:55	11:13	11:31	11:47	12:05	12:21	12:37	12:52	13:13	13:28	13:46	14:01	14:20	14:36	14:53	15:11	15:27
Rua do Brasil	6:53	7:08	7:18	7:33	7:48	8:03	8:18	8:35	8:48	9:03	9:13	9:37	9:49	10:07	10:20	10:41	10:59	11:17	11:35	11:50	12:08	12:24	12:41	12:56	13:15	13:31	13:49	14:04	14:23	14:40	14:55	15:14	15:30
São José	6:56	7:11	7:21	7:36	7:51	8:08	8:23	8:38	8:51	9:08	9:18	9:39	9:51	10:10	10:23	10:44	11:02	11:21	11:38	11:53	12:11	12:28	12:45	12:59	13:18	13:34	13:52	14:09	14:26	14:43	14:57	15:17	15:33
Estádio Municipal	6:58	7:13	7:23	7:39	7:55	8:12	8:27	8:42	8:55	9:12	9:22	9:41	9:57	10:13	10:27	10:46	11:04	11:23	11:40	11:56	12:14	12:31	12:48	13:02	13:21	13:37	13:54	14:12	14:28	14:45	15:00	15:20	15:36
Solum	6:59	7:14	7:24	7:42	7:58	8:18	8:32	8:47	8:58	9:18	9:25	9:42	9:58	10:16	10:33	10:50	11:07	11:25	11:41	11:58	12:16	12:32	12:50	13:05	13:23	13:40	13:57	14:14	14:31	14:47	15:05	15:22	15:39
Tovim	7:00	7:15	7:25	7:45	8:05	8:20	8:35	8:50	9:05	9:20	9:27	9:44	10:01	10:18	10:35	10:52	11:09	11:26	11:43	12:00	12:17	12:34	12:51	13:08	13:25	13:42	13:59	14:16	14:33	14:50	15:07	15:24	15:41
São Sebastião	7:03	7:18	7:28	7:48	8:07	8:22	8:37	8:54	9:07	9:22	9:29	9:47	10:05	10:24	10:37	10:56	11:11	11:29	11:47	12:05	12:21	12:39	12:55	13:11	13:28	13:45	14:03	14:20	14:37	14:53	15:10	15:28	15:44
St. António dos Olivais	7:07	7:22	7:32	7:52	8:11	8:26	8:41	8:58	9:11	9:26	9:32	9:51	10:08	10:26	10:39	10:59	11:14	11:31	11:50	12:08	12:25	12:41	12:57	13:14	13:31	13:48	14:07	14:23	14:40	14:57	15:13	15:31	15:48
Av. Bissaya Barreto	7:09	7:24	7:34	7:54	8:14	8:29	8:44	9:00	9:14	9:29	9:35	9:53	10:11	10:29	10:41	11:03	11:17	11:35	11:53	12:11	12:28	12:44	12:59	13:17	13:35	13:51	14:10	14:27	14:43	15:01	15:16	15:35	15:51
Hospitais U.C.	7:11	7:26	7:36	7:56	8:17	8:32	8:47	9:02	9:17	9:32	9:38	9:55	10:13	10:31	10:44	11:06	11:20	11:38	11:56	12:14	12:31	12:47	13:02	13:21	13:39	13:55	14:13	14:30	14:47	15:05	15:19	15:38	15:53
Crus de Celaz	7:16	7:31	7:41	8:01	8:19	8:35	8:49	9:07	9:19	9:35	9:41	10:00	10:18	10:33	10:49	11:09	11:23	11:41	11:59	12:17	12:34	12:50	13:05	13:25	13:42	13:59	14:15	14:33	14:49	15:08	15:21	15:41	15:56
Praça da República	7:17	7:32	7:42	8:02	8:23	8:37	8:53	9:08	9:23	9:37	9:44	10:01	10:20	10:34	10:51	11:11	11:27	11:43	12:03	12:21	12:37	12:53	13:09	13:28	13:45	14:01	14:17	14:36	14:50	15:11	15:26	15:42	15:58
Mercado D.Pedro V	7:23	7:39	7:43	8:10	8:28	8:43	8:57	9:15	9:31	9:47	9:43	10:06	10:23	10:40	10:57	11:15	11:31	11:47	12:06	12:23	12:39	12:56	13:13	13:30	13:47	14:04	14:20	14:39	14:55	15:13	15:29	15:44	15:59

OBJECTID	HORA34	HORA35	HORA36	HORA37	HORA38	HORA39	HORA40	HORA41	HORA42	HORA43	HORA44	HORA45	HORA46	HORA47	HORA48	HORA49	HORA50	HORA51	HORA52	HORA53	HORA54
Palácio da Justiça	15:30	15:45	16:00	16:15	16:30	16:45	17:00	17:15	17:30	17:45	18:00	18:15	18:30	18:45	19:00	19:15	19:30	20:00	21:35	22:25	23:10
Av. Fernão Magalhães	15:35	15:47	16:04	16:18	16:35	16:47	17:04	17:18	17:35	17:47	18:04	18:18	17:35	18:47	19:04	19:18	19:35	20:04	21:37	22:28	23:12
Estação Nova	15:39	15:50	16:08	16:21	16:39	16:50	17:08	17:21	17:39	17:50	18:08	18:21	17:39	18:50	19:05	19:21	19:39	20:07	21:39	22:31	23:14
Av. Navarro	15:42	15:52	16:11	16:25	16:42	16:52	17:11	17:25	17:42	17:52	18:11	18:25	17:42	18:52	19:11	19:25	19:42	20:09	21:41	22:34	23:16
Av. Louzã	15:45	15:57	16:16	16:28	16:45	16:57	17:16	17:28	17:45	17:57	18:16	18:28	17:45	18:57	19:16	19:28	19:45	20:11	21:43	22:37	23:18
Rua do Brasil	15:48	15:59	16:20	16:31	16:48	16:59	17:20	17:31	17:48	17:59	18:20	18:31	17:48	18:59	19:20	19:31	19:48	20:13	21:45	22:40	23:20
São José	15:51	16:04	16:24	16:34	16:51	17:04	17:24	17:34	17:51	18:07	18:24	18:34	17:51	19:04	19:24	19:34	19:51	20:15	21:48	22:43	23:22
Estádio Municipal	15:55	16:07	16:28	16:37	16:55	17:07	17:28	17:37	17:55	18:10	18:28	18:37	17:55	19:07	19:28	19:37	19:55	20:19	21:52	22:46	23:23
Solum	15:57	16:12	16:30	16:42	16:57	17:12	17:30	17:42	17:57	18:14	18:30	18:42	17:57	19:12	19:30	19:42	19:57	20:21	21:56	22:48	23:24
Tovim	15:58	16:15	16:32	16:47	17:02	17:17	17:32	17:47	18:02	18:17	18:32	18:47	19:02	19:17	19:32	19:47	20:00	20:25	22:00	22:50	23:25
São Sebastião	14:07	16:18	16:36	16:50	17:07	17:18	17:36	17:55	18:07	18:21	18:36	18:50	18:07	19:18	19:36	19:50	20:07	20:29	22:03	22:52	23:27
St. António dos Olivais	14:11	16:21	16:39	16:53	17:11	17:21	17:39	17:58	18:11	18:23	18:39	18:53	18:11	19:21	19:39	19:53	20:11	20:31	22:06	22:54	23:29
Av. Bissaya Barreto	14:14	16:24	16:42	16:56	17:14	17:24	17:42	18:02	18:14	18:26	18:42	18:56	18:14	19:24	19:42	19:56	20:14	20:33	22:09	22:56	23:31
Hospitais U.C.	14:17	16:29	16:45	16:59	17:17	17:29	17:45	18:05	18:17	18:30	18:45	18:59	18:17	19:29	19:45	19:59	20:17	20:35	22:11	22:58	23:34
Crus de Celaz	14:19	16:33	16:48	17:00	17:19	17:33	17:48	18:07	18:19	18:33	18:48	19:00	18:19	19:33	19:48	19:00	20:19	20:38	22:14	23:00	23:36
Praça da República	14:23	16:37	16:51	17:05	17:23	17:37	17:51	18:10	18:23	18:37	18:51	19:05	18:23	19:37	19:51	19:05	20:23	20:40	22:17	23:03	23:38
Mercado D.Pedro V	14:28	16:42	16:57	17:10	17:28	17:42	17:57	18:13	18:28	18:42	18:57	19:13	18:28	19:42	19:57	19:13	20:28	20:42	22:22	23:07	23:40

Anexo T: Horário da carreira 103 dos SMTUC

OBJECTID	HORA1	HORA2	HORA3	HORA4	HORA5	HORA6	HORA7	HORA8	HORA9	HORA10	HORA11	HORA12	HORA13	HORA14	HORA15	HORA16	HORA17	HORA18	HORA19	HORA20	HORA21	HORA22	HORA23	HORA24	HORA25	HORA26	HORA27	HORA28	HORA29	HORA30	HORA31
Estação Nova	7:25	7:40	7:55	8:10	8:30	8:40	8:50	9:05	9:25	9:40	9:55	10:15	10:30	10:45	11:05	11:20	11:35	11:55	12:10	12:25	12:45	13:00	13:15	13:35	13:50	14:05	14:25	14:40	14:55	15:15	15:30
Av. Fernão Magalhães	7:28	7:43	7:58	8:13	8:33	8:43	8:53	9:08	9:28	9:43	9:58	10:18	10:33	10:48	11:08	11:23	11:38	11:58	12:13	12:28	12:48	13:03	13:18	13:38	13:53	14:08	14:28	14:43	14:58	15:18	15:33
Palácio da Justiça	7:29	7:44	8:00	8:14	8:34	8:44	8:54	9:09	9:29	9:44	10:00	10:20	10:34	10:49	11:09	11:24	11:39	12:00	12:14	12:29	12:49	13:04	13:20	13:39	13:54	14:09	14:29	14:44	15:00	15:20	15:34
Mercado D.Pedro V	7:33	7:48	8:03	8:18	8:38	8:48	8:58	9:13	9:33	9:48	10:03	10:23	10:38	10:53	11:13	11:28	11:43	12:03	12:18	12:33	12:53	13:09	13:23	13:43	13:58	14:13	14:33	14:48	15:03	15:23	15:38
Rua Padre António Vieira	7:35	7:50	8:05	8:20	8:40	8:50	9:00	9:15	9:35	9:50	10:05	10:25	10:40	10:55	11:15	11:30	11:45	12:05	12:20	12:35	12:55	13:11	13:25	13:45	14:00	14:15	14:35	14:50	15:05	15:25	15:40
Museu Machado de Castro	7:37	7:52	8:07	8:22	8:42	8:52	9:02	9:17	9:37	9:52	10:07	10:27	10:42	10:57	11:17	11:32	11:47	12:07	12:22	12:37	12:57	13:13	13:27	13:47	14:02	14:17	14:37	14:52	15:07	15:27	15:42
Universidade	7:40	7:55	8:10	8:25	8:45	8:55	9:05	9:20	9:40	9:55	10:10	10:30	10:45	11:00	11:20	11:35	11:50	12:10	12:25	12:40	13:00	13:16	13:30	13:50	14:05	14:20	14:40	14:55	15:10	15:30	15:45
Arco do Jardim	7:42	7:57	8:12	8:27	8:47	8:57	9:07	9:22	9:42	9:57	10:12	10:32	10:47	11:02	11:22	11:37	11:52	12:12	12:27	12:42	13:02	13:18	13:32	13:52	14:07	14:22	14:42	14:57	15:12	15:32	15:47
Penedo da Saudade	7:45	8:00	8:15	8:30	8:50	9:00	9:10	9:25	9:45	10:00	10:15	10:35	10:50	11:05	11:25	11:40	11:55	12:15	12:30	12:45	13:05	13:21	13:35	13:55	14:10	14:25	14:45	15:00	15:15	15:35	15:50
Av. Dias da Silva	7:47	8:05	8:20	8:35	8:55	9:05	9:15	9:30	9:50	10:05	10:20	10:40	10:55	11:10	11:30	11:45	12:00	12:20	12:35	12:50	13:10	13:26	13:40	14:00	14:15	14:30	14:50	15:05	15:20	15:40	15:55
St. António dos Olivais	7:50	8:10	8:25	8:40	9:00	9:10	9:20	9:35	9:55	10:10	10:25	10:45	11:00	11:15	11:35	11:50	12:05	12:25	12:40	12:55	13:15	13:30	13:45	14:05	14:20	14:35	14:55	15:10	15:25	15:45	16:00
Cruz de Celas	7:54	8:14	8:29	8:44	9:01	9:14	9:24	9:39	9:57	10:14	10:29	10:43	11:01	11:16	11:39	11:54	12:09	12:29	12:44	12:56	13:16	13:31	13:49	14:09	14:24	14:39	14:56	15:14	15:29	15:49	16:01
Rua Augusta	7:55	8:15	8:30	8:45	9:02	9:15	9:25	9:40	9:59	10:15	10:30	10:50	10:02	11:17	11:40	11:55	12:10	12:30	12:45	12:57	13:17	13:32	13:50	14:10	14:25	14:40	14:57	15:15	15:30	15:50	16:02
Praça da República	8:01	8:21	8:32	8:46	9:03	9:16	9:26	9:41	10:02	10:21	10:32	10:52	11:03	11:18	11:41	12:01	12:11	12:32	12:46	12:58	13:18	13:33	13:52	14:11	14:26	14:41	14:58	15:21	15:32	15:52	16:03
Manutenção	8:06	8:26	8:34	8:47	9:04	9:17	9:27	9:42	10:05	10:26	10:34	10:54	11:04	11:19	11:42	12:06	12:12	12:34	12:47	12:59	13:19	13:34	13:54	14:12	14:27	14:42	14:59	15:26	15:34	15:54	16:04
Palácio da Justiça	8:07	8:27	8:35	8:48	9:05	9:18	9:28	9:43	10:10	10:27	10:35	10:55	11:05	11:20	11:43	12:07	12:13	12:35	12:48	13:00	13:20	13:35	13:55	14:13	14:28	14:43	15:00	15:27	15:35	15:55	16:05
Av. Fernão Magalhães	8:09	8:29	8:37	8:49	9:06	9:20	9:30	9:45	10:13	10:29	10:37	10:57	11:06	11:21	11:45	12:09	12:15	12:37	12:49	13:01	13:21	13:37	13:57	14:15	14:30	14:45	15:05	15:29	15:37	15:57	16:06

OBJECTID	HORA32	HORA33	HORA34	HORA35	HORA36	HORA37	HORA38	HORA39	HORA40	HORA41	HORA42	HORA43	HORA44
Estação Nova	15:45	16:05	16:20	16:35	16:55	17:15	17:30	17:50	18:10	18:25	18:45	19:05	19:25
Av. Fernão Magalhães	15:48	16:08	16:23	16:38	16:58	17:18	17:33	17:53	18:13	18:28	18:48	19:08	19:28
Palácio da Justiça	15:49	16:09	16:24	16:39	17:00	17:20	17:34	17:54	18:14	18:29	18:49	19:09	19:29
Mercado D.Pedro V	15:53	16:13	16:28	16:43	17:03	17:23	17:38	17:58	18:18	18:33	18:53	19:13	19:33
Rua Padre António Vieira	15:55	16:15	16:30	16:45	17:05	17:25	17:40	18:00	18:20	18:35	18:55	19:15	19:35
Museu Machado de Castro	15:57	16:17	16:32	16:47	17:07	17:27	17:42	18:02	18:22	18:37	18:57	19:17	19:37
Universidade	16:00	16:20	16:35	16:50	17:10	17:30	17:45	18:05	18:25	18:40	19:00	19:20	19:40
Arco do Jardim	16:02	16:22	16:37	16:52	17:12	17:32	17:47	18:07	18:27	18:42	19:02	19:22	19:42
Penedo da Saudade	16:05	16:25	16:40	16:55	17:15	17:35	17:50	18:10	18:30	18:45	19:05	19:25	19:45
Av. Dias da Silva	16:10	16:30	16:45	17:00	17:20	17:40	17:55	18:15	18:35	18:50	19:10	19:30	19:50
St. António dos Olivais	16:15	16:35	16:50	17:05	17:25	17:45	18:00	18:20	18:40	19:00	19:15	19:35	19:55
Cruz de Celas	16:16	16:39	16:54	17:09	17:29	17:49	18:01	18:24	18:44	19:06	19:16	19:39	19:56
Rua Augusta	16:17	16:40	16:55	17:10	17:30	17:50	18:02	18:25	18:45	19:07	19:17	19:40	19:57
Praça da República	16:18	16:41	17:01	17:11	17:32	17:52	18:03	18:26	18:46	19:08	19:18	19:41	19:58
Manutenção	16:19	16:42	17:06	17:12	17:34	17:54	18:04	18:27	18:47	19:09	19:19	19:42	19:59
Palácio da Justiça	16:20	16:43	17:07	17:13	17:35	17:55	18:05	18:28	18:48	19:10	19:20	19:43	20:00
Av. Fernão Magalhães	16:21	16:45	17:09	17:15	17:37	17:57	18:06	18:30	18:50	19:15	19:21	19:45	20:05

Anexo U: Horário da Linha Figueira da Foz – Coimbra (CP)

Sentido Figueira da Foz - Coimbra

OBJECTID	HORA1	HORA2	HORA3	HORA4	HORA5	HORA6	HORA7	HORA8	HORA9	HORA10	HORA11	HORA12	HORA13	HORA14	HORA15	HORA16	HORA17
Fig. Da Foz	5:58	6:33	6:58	7:40	8:58	9:58	10:58	11:58	12:58	13:58	14:58	15:58	16:58	17:58	18:58	19:58	21:58
Reveles	6:14		7:14		9:14	10:14	11:14	12:14	13:14	14:14	15:14	16:14	17:14	18:14	19:14	20:14	21:14
Verride	6:20	6:50	7:20	7:57	9:20	10:20	11:20	12:20	13:20	14:20	15:20	16:20	17:20	18:20	19:20	20:20	21:20
Alfarelos	6:33	7:01	7:33	8:06	9:33	10:33	11:33	12:33	13:33	14:33	15:33	16:33	17:33	18:33	19:33	20:33	21:33
Formoselha	6:38	7:04	7:38	8:10	9:38	10:38	11:38	12:38	13:38	14:38	15:38	16:38	17:38	18:38	19:38	20:38	21:38
Vila Pouca do Campo	6:47		7:47		9:47	10:47	11:47	12:47	13:47	14:47	15:47	16:47	17:47	18:47	19:47	20:47	21:47
Taveiro	6:50		7:50		9:50	10:50	11:50	12:50	13:50	14:50	15:50	16:50	17:50	18:50	19:50	20:50	21:50
Espadaneira	6:55		7:55		9:55	10:55	11:55	12:55	13:55	14:55	15:55	16:55	17:55	18:55	19:55	20:55	21:55
Bencanta	6:57		7:57		9:57	10:57	11:57	12:57	13:57	14:57	15:57	16:57	17:57	18:57	19:57	20:57	21:57
Coimbra-B	7:05	7:24	8:05	8:33	10:05	11:05	12:05	13:05	14:05	15:05	16:05	17:05	18:05	19:05	20:05	21:05	22:05
Coimbra	7:10	7:28	8:10	8:37	10:10	11:10	12:10	13:10	14:10	15:10	16:10	17:10	18:10	19:10	20:10	21:10	22:10

Sentido Coimbra – Figueira da Foz

OBJECTID	HORA1	HORA2	HORA3	HORA4	HORA5	HORA6	HORA7	HORA8	HORA9	HORA10	HORA11	HORA12
Coimbra	6:59	8:53	9:53	11:59	12:59	13:59	14:53	16:59	17:56	19:53	22:32	0:17
Coimbra-B	7:07	9:01	10:01	12:07	13:07	14:07	15:01	17:07	18:07	20:01	22:42	0:26
Bencanta	7:11	9:05	10:05	12:11	13:11	14:11	15:05	17:11	18:11	20:05	22:46	0:30
Espadaneira	7:13	9:07	10:07	12:13	13:13	14:13	15:07	17:13	18:13	20:07	22:48	0:32
Casais	7:15	9:09	10:09	12:15	13:15	14:15	15:09	17:15	18:15	20:09	22:50	0:34
Taveiro	7:18	9:12	10:12	12:18	13:18	14:18	15:12	17:18	18:18	20:12	22:53	0:37
Vila Pouca do Campo	7:21	9:15	10:15	12:21	13:21	14:21	15:15	17:21	18:21	20:15	22:56	0:40
Amial	7:23	9:17	10:17	12:23	13:23	14:23	15:17	17:23	18:23	20:17	22:58	0:42
Pereira	7:27	9:21	10:21	12:27	13:27	14:27	15:21	17:27	18:27	20:21	23:02	0:46
Formoselha	7:30	9:24	10:24	12:30	13:30	14:30	15:24	17:30	18:30	20:24	23:05	0:49
Alfarelos	7:36	9:38	10:38	12:36	13:36	14:36	15:38	17:36	18:36	20:38	23:11	0:55
Montemor	7:40	9:41	10:41	12:40	13:40	14:40	15:41	17:40	18:40	20:41	23:15	0:58
Marujal	7:43	9:45	10:45	12:43	13:43	14:43	15:45	17:43	18:43	20:45	23:18	1:02
Verride	7:56	9:49	10:49	12:49	13:49	14:49	15:49	17:49	18:49	20:49	23:23	1:06
Reveles	8:00	9:53	10:53	12:53	13:53	14:53	15:53	17:53	18:53	20:53	23:27	1:11
Bifurcação de Lares	8:03	9:56	10:56	12:56	13:56	14:56	15:56	17:56	18:56	20:59	23:30	1:14
Lares	8:06	9:59	10:59	12:59	13:59	14:59	15:59	17:59	18:59	20:59	23:33	1:17
Fontela	8:09	10:03	11:03	13:03	14:03	15:03	16:03	18:03	19:03	21:03	23:36	1:20
Fontela-A	8:11	10:05	11:05	13:05	14:05	15:05	16:05	18:05	19:05	21:05	23:38	1:22
Figueira da Foz	8:15	10:09	11:09	13:09	14:09	15:09	16:09	18:09	19:09	21:09	23:42	1:26

Anexo V: Horário da Linha Souselas – Coimbra (CP)

Sentido Souselas – Coimbra

OBJECTID	HORA1	HORA2	HORA3	HORA4	HORA5	HORA6	HORA7	HORA8	HORA9	HORA10	HORA11	HORA12	HORA13	HORA14	HORA15	HORA16	HORA17	HORA18	HORA19
Souselas	6:27	7:27	8:12	8:28	9:29	10:28	11:29	12:23	12:44	13:07	14:28	15:28	16:17	17:27	18:27	19:28	20:29	21:28	22:34
Vilela-Fornos	6:30	7:30	8:15	8:31	9:32	10:31	11:32	12:26		13:10	14:31	15:31	16:20	17:30	18:30	19:31	20:32	21:31	22:37
Ademia	6:32	7:32	8:17	8:33	9:34	10:33	11:34	12:29		13:12	14:33	15:33	16:23	17:32	18:33	19:33	20:34	21:33	22:39
Coimbra-B	6:45	7:39	8:23	8:47	9:41	10:39	11:47	12:35	12:52	13:24	14:39	15:47	16:30	17:39	18:38	19:47	20:46	21:39	22:48
Coimbra	6:49	7:43	8:28	8:51	9:45	10:44	11:51	12:39	12:56	13:29	14:44	15:51	16:34	17:43	18:43	19:51	20:51	21:43	22:52

Sentido Coimbra – Souselas

OBJECTID	HORA1	HORA2	HORA3	HORA4	HORA5	HORA6	HORA7	HORA8	HORA9	HORA10	HORA11	HORA12	HORA13	HORA14	HORA15	HORA16	HORA17	HORA18	HORA19
Coimbra	5:33	6:30	7:44	8:42	10:05	10:53	11:43	12:43	13:43	14:48	15:42	16:24	16:43	17:43	18:24	18:29	19:41	20:42	22:08
Coimbra-B	5:38	6:35	7:48	8:50	10:09	10:58	11:48	12:48	13:48	14:53	15:47	16:30	16:48	17:48	18:28	18:37	19:50	20:48	22:13
Ademia	5:42	6:39	7:53	8:55	10:14	11:02	11:52	12:52	13:52	14:56	15:51		16:52	17:52		18:41	19:54	20:52	22:17
Vilela-Fornos	5:45	6:42	7:55	8:57	10:16	11:05	11:55	12:55	13:55	14:59	15:54		16:55	17:55		18:44	19:57	20:55	22:20
Souselas	5:48	6:45	7:58	9:01	10:20	11:08	11:58	12:58	13:58	15:02	15:57	16:36	16:58	17:58	18:36	18:47	20:00	20:58	22:23

Anexo X: Horário da linha Figueira da Foz – Coimbra (Moisés)

Sentido Figueira da Foz – Coimbra

OBJECTID	HORA1	HORA2	HORA3	HORA4	HORA5	HORA6	HORA7	HORA8	HORA9	HORA10	HORA11	HORA12	HORA13	HORA14	HORA15	HORA16	HORA17	HORA18	HORA19	HORA20	HORA21	HORA22	HORA23	HORA24	HORA25	HORA26	HORA27	HORA28	HORA29
Fig. Da Foz							7:35			8:25		10:05	11:35		12:40			13:45			15:45		16:50		17:40	18:30	19:15		
Maiorca							7:53			8:43		10:23	11:53		12:58			14:03			16:03		17:08		17:58	18:48	19:33		
Montemor				7:05		7:35			8:20	8:55	10:00	10:35		12:05	13:10	13:35		14:15		15:05	16:15		17:20		18:10	19:00	19:45		
Carapinheira	6:04	6:34	6:59	7:14		7:44			8:29	9:04	10:09	10:44		12:14	13:19	13:44		14:24		15:14	16:24		17:29		18:19	19:09	19:54	21:00	22:35
Tentugal	6:15	6:45	7:10	7:25	7:32	7:55			8:40	9:15	10:20	10:55		12:25	13:30			14:35		15:25	16:35		17:40		18:30	19:20		21:11	22:46
S. Martinho	6:21	6:51	7:16	7:31	7:38	8:01		8:21	8:46	9:21	10:26	11:01		12:31	13:36			14:41		15:31	16:41	17:20	17:46		18:36	19:26		21:17	22:52
S. Silvestre	6:25	6:55	7:20	7:35	7:42	8:05		8:25	8:50	9:25	10:30	11:05		12:35	13:40		14:05	14:45	15:05	15:35	16:45	17:24	17:50	18:15	18:40	19:30		21:21	22:56
S. João	6:28	6:58	7:23	7:38	7:45	8:08		8:28	8:53	9:28	10:33	11:08		12:38	13:43		14:08	14:48	15:08	15:38	16:48	17:27	17:53	18:18	18:43	19:33		21:24	22:59
Coimbra	6:55	7:25	7:50	8:05	8:12	8:35		8:55	9:20	9:55	11:00	11:35		13:05	14:10		14:35	15:15	15:35	16:05	17:15	17:54	18:20	18:45	19:10	20:00		21:51	23:26

Sentido Coimbra – Figueira da Foz

OBJECTID	HORA1	HORA2	HORA3	HORA4	HORA5	HORA6	HORA7	HORA8	HORA9	HORA10	HORA11	HORA12	HORA13	HORA14	HORA15	HORA16	HORA17	HORA18	HORA19	HORA20	HORA21	HORA22	HORA23	HORA24	HORA25	HORA26	HORA27	HORA28	HORA29	HORA30
Coimbra			7:15	7:50	8:25	9:00	10:00	11:05	11:25	12:10	12:25	13:10	14:05	14:05	15:15	16:00	16:15	16:40	17:10	17:15	17:20	17:40	18:00	18:30	18:43	18:45	19:10	20:15	21:45	0:05
S. João			7:42	8:17	8:52	9:27	10:27	11:32	11:52	12:37	12:52	13:37	14:32	14:32	15:42	16:27	16:42	17:07	17:37	17:42	17:47	18:07	18:27	18:57	19:10	19:12	19:37	20:42	22:12	0:32
S. Silvestre			7:45	8:20	8:55	9:30	10:30	11:35	11:55	12:40	12:55	13:40	14:35	14:35	15:45	16:30	16:45	17:10	17:40	17:45	17:50	18:10	18:30	19:00	19:13	19:15	19:40	20:45	22:15	0:35
S. Martinho			7:49	8:24	8:59	9:34	10:34	11:39		12:44		13:44	14:39		15:49	16:34	16:49	17:14	17:44	17:49	17:54	18:14	18:34	19:04	19:17		19:44	20:49	22:19	0:39
Tentugal			7:55		9:05	9:40	10:40	11:45		12:50		13:50	14:45		15:55	16:40	16:55		17:50	17:55	18:00	18:20	18:40	19:10	19:23		19:50	20:55	22:25	0:45
Carapinheira	6:46	7:36	8:06		9:16	9:51	10:51	11:56		13:01		14:01	14:56		16:06	16:51	17:06		18:01		18:11	18:31	18:51	19:21	19:34		20:01	21:06	22:36	0:56
Montemor	6:55	7:45	8:15		9:25	10:00	11:00	12:05		13:10		14:10	15:05		16:15	17:00	17:15				18:20	18:40		19:30			20:10			
Maiorca	7:07	7:57	8:27		9:37					13:22		14:22			16:27	17:12					18:32	18:52		19:42						
Fig. Da Foz	7:25	8:15	8:45		9:55					13:40		14:40			16:45	17:30					18:50	19:10		20:00						