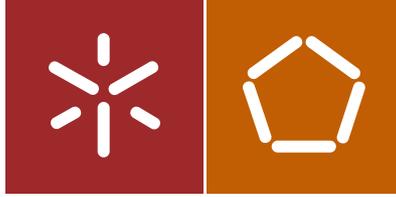




Universidade do Minho  
Escola de Engenharia

Pedro Mateus da Silva Costa

Geração de uma Rede Pedonal em  
formato vetorial e definição de  
percursos pedonais em ambiente urbano:  
Estudo de Caso na Póvoa de Varzim



Universidade do Minho  
Escola de Engenharia

Pedro Mateus da Silva Costa

Geração de uma Rede Pedonal em  
formato vetorial e definição de  
percursos pedonais em ambiente urbano:  
Estudo de Caso na Póvoa de Varzim

Dissertação de Mestrado  
Ciclo de Estudos Integrados Conducentes ao  
Grau de Mestre em Engenharia Civil

Trabalho efectuado sob a orientação do  
Professor Doutor Daniel Souto Rodrigues

## **Agradecimentos**

Em primeiro lugar deixo uma palavra de agradecimento e apreço ao Professor Doutor Daniel Souto Rodrigues pela disponibilidade, sugestões, orientação e encorajamento durante as várias fases deste trabalho.

Um agradecimento à Câmara Municipal da Póvoa de Varzim, em especial ao Engenheiro Manuel Rocha pelo material disponibilizado, imprescindível na realização deste trabalho.

De uma forma muito especial, agradeço aos meus pais, Mateus Costa e Rosa Costa por todo o apoio constante que me deram ao longo desta caminhada. À minha irmã Gabriela Costa por sempre ter acreditado em mim. À Mónica Maieiro e família pelas palavras, encorajamento e apoio incondicional durante este percurso.

Agradeço também a todos os meus amigos que acompanharam em todas as etapas desta fase da minha vida pelo apoio e amizade.

Geração de uma rede pedonal em formato vectorial e definição de percursos pedonais em ambiente urbano: estudo de caso na Póvoa de Varzim

## Resumo

Ao longo dos últimos anos, observou-se um aumento do uso do modo de mobilidade pedonal no interior das cidades, associado à procura de locais de circulação seguros e atrativos. Na realização dos seus trajetos, um dos fatores de principal importância para os peões relaciona-se com a eficiência dos percursos, despendendo o menor tempo possível nos trajetos entre dois pontos.

Atendendo ao exposto, esta dissertação tem por objetivo a geração de uma rede pedonal em formato vectorial em ambiente urbano, como tal, foi elaborada uma metodologia de geração de uma rede pedonal urbana num sistema de informação geográfica, baseada nos locais de circulação de peões e nos principais percursos realizados pelos mesmos. Para testar e validar a metodologia, recorreu-se a um estudo de caso no centro urbano da cidade da Póvoa de Varzim, onde se efetuou o levantamento de todos os espaços caminháveis e as rotas de transportes públicos coletivos rodoviários, de forma a gerar percursos pedonais e multimodais.

Procedeu-se à análise do uso de dois modos de deslocação, modo pedonal e modo multimodal, em função das características do tipo de percurso e do tempo despendido na sua execução.

Foram obtidos diferentes resultados de acordo com o tipo de percurso a efetuar dependendo do fator de impedância aplicados, sendo feita em todas as situações a comparação entre o percurso gerado em modo pedonal, sem fator de impedância, e o percurso gerado com o determinado fator em análise.

**Palavras-chave:** Geração de uma Rede Pedonal, Percursos Pedonais, Sistemas de Informação Geográfica.

Geração de uma rede pedonal em formato vectorial e definição de percursos pedonais em ambiente urbano: estudo de caso na Póvoa de Varzim

## **Abstract**

Over the last few years an increase of walking as a mobility strategy has been observed in cities, with pedestrians looking for safe and enjoyable routes. Regarding route choices pedestrians are also considering the efficiency of routes that take a smaller amount of time between two points.

Considering the above this dissertation aims to generate a walking network in vectorial format within urban environment. A methodology for the creation of an urban walking network in a geographic information system was created based on pedestrian's walking areas and main routes used by them.

In order to test and validate, a case study of the urban city centre of Póvoa de Varzim was undertaken mapping all pedestrian dedicated walkable places, and the routes of road public transport, so that walking and multimodal routes could be generated.

Analysis was made of walking and multimodal modes taking into account the type of route and time spent.

Different results were obtained in relation to the type of route depending of the impedance factor applied, being made in all cases the comparison between the route generated in walking mode ,without impedance factor, and the route generated with the acknowledged factor.

**Keywords:** Generation of a Pedestrian Network, Pedestrian Routes, Geographical Information System.

Geração de uma rede pedonal em formato vectorial e definição de percursos pedonais em ambiente urbano: estudo de caso na Póvoa de Varzim

## ÍNDICE

1	Enquadramento da Dissertação.....	1
1.1	Introdução.....	1
1.2	Objetivo.....	1
1.3	Estrutura da dissertação.....	2
2	Modelação de Redes de Circulação em meio urbano.....	3
2.1	SIG e Modelação de Redes de Circulação.....	4
2.1.1	Evolução dos SIG.....	5
2.2	Teoria dos Grafos.....	6
2.3	Modelação de Redes de Circulação.....	8
2.3.1	Modelação de redes usando modelo vectorial.....	10
2.3.2	Modelação de redes usando raster.....	11
2.4	Modelação de redes multimodais de transportes.....	12
2.5	Modelação de redes pedonais.....	15
2.6	Dinamização de cidades no uso do modo de deslocação pedonal, exemplos internacionais e nacionais.....	19
2.7	Mobilidade multimodal.....	24
2.8	Aplicações Móveis.....	26
3	Metodologia para a Modelação de redes de circulação.....	29
3.1	Seleção da área e levantamento de dados.....	30
3.2	Edição da Rede.....	31
3.2.1	Rede Pedonal.....	32
3.2.2	Inserção de fatores diferenciadores na rede pedonal.....	39
3.2.2.1	Percurso à sombra.....	39
3.2.2.2	Percurso com interesse comercial.....	40
3.2.3	Rede multimodal de transportes.....	41
3.3	Geração e cálculo de percursos.....	43

3.4	Diagrama de Metodologia.....	43
4	Estudo de caso - Póvoa de varzim.....	47
4.1	Introdução .....	47
4.2	Levantamento de dados.....	48
4.3	Aplicação do modelo em ambiente SIG .....	50
4.4	Inserção de fatores diferenciadores de percursos na rede pedonal .....	52
4.4.1	A existência de sombra.....	53
4.4.2	Interesse comercial .....	54
4.4.3	Percursos combinados com a rede de transportes públicos .....	57
4.5	Geração de Percursos .....	60
4.5.1	Geração de percursos com existência de sombra .....	60
4.5.2	Geração de percursos com interesse comercial .....	63
4.5.3	Geração de percursos multimodais com a rede de transportes públicos ....	65
5	Conclusões e desenvolvimentos futuros .....	77
5.1	Conclusões .....	77
5.2	Desenvolvimentos Futuros.....	79
	Referências BibliOgráficas .....	81
Anexo	85	
	Anexo I – Tabela de dados recolhidos das diferentes tipologias de arruamentos .....	85
	<i>Tabela de diferenciação de tipologias de arruamentos .....</i>	85
	Anexo II - Horários das linhas de transporte público rodoviário utilizados no estudo de caso.....	87

## Índice de figuras

Figura 2.1 - Exemplo do grafo cujos vértices são representados por: t, u, v, w, x, y, z, e as arestas denominadas por: vw, uv, xw, xu, yz e xy. ....	7
Figura 2.2 - Exemplo da atribuição de valores a cada pixel selecionado.....	12
Figura 2.3 - Comparação dos segmentos da rede viária (à esquerda), com os segmentos utilizados pelos peões, bem como as interseções e pontos de atravessamento(à direita).....	17
Figura 2.4 - Exemplo da geração da rede pedonal através de buffer.....	17
Figura 2.5 - Exemplo da rede pedonal criado através do mapeamento colaborativo.....	18
Figura 2.6 - Exemplo de redes pedonais geradas com recorrendo ao método de processamento de imagem. ....	19
Figura 2.7 - Mapa de rotas pedonais de Londres (London Pedestrian RouteMap).....	20
Figura 2.8 - Seattle Walking Map 2010. ....	22
Figura 2.9 - Distribuição modal nas áreas metropolitanas de Lisboa e Porto .....	26
Figura 3.1 - Exemplo dos diferentes tipo de resolução de imagem apresentadas pelas diferentes plataformas utilizadas: Google Earth, Google Maps e ArcGIS.....	30
Figura 3.2 - Edição manual do eixo da rede viária em vias 2x2.....	31
Figura 3.3 - Representação da rede viária. ....	33
Figura 3.4 - Representação de Buffer1.....	34
Figura 3.5 - Representação de Buffer 2.....	34
Figura 3.6 - Representação de Buffer 3.....	34
Figura 3.7 - Representação dos Buffer das áreas de circulação pedonal.....	34
Figura 3.8 - Representação da União.....	35
Figura 3.9 - Representação da junção das partes.....	35
Figura 3.10 - Representação da dissolução de Fronteiras. ....	36
Figura 3.11 - Representação da Conversão de Polígonos em Linhas.....	36
Figura 3.12 - Representação da derivação da Linha Central. ....	36
Figura 3.13 - Representação da dificuldade da derivação para a linha central. ....	37
Figura 3.14 - Representação da descontinuidade na aresta exterior.....	37
Figura 3.15 - Representação da solução aplicada para a derivação da linha central. ....	37
Figura 3.16 - Exemplo de aplicação do Collapse dual-line to center line .....	38
Figura 3.17 - Esquema de digitalização da rede pedonal. ....	39
Figura 3.18 - Exemplo da digitalização de percursos à sombra. ....	40

Figura 3.19 - Exemplo da digitalização dos percursos de interesse comercial.....	41
Figura 3.20 - Exemplo da definição da rede de transportes intersetada com a malha pedonal, e definição de direções de movimentos. ....	42
Figura 3.21 - Diagrama do modelo de geração da rede pedonal.....	44
Figura 3.22 - Diagrama do modelo de inserção de fatores na rede pedonal. ....	45
Figura 4.1 - Representação do Conselho da Póvoa de Varzim. ....	48
Figura 4.2 - Representação da área em Estudo. ....	49
Figura 4.3 - Representação geométrica.....	50
Figura 4.4 - Representação de todos os locais de atravessamento.....	52
Figura 4.5 - Representação dos percursos de conforto urbano à sombra do estudo de caso. ...	54
Figura 4.6 - Representação dos locais de lazer com interesse comercial. ....	56
Figura 4.7 - Rua da Junqueira, principal artéria de comércio tradicional.....	57
Figura 4.8 - Representação das linhas de transporte público que efetuam ligações no centro urbano.....	58
Figura 4.9 - Representação do local de interface dos diferentes modos. ....	59
Figura 4.10 - Comparação entre percurso gerados à sombra e percurso mais curto.....	61
Figura 4.11 - Pormenor da separação dos dois percursos mediante o fator de existência de sombra.....	64
Figura 4.12 - Pormenor do ponto de chegada dos dois percursos. ....	64
Figura 4.13 - Comparação de percursos na geração de percursos de interesse comercial.....	64
Figura 4.14 - Representação do percurso gerado com tempo de espera de 1 minuto.....	67
Figura 4.15 - Pormenor dos pontos de entrada e saída na rede de transporte público e consequente percurso pedonal. ....	67
Figura 4.16 - Representação do percurso gerado com tempo de espera de 1 minuto, utilizando ambas as linhas de transporte público.....	68
Figura 4.17 - Pormenor do local de transbordo.....	70
Figura 4.18 - Representação de percursos gerados com tempo de espera de 5 minutos e comparação entre os diferentes modos. ....	69
Figura 4.19 - Pormenor do percurso pedonal inicial até à entrada no transporte público. ....	70
Figura 4.20 - Percursos gerados com o tempo de espera de 15 minutos. ....	71
Figura 4.21 - Pormenor do percurso pedonal inicial até à entrada no transporte público. ....	72
Figura 4.22 - Representação de percursos gerados com tempo de espera de 29 minutos. ....	73

## Lista de quadros

Quadro 2.1 - Modos de transporte e redes.....	14
Quadro 4.1 - Extrato da tabela de dados recolhidos.....	50
Quadro 4.2 - Características dos percursos gerados: Distância, Tempo de Percurso.....	62
Quadro 4.3 - Características dos percursos de lazer gerados: Distância, Tempo de Percurso.	64
Quadro 4.4 - Percursos em modo pedonal e modo multimodal incluindo os tempos de espera de 1 minuto, 5 minutos e 15 minutos.....	75
Quadro 4.5 - Percursos gerados com tempo de espera de 29 minutos. ....	75

## **Lista de abreviaturas e acrónimos**

- ESRI - Environment System Research Institute
- GPS - Global Positioning System
- HCM - Highway Capacity Manual
- IMTT - Instituto de Mobilidade e dos Transportes Terrestres
- PBOT - Portland Bureau of Transportation
- SDOT - Seattle Department of Transportation
- SIG - Sistemas de Informação Geográfica

# **1 ENQUADRAMENTO DA DISSERTAÇÃO**

Neste capítulo é feita a introdução ao tema, a definição de objetivos e a exposição da estrutura da dissertação.

## **1.1 Introdução**

O modo suave pedonal é um meio de deslocação muito utilizado para a circulação nos centros urbanos das cidades. Os peões usufruem da capacidade de circular livremente, visto que, as regras de circulação são menos restritivas comparativamente às existentes para o tráfego motorizado.

Assim, a mobilidade pedonal em meio urbano assume um papel preponderante na circulação das pessoas, sendo importante apresentar soluções de deslocação que executem percursos rápidos, confortáveis e seguros. Neste enquadramento, o uso de sistemas de informação geográfica (SIG) na modelação de uma rede pedonal em centro urbano afigura-se como a opção mais adequada para a modelação e geração destes percursos.

## **1.2 Objetivo**

Pretende-se criar uma malha pedonal num centro urbano e a geração de percursos pedonais e multimodais. Para tal, o ponto fulcral deste trabalho recaiu no reconhecimento dos diversos locais de circulação para peões, bem como as suas dimensões, geometrias e características.

Com o objetivo principal de gerar percursos pedonais interligados com a rede de transportes públicos rodoviários coletivos, pretende-se avaliar a capacidade de geração destes percursos em meio urbano. Neste sentido, elaborou-se uma metodologia para a geração de uma malha de circulação pedonal usando as ferramentas de um SIG.

Outros objetivos que se pretendem alcançar é a inserção de características no modelo, com o intuito de gerar, comparar e avaliar trajetos em função do tempo necessário para os percorrer. Nomeadamente, trajetos com conforto ambiental urbano, trajetos de lazer e trajetos com modo de deslocação multimodal (inclusão da rede de transportes públicos rodoviários coletivos).

### **1.3 Estrutura da dissertação**

A organização desta dissertação encontra-se disposta em cinco capítulos e respetivos anexos.

O primeiro capítulo corresponde à introdução, onde é feito um enquadramento da presente tese e no qual se descrevem os objetivos propostos a alcançar.

O capítulo dois aborda a vertente mais teórica da dissertação, apresentado informações e pesquisas relacionadas com a modelação e geração de redes pedonais e multimodais, tendo por base o estado da arte elaborado para a dissertação.

No capítulo três, será abordada a vertente prática, onde será explanado, numa primeira fase, o desenvolvimento e a criação de uma metodologia de construção de uma rede pedonal através de um SIG. Na segunda fase, serão contempladas as características afetadas na rede gerada.

O capítulo quatro destinado ao estudo de caso, onde toda a área selecionada será objeto de estudo, tentando mostrar a viabilidade do modelo de geração de percursos em meio urbano e onde serão efetuadas análises envolvendo todas as características consideradas.

Por fim, no capítulo cinco, serão apresentadas as conclusões e possíveis desenvolvimentos futuros.

Em anexo serão apresentadas as tabelas criadas para o levantamento de dados.

## 2 MODELAÇÃO DE REDES DE CIRCULAÇÃO EM MEIO URBANO

Na atualidade as cidades apresentam dinâmicas de mobilidade diferentes das de algumas décadas atrás. No passado assistimos à procura da mobilidade rápida através do uso praticamente exclusivo do veículo individual, incentivada pelo investimento em infraestruturas viradas unicamente para esse fim, em detrimento do meio de transporte mais básico, andar a pé, e sobrepondo os interesses dos veículos motorizados aos dos peões. Da mesma forma, observou-se também o desuso de outro modo de transporte suave, a bicicleta, mais uma vez a favor do veículo motorizado.

Hoje em dia, o desafio apresentado é precisamente o contrário: pretende-se desincentivar o uso do veículo motorizado, que já não se apresenta como meio tão veloz devido aos congestionamentos e à falta de espaço para construção de novas vias direcionadas para este fim. Nesse sentido, o desafio atual relaciona-se com a rapidez e eficácia dos meios de transporte públicos existentes e futuros para que, utilizando mais do que um transporte se faça o trajeto (origem – destino) de forma mais veloz, confortável, segura, económica e menos poluente, em comparação com o veículo automóvel.

*“A cidade como que foi devolvida ao peão, ao cidadão e os ganhos são bastantes sentidos e têm, com certeza, um impacte significativo na disposição da população para melhorar o modo como se desloca e como acede às funções e às atividades. (...)Uma oportunidade de incentivar a transferência e o uso mais eficiente dos transportes.” (Pinto et al., 2008)*

No entanto para que esta mobilidade multimodal se processe, não basta implantar vários tipos de transporte, é também necessário planear, preparar e dotar as cidades com equipamentos focados na mobilidade pedonal, isto é, projetar centros tendo como principal critério a mobilidade do peão/cidadão, para que este possa efetuar os trajetos entre modos de forma direta e segura, promovendo o uso de modos suaves.

Andar a pé é o meio de transporte que todos utilizam diariamente por mais curtos que sejam os trajetos. Este modo de deslocação é a opção mais influenciada pelas questões de distâncias a percorrer e pelas questões ambientais, tendo estes fatores grande influência no planeamento urbano. Por essa razão, o planeamento de redes pedonais adota conceitos básicos semelhantes ao projeto de uma estrada, por esta razão é necessário contemplar uma

abordagem global e integrada num projeto de mobilidade urbana salvaguardando a segurança dos peões, a acessibilidade e a poupança de energia (ITF, 2012).

*“ Pretende-se, (...), captar e fomentar a utilização dos modos suaves para realização da maioria das deslocações em meio urbano. ”* (Ribeiro e Mendes, 2010).

Os gestores e planeadores de rotas utilizam sistemas de georreferenciação, GPS, para que seja possível diminuir a distância, o tempo de percurso e custo de determinada viagem em veículos motorizados. Porém, no planeamento de rotas para percursos pedonais, as principais variáveis a ter em consideração relacionam-se com o conforto e envolvente do trajeto, a segurança e distância a percorrer (Ribeiro e Mendes, 2010).

Como ferramenta informática para abordar esta temática, procedeu-se ao uso de um sistema de informação geográfica (SIG), dado que apresenta grandes valências na tomada de decisões, baseadas em resultados decorrentes de análises espaciais.

## **2.1 SIG e Modelação de Redes de Circulação**

Os SIG facilitam o manuseamento de dados espaciais através da sobreposição de vários tipos de registos. Permitem o cruzamento de dados recolhidos numa determinada área em análise, tornando mais fácil a obtenção de um mapa onde é possível retirar toda a informação necessária ou analisar um determinado fenómeno (Mota, 2006).

Esta plataforma tem a capacidade de armazenar e representar a informação dos elementos georreferenciados de várias formas, gerar tipologias de diversos elementos e a sua manipulação utilizando a sua base de dados, permitindo também a gestão de toda a informação recolhida propiciando a capacidade de definir e calcular indicadores em meio urbano, transformando-se numa ferramenta essencial no planeamento de cidades e regiões (Gama, 2011).

Os SIG representam uma tecnologia de informação adequada ao planeamento de sistemas de transportes, nomeadamente nos sistemas multimodais, visto que apresentam a possibilidade de conjugar diversos fatores aumentando a sua eficiência. Os sistemas de informação geográfica permitem efetuar um levantamento exaustivo das redes e rotas existentes nos diversos transportes, disponibilizando ferramentas para efetuar a sobreposição das diferentes redes de forma a revelar os locais de coincidência entre rotas/modos de transportes. Contudo, a complexidade do sistema depende da quantidade de variáveis

adotadas e da abrangência que se pretende mostrar das redes compreendidas (Nóbrega e Stich, 2010).

De acordo com Batista (2002), o uso de SIG no planeamento de redes multimodais possibilita uma mais rápida apresentação das situações e exposição de resultados dos percursos existentes efetuados pelos utilizadores no seu trajeto (origem – destino), visto que permite definir zonas mais restritas de análise. É ainda possível apresentar mapas representativos dos movimentos dos passageiros e localização dos diversos modos de transporte. No seu estudo, o autor, para além da caracterização dos modos de transporte utilizados nas deslocações pelo seu conforto, rapidez e segurança, também introduziram os fatores económicos dos utilizadores. Deste modo, um dos indicadores de referência são as características socioeconómicas dos utilizadores e a demografia da região, mostrando a vasta valência desta ferramenta.

Utilizando um SIG, Gama (2011) apresenta a possibilidade de executar, através de várias camadas, os elementos relevantes no mapeamento de uma região. Analisou a acessibilidade aos espaços verdes da cidade de Coimbra, recorrendo aos diversos meios de transporte existentes na cidade. Conjugou também diversos indicadores e tendo em especial análise os tempos necessários para efetuar estas deslocações, quer seja de modo pedonal ou através da multimodalidade oferecida pelos transportes. Este estudo conclui que se pode utilizar esta ferramenta noutros aspetos de âmbito urbano relacionado com espaços e equipamentos coletivos, serviços e comércio, facilitando a identificação da desproporcionalidade e necessidades funcionando como elemento relevante e útil no planeamento do meio urbano.

### **2.1.1 Evolução dos SIG**

As tecnologias de informação geográfica, nomeadamente os SIG, têm sofrido grandes evoluções. Esta rápida evolução reflete-se com o aparecimento e expansão da Internet tornando esta ferramenta acessível a um maior número de utilizadores. Por outro lado, o aparecimento de novos desafios, novos clientes e suas necessidades, acelerou o seu processo de evolução. As plataformas SIG móveis também cresceram devido à obrigatoriedade de acompanhar o aparecimento dos sistemas de localização portáteis e recolha de dados no terreno (Pires *et al.*, 2010).

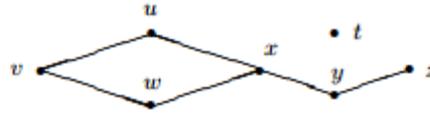
No caso da aplicação de SIG em mobilidade urbana, este apresenta a possibilidade de criar e projetar uma viagem, registando o ponto de início e de destino. Por exemplo, o planeamento do trajeto incide na obtenção do melhor percurso mediante alguns critérios previamente especificados. Este sistema sustenta a implementação de modelos e ferramentas com capacidade para ajudar qualquer utilizador durante o percurso, efetuando o cruzamento da informação precisa da sua localização geográfica com as informações existentes nas bases de dados. Assim, a introdução de equipamentos GPS fornecerá às aplicações SIG novas utilidades (Mouro, 2003).

Os SIG são dotados de uma faceta versátil, levando à sua aplicação em várias vertentes, assiste-se, hoje em dia, à sua conjugação com outras tecnologias de informação como são os casos de novas plataformas, como o *Google Earth* e nas comunicações móveis. É ainda de notar que este avanço tecnológico foi grandemente impulsionado pelo aparecimento e disseminação da internet. Outra das capacidades dos SIG é recorrer à realidade virtual, que possibilita executar uma elevada contribuição no planeamento e na simulação de panoramas distintos num ambiente georreferenciado virtual, efetuando a integração e interligação com outras aplicações (Cardoso, 2011).

## 2.2 Teoria dos Grafos

A Teoria dos Grafos tem a sua base em jogos e resoluções matemáticas, sendo a sua invenção atribuída a Euler, na resolução de cálculos na construção das pontes de Königsberg em 1736. Esta teoria apresenta uma diversidade de aplicação que atravessa várias áreas, desde a Informática passando pela Investigação Operacional até à Genética. Um grafo cria um modelo matemático de eleição para a resolução de problemas de vários tipos, desde a delineação de um mapa de estradas ou uma complexa rede elétrica, a sua representação baseia-se na apresentação através de pontos e segmentos de reta (Ruohonen, 2013).

Sucintamente, um grafo é constituído por um conjunto finito de vértices denominados por  $V(G)$ , e um conjunto de arestas chamados por  $A(G)$ . Um grafo é composto por um par de vértices e de arestas  $(V, A)$ . De acordo com o referido anteriormente, um grafo não pode compreender duas arestas distintas com o mesmo par de pontas, isto é, não pode conter arestas paralelas. Outra restrição relaciona-se com o facto de uma aresta não poder conter as pontas coincidentes, ou seja, uma aresta não pode iniciar-se e terminar no mesmo ponto, como apresentado na figura 2.1 (Feofiloff *et al.*, 2011).



*Figura 2.1 - Exemplo do grafo cujos vértices são representados por: t, u, v, w, x, y, z, e as arestas denominadas por: vw, uv, xw, xu, yz e xy.*

*Fonte: Feofiloff et al., 2011.*

*"Grafos podem ser representados por diagramas, onde cada vértice é representado por um ponto e cada aresta uma linha ligando os pontos que representam os extremos."* (Lucchesi, C., 1979)

De acordo com Robinson (1999), a Teoria dos Grafos é um método matemático que pode ter inúmeras aplicações de diferentes formas, sendo que esta teoria apresenta várias técnicas que podem ser utilizadas na modelação de redes, nomeadamente a sua estrutura de nós e linhas que executam uma ligação entre vários pontos fornecendo várias possibilidades de executar uma determinada ligação. A teoria dos Grafos possibilita a utilização de dados armazenados em modelos por forma a compreender o comportamento de um dado sistema, sendo este de fácil atualização devido à constante evolução e alteração dos mesmos. Logo, esta teoria permite gerar novas ligações automaticamente em modelos existentes.

Segundo Patrício (2006), os grafos apresentam uma forma eficaz de relacionar o fluxo de um determinado bem. Por exemplo, uma empresa de transporte de carga que tem por objetivo fornecer determinados pontos, sendo que estes serão definidos por vértices. As arestas que executam a ligação entre os vários pontos são referentes aos diversos percursos existentes que podem conter "pesos" diferentes (custos associados ao consumo de combustível, portagens, etc.), podendo ainda acrescentar outras variáveis como a sinalização rodoviária, de modo a gerar um percurso mais vantajoso para efetuar esta tarefa. Assim, podemos gerar um grafo com múltiplos caminhos possíveis, sendo neste caso, denominado por multigrafo. Em suma, os grafos podem converter-se em representações gráficas fornecendo a informação necessária e adequada para se executar um determinado percurso.

A Teoria dos Grafos é também utilizada na modelação de redes de acessibilidade entre cidades ou na modelação de redes pedonais, visto que, através do conjunto de elementos analisados nesta técnica matemática (pontos ou nós; arestas ou linhas) é possível delinear uma

rede extraindo os dados pretendidos, como por exemplo: distâncias, ligações, etc. (Torralles *et al.*, 2011).

### **2.3 Modelação de Redes de Circulação**

A modelação de redes tem como objetivo criar uma rede que satisfaça as necessidades dos diversos utilizadores contribuindo para um melhor planeamento urbano e interurbano de forma a acompanhar o crescimento das cidades.

Segundo Trullén (2005), a metodologia mais indicada para o desenvolvimento, conhecimento e avaliação do crescimento de uma rede de uma cidade ou de uma região deverá ter em conta, em primeiro lugar, o crescimento do emprego; em segundo, identificar a área de estudo; e por fim o enquadramento do modelo económico de crescimento urbano. A cidade de Barcelona é o centro de uma enorme rede urbana, na região da Catalunha, em Espanha, que gera desenvolvimento de múltiplas redes (viárias, comunicações e telecomunicações) em seu redor efetuando a ligação com toda a restante região.

De acordo com Secuma (2012), para modelar redes, a forma de extração de dados mais relevante e mais utilizada é a extração a partir de imagens de satélite, em detrimento de técnicas mais tradicionais (como por exemplo: fotografia aérea ou recolha de dados no terreno), tornando a recolha de dados menos onerosa e permitindo a produção de cartografia com maior rapidez e maior atualização. É de salientar que esta técnica apresenta uma enorme vantagem na recolha de dados de grandes áreas territoriais ou de locais de difícil acesso. Para além disso, oferece maiores benefícios em estudos urbanos devido à grande precisão dos dados extraídos, elevada cobertura espacial e a conformidade para a modelação. Toda a informação retirada de imagens de satélite pode ser utilizada na geração de mapas e redes, por apresentarem os diferentes dados existentes no solo.

O uso dos Sistemas de Informação Geográfica permite gerar e trabalhar com representações abstratas do mundo real. Por um lado, o sistema natural é representado por sistemas de redes de transportes, a utilidade das redes, as diversas ligações, as unificações de várias redes e a geologia das redes (relevo e ocupação do solo). Por outro lado, no sistema formal esta mesma representação é feita em modelos SIG onde é recolhida toda a informação e feita a compilação dos dados. No entanto, na relação entre o sistema natural e formal existem problemas de aproximação, visto que, por vezes, existe uma relativa simplicidade da realidade nos modelos SIG face ao mundo real. Na modelação de redes, os princípios gerais

para a criação de uma determinada rede são semelhantes em todos os campos de aplicação, tendo como base matemática subjacente a Teoria dos Grafos (Miller *et al.*, 2001).

Os principais objetivos para a representação digital de uma rede e as suas diversas aplicações relacionam-se com o propósito de encontrar caminhos onde exista ligação a outras redes, estimar fluxos e movimentos através da acumulação e crescimento da rede, gerir e analisar as diversas partes da rede, executar a representação da rede e dos sistemas e apresentar uma segmentação dinâmica. Para que se atinja estes objetivos é necessário que o modelo da rede contenha ligações diretas, tipologia tradicional em que uma linha executa a ligação entre dois pontos, e ligações em corrente direta onde a ligação não é feita de forma tão direta devido há existência de pontos intermédios entre dois pontos extremos ou principais. Num sistema de redes de transportes, recorre-se à utilização, sempre que possível, de ligações diretas, sendo também utilizada a divisão do sistema de transportes em sub-redes modais mais específicas, para que se garanta um bom serviço de ligações. Contudo, a maioria dos SIG contém um modelo planar, ou seja, é aplicado apenas à superfície do solo, necessitando de colocação de nós em todas as interseções não tendo em consideração a existência de viadutos, passagens subterrâneas e rampas. Deste modo, é importante adicionar os pontos específicos onde existem estas infraestruturas para que se adapte o modelo utilizado. (Miller *et al.*, 2001)

Para além disso, num SIG é necessário definir um sistema linear de referência espacial. Este referencial é definido por parâmetros e regras de medição no espaço. Os parâmetros fundamentais em qualquer referencial espacial são os pontos de origem e as unidades a utilizar. Os componentes essenciais são o DATUM e a Rede a utilizar: o DATUM compreende o conjunto de objetos com locais diretamente medidos e conectados aos objetos físicos existentes no mundo real; a rede demonstra a representação espacial dos nós e ligações e o Método de Referenciação Linear, usado para determinar uma posição dentro de uma rede utilizando o percurso definido. (Miller *et al.*, 2001)

A ferramenta informática geralmente utilizada na modelação de redes, *ArcGIS Network Analyst*, usada para análise espacial de redes, rotas de frotas, estações ou infraestruturas de apoio à rede. A modelação de uma rede pode ser feita de forma dinâmica em função da realidade da rede existente, incluindo restrições de vias, restrições de altura, limites de velocidade. Através dos dados introduzidos no modelo é possível: criar e encontrar rotas mais curtas, facilitar a criação de rotas mais eficazes e produtivas para uma frota de transportes públicos, gerir e limitar períodos horários para a realização de um determinado percurso, localização de instalações nas proximidades da rede ou definir instalações, como pontos de

paragem, tendo como variáveis a distância percorrida ou o tempo de percurso. (ESRI, ArcGIS Network Analyst, 2013)

Segundo Cichocinski (2012), na modelação de redes é necessário ter em conta muitas variáveis, nomeadamente, na modelação de percursos pedonais é importante ter bem presente que os peões podem circular em toda área existente no solo sem obstáculos, sendo que os utilizadores circulam livremente ao longo de estradas, ruas e entre áreas habitacionais. Desta forma, para que o cálculo de um percurso seja efetuado da melhor corretamente, é necessário compreender o tempo de viagem, as características e propriedades existentes num percurso.

### **2.3.1 Modelação de redes usando modelo vetorial**

Na modelação de redes pedonais, é necessário ter em linha de conta que não é fácil definir um caminho, uma vez que em áreas edificadas, os peões deslocam-se ao longo das estradas e arruamentos. Contudo, em áreas em que os edifícios habitacionais se encontram mais dispersos, os utilizadores podem circular por toda área existente entre os edifícios. Deste modo, é essencial definir representações que sejam adequadas a esta realidade. A análise de cálculo do melhor caminho pode ser efetuada através do cálculo individual de cada imóvel ou por áreas construídas, onde podem ser atribuídas propriedades próprias que fornecerão tempos de viagem. Este estudo pode ser feito com suporte em dois modelos: vetorial e raster. (Valter *et al.*, 2006)

No modelo vetorial, a representação geométrica de um determinado elemento é feito através de vértices definidos por coordenadas. Os elementos podem ser mostrados por distintas formas: por pontos caracterizados por um vértice, apenas pelas suas coordenadas de localização os quais não contêm comprimento nem área, por linhas ou arcos onde são representados pelo menos por dois vértices, originando segmentos com um determinado comprimento. Pode ainda ser representados por polígonos compostos por pelo menos três vértices ligados, sendo que o primeiro ponto contempla as mesmas coordenadas do último, originando assim polígonos fechados com área, perímetro e um determinado comprimento das arestas que ligam os vários vértices. (Freitas, 2006)

O modelo vetorial permite a ligação de vários pontos para formar uma rede de estradas, em que linhas (arestas) representam os eixos das vias rodoviárias e pontos (nós) representam cruzamentos entre vias. Os nós são assim pontos de união de duas ou mais arestas. Para que a rede modelada represente de forma adequada a realidade, as características adicionais devem estar conectadas com as áreas laterais da via (passeios). De modo a que se possa definir se o

segmento é executável nos vários sentidos de movimento ou intransponível permitindo calcular o custo da viagem nos vários segmentos da rede. Esta característica é denominada por procura e impedância. A forma mais fácil de obter o comprimento do segmento é através da sua medição determinada através da geometria. Por outro lado, a particularidade mais importante é o tempo necessário para percorrer um determinado elemento da rede, que relaciona o comprimento do elemento e a velocidade de percurso. Contudo, o valor desta característica não é de fácil quantificação visto ser necessário conhecer a velocidade. Neste caso, para que o estudo seja o mais semelhante possível à realidade, o custo do movimento entre os diferentes segmentos foi agregado aos pontos (nós) (Cichocinski, 2012).

### **2.3.2 Modelação de redes usando raster**

O modelo raster, também denominado por modelo matricial, que como o próprio nome indica, representa o terreno numa matriz composta por colunas e linhas que definem pequenas células, também designadas por pixels, onde cada pixel contém um valor atribuído. Cada pixel define uma área no mapa podendo esta variar consoante a resolução utilizada (Freitas, 2006).

Segundo Knoblock (2009), os dados em formato raster contêm um espectro de informação geográfica muito vasto para a realização da extração das características geográficas, sendo necessário realizar um trabalho manual para extrair os pixels, usando cores distintas com intensidades diferentes para diferenciar os elementos extraídos. Esta técnica exige uma enorme interação com o mapa para que se escolham um conjunto de limites. Para a classificação do mapa, é utilizada uma técnica de comparação de imagem chamada de luminosidade-limite com classificador, que permite o reconhecimento dos mapas raster com semelhanças na intensidade do uso da escala de cor em tons de cinzento (ver figura 2.2).

No cálculo de caminho em raster a área escolhida é dividida através de uma grelha quadrada com diversos elementos, onde são atribuídos determinados valores a cada pixel selecionado (Chiang, *et al.* 2008). Assim, podemos atribuir valores de restrição a cada pixel até que este seja superado, ou que não contenha qualquer impedimento de modo a que se possa chegar ao próximo pixel (Cichocinski, 2012).

0	0	64	128	255	255	255	255
64	0	0	64	128	255	255	255
128	64	0	0	64	128	255	255
255	128	64	0	0	64	128	255
255	255	128	64	0	0	64	128
255	255	255	128	64	0	0	64

Figura 2.2 - Exemplo da atribuição de valores a cada pixel selecionado.

Fonte: Knoblock, Y. (2009).

## 2.4 Modelação de redes multimodais de transportes

A multimodalidade de transportes é algo cada vez mais presente nas áreas urbanas, uma vez que o grande objetivo das cidades é criarem condições para o uso de transportes públicos conjugados com os modos suaves, circulação a pé ou de bicicleta. Deste modo, pretende-se afastar os veículos particulares dos centros urbanos, por forma a melhorar a circulação e o ambiente urbano e a satisfazer os utilizadores em fatores importantes, nomeadamente o tempo e o custo despendidos (Kralidis, 1999).

*"Toda a população depende dos transportes nos dias de hoje, quer seja, veículo particular ou transportes públicos. O tempo é um fator importante, visto que as pessoas desejam chegar o mais rápido possível ao destino pretendido."* tradução livre (Kralidis, 1999)

Segundo Mahrous (2012), o conceito de modelação deve ser adotado usando diferentes técnicas nos SIG, dando relevo a cada classe e tipo de modo em diferentes camadas. Os diferentes modos estão fisicamente separados uns dos outros. A ligação dos diferentes modos é executada através da utilização de conectores representados em áreas de transferência. O autor escolhe como estudo de caso a cidade de Enschede, na Holanda, onde a rede multimodal abrange os vários modos de transporte (autocarro, comboio, bicicleta e pedonal), permitindo uma análise completa e detalhada da rede para geração de um modelo completo. O modelo desenvolvido tinha como objetivo implementar um sistema para definir uma rota que contenha a multimodalidade da rede, usando a combinação de vários modos de deslocação e mostrando o percurso com o menor custo. Além disso, o modelo apresentado tem capacidade

de criar uma simulação de todos os cenários possíveis, desde os pontos de transferência, custo relacionado aos diferentes modos, custo da viagem e o custo da transferência e o custo discriminado de toda a rota.

Todos os modos de transportes existentes numa rede multimodal apresentam pontos fortes e pontos fracos, mas a sua conjugação potencia a melhoria do serviço e tende anular os aspetos negativos. O uso de bicicleta facilita a circulação em toda área urbana permitindo chegar a quase todos os pontos que um veículo motorizado, sendo também amigo do ambiente e pode ser utilizado durante todo o dia. Contudo, a sua utilização é restrita se tivermos em conta a velocidade e o esforço físico relacionado. Em contra ponto, os transportes públicos beneficiam de uma cobertura de distância quase ilimitada, embora tenham menos flexibilidade, ao não permitir um serviço "porta-a-porta", e seguem um horário fixo e rígido que tende a ser cumprido (Liu, 2010).

Assim, a multimodalidade dos transportes tem como principal objetivo suprimir as dificuldades recorrentes do uso de transportes separadamente e conjuga-los numa rede dinâmica. O relacionamento do uso de diversos modos visa facilitar a deslocação do peão, oferecendo-lhe a possibilidade de optar pelo percurso mais eficiente para se movimentar entre dois pontos (Mahrous, 2012).

Segundo Liu (2010), para um melhor planeamento de rotas, as redes multimodais são definidas, de acordo com a Teoria dos Grafos, por nós e linhas, pelas posições geográficas e topologia do espaço. Para a modelação de uma rede multimodal é necessário efetuar a distinção entre os modos de transporte privados e públicos, bem como o tipo de via a utilizado. Esta distinção é apresentada no quadro 2.1.

Quadro 2.1 - Modos de transporte e redes.

Fonte: Liu (2010), adaptado.

Tipo de Modo	Modo de Deslocação	Rede de Transporte	
		Tipo de Função	Tipo de Via
Privado	Andar a pé	Permitido a Peões	Rede Viária
	Automóvel	Permitido ao veículo individual	
	Velocípede	Permitido a Velocípedes	
	Motociclo	Permitido a Motociclos	
	Táxi	Permitido a Táxis	
Público	Autocarro	Linha de autocarro	Rede Ferroviária
	Metropolitano	Linha de metropolitano	
	Comboio Suburbano	Linha Suburbana	
	Elétrico	Linha do Elétrico	

Deste modo, a modelação é bastante distinta dependendo do tipo de modo em estudo. Quando se estuda um modo público, é necessário considerar que este tem de respeitar a geografia existente e os horários, o que não acontece nos modos de transporte privado. (Liu, 2010)

A modelação pode ser feita através de diversas abordagens, sendo que a modelação de redes ferroviárias apresenta muitas referências para a modelação de redes de transportes públicos rodoviários. Os horários dos transportes são normalmente considerados o ponto principal para a modelação das redes, uma vez que fornecem a informação dos veículos e a disponibilidade da rede. Neste estudo de caso, foram analisados os modos de transporte ferroviário, que contemplam os comboios suburbanos, metro (subterrâneo) e as linhas do elétrico. O autor refere que a modelação de redes para os transportes públicos rodoviários é igualmente simples e eficaz. No entanto, é obrigatório construir cada ligação entre duas estações tendo em atenção as características das estações e das rotas. Uma estação é o local onde os veículos executam a paragem e onde se dá a entrada/saída de passageiros. As estações

multimodais devem conter várias plataformas de paragem de diferentes modos onde os passageiros podem efetuar o transbordo para um outro modo de deslocação (Liu, 2010).

## **2.5 Modelação de redes pedonais**

A modelação pedonal é um tema que tem sido abordado por diversos investigadores, engenheiros e planeadores de território urbano, tendo em vista a melhoria das condições existentes e a procura de novas variáveis para que os trajetos pedonais sejam mais atrativos e confortáveis para os diversos utilizadores.

De acordo com Prasad (2013), os investigadores tem como objetivo promover o uso de percursos pedonais através do estudo da rede e do comportamento dos peões, por forma a criar ambientes mais atraentes para o uso pedonal, cativando mais utilizadores e tornando a rede pedonal como uma alternativa viável à rede viária.

Os percursos pedonais devem apresentar um conjunto de ligações diretas com pontos de atratividade em toda a sua continuidade. Deste modo, a rede deve promover a sua utilização conjugada com a envolvente e com as especificidades do local onde se encontram, como é o caso dos bairros da cidade de Lisboa. Para que se mantenha a continuidade da rede pedonal é importante evitar e minimizar fraturas geradas pelo atravessamento de vias de comunicação prioritárias, como por exemplo vias de caminho-de-ferro, vias coletoras e grandes conjuntos de edificações. Assim, a rede deve ser estruturada para garantir o fácil atravessamento e limitando os constrangimentos para os utilizadores, salvaguardando a sua segurança e o seu conforto (Mateus, 2007).

A modelação pedonal é mais difícil de executar do que a modelação da rede viária, uma vez que os veículos têm de obedecer a regras rígidas, desde as limitações das faixa de rodagem à sinalização existente, sendo a sua comunicação efetuada através de sinais luminosos. Os peões, não têm estas restrições, excetuando as barreiras físicas e regras culturais, visto terem a capacidade de circular livremente por onde desejam, a um ritmo confortável e podendo efetuar paragens e mudanças de direção repentinas. Os peões têm também a vantagem de poderem comunicar com outros utilizadores através da comunicação oral ou da linguagem corporal (Markowski, 2008).

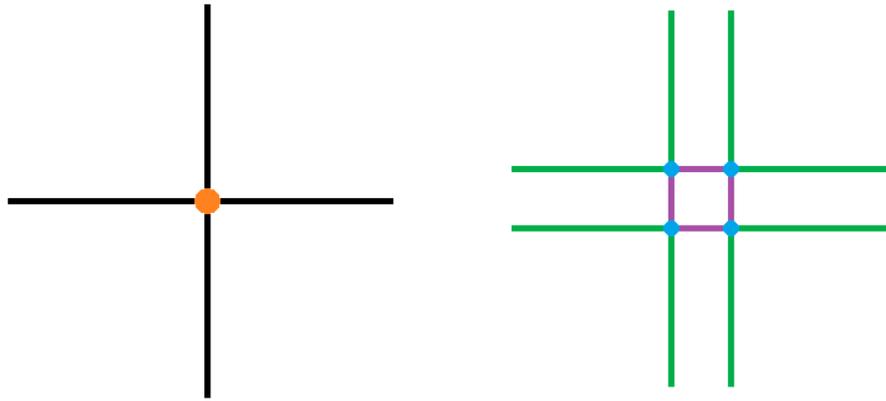
Segundo Vargas (2012), um dos mais importantes aspetos na modelação pedonal é a compreensão dos movimentos e comportamentos dos agentes pedonais em meio urbano. Contudo, este tipo de modelação é o mais complicado de ser executado, uma vez que o

comportamento do peão pode ser mais imprevisível que o dos restantes modos que estão associados a veículos. Para o peão, as infraestruturas de circulação são muito mais vastas, dado que, esta compreende não só os passeios, mas também os pontos de atravessamento, praças, parques e interfaces multimodais.

A Agência de Transportes da Nova Zelândia, *Transport Agency - Land Transport New Zealand*, (2009), criou um guia de planeamento e *design* pedonal tendo em vista a melhoria do ambiente urbano. Defende que essa melhoria deverá passar pela maior dedicação das infraestruturas existentes nas cidades para o peão, com o intuito de cativar o uso deste modo tornando-o mais atrativo, principalmente para viagens dentro da cidade podendo conjugá-lo com transportes públicos. Um dos principais fatores relaciona-se com a segurança do utilizador, dada a sua capacidade de circular sem grandes constrangimentos. Deste modo, constatou-se a necessidade de assegurar a segurança, não só na via pública, mas também nas áreas contíguas da rede viária, parques e áreas de lazer ou até em áreas privadas visitáveis por peões.

A *Portland Bureau of Transportation (PBOT)* (2010), em parceria com a Universidade do Estado de Portland, criou uma nova forma de análise espacial para analisar a acessibilidade e conectividade das redes pedonais. Esta análise focou-se em quatro etapas distintas: a primeira consiste na modelação pedonal na zona este de Portland; a segunda na atribuição de impedâncias que caracterizam as dificuldades ou restrições existentes ao longo dos vários segmentos; a terceira na identificação dos destinos e pontos de passagem; e por último, a quarta na execução de um modelo que apresente as melhorias da rede.

A modelação da rede pedonal não pode ser executada em função da linha central das vias rodoviárias. Ao utilizar as redes rodoviárias, excluem-se os locais de circulação dos peões. Apesar de ambas as redes se sobreporem, existem inúmeras diferenças e detalhes que devem ser analisados separadamente (Karimi e Kasempsuppakorn, 2013). Os peões circulam nas áreas laterais às estradas e geralmente efetuam o atravessamento das vias em cruzamentos, em pontos em que os cantos opostos se encontram mais próximos. Uma forma de modelar uma rede é gerar segmentos paralelos ao eixo da via central, nos locais onde os peões circulam e quando estes se intersectam, em cruzamentos, criar quatro nós de interseção onde se situam os pontos de atravessamento da estrada (Ballester *et al*, 2011). Desta forma, o modelo representa com maior rigor o ponto de vista do peão, permitindo também anexar e atribuir mais detalhes a um determinado ponto (figura 2.3) (*Portland Bureau Transportation (PBOT)*, 2010).

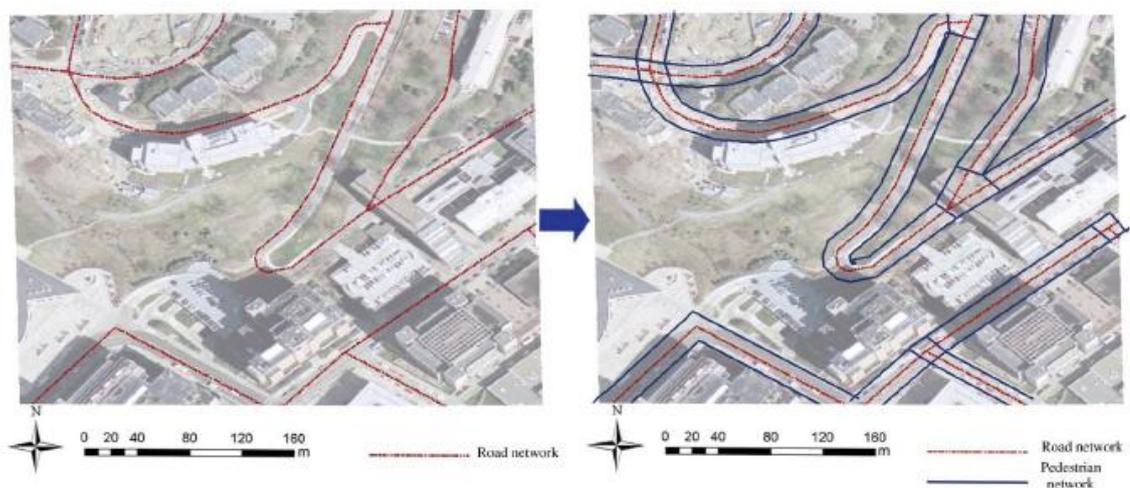


*Figura 2.3 - Comparação dos segmentos da rede viária (à esquerda), com os segmentos utilizados pelos peões, bem como as interseções e pontos de travessamento(à direita).*

*Fonte: Portland Bureau Transportation (PBOT)*

De acordo com Karimi e Kasemsuppakorn (2012), a modelação de redes pedonais pode ser realizada através de três experiências: abordagem *buffer*, de regulamentação da rede; abordagem de mapeamento manual; e através do processamento de imagens.

A primeira abordagem foi efetuada através da regulamentação da rede, sendo elaborada através da utilização das características da rede viária. Para calcular a geometria dos passeios, foram tidos em conta os atributos da via rodoviária, como largura de faixas e direção de viagem. O cálculo baseia-se no somatório da distância do centro da via, largura de bermas e a largura mínima dos passeios. É de realçar que todos os pontos de travessamento são assinalados, bem como os nós de intersecção entre os segmentos gerados, tal como se pode observar na figura 2.4.



*Figura 2.4 - Exemplo da geração da rede pedonal através de buffer.*

*Fonte: Karimi e Kasemsuppakorn (2012)*

Na segunda abordagem, levantamento do mapa de forma manual, os autores utilizaram um *software* específico desenvolvido pelos próprios (SoNavNet) e telefones com o sistema operativo *Android*, de modo a registarem todos os dados recolhidos através da utilização de GPS, tendo como base o número de satélites disponíveis (mínimo de 4) e a velocidade de percurso. Uma vez que o número ideal de pontos necessários era desconhecido, foram levantados o maior número de pontos possível. Assim, todas as medições foram efetuadas mediante os critérios anteriormente referidos, de forma a revelarem uma rede mais próxima da realidade. Na figura 2.5 é representado um exemplo da malha criada: no mapa da esquerda é apresentado os pontos marcados com recurso a GPS, e à direita a malha pedonal gerada (Karimi e Kasempsuppakorn, 2013).

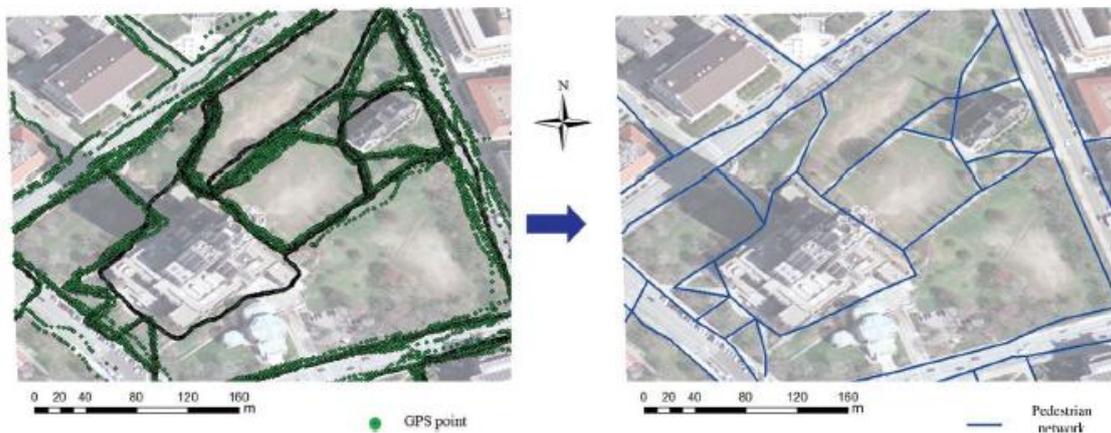
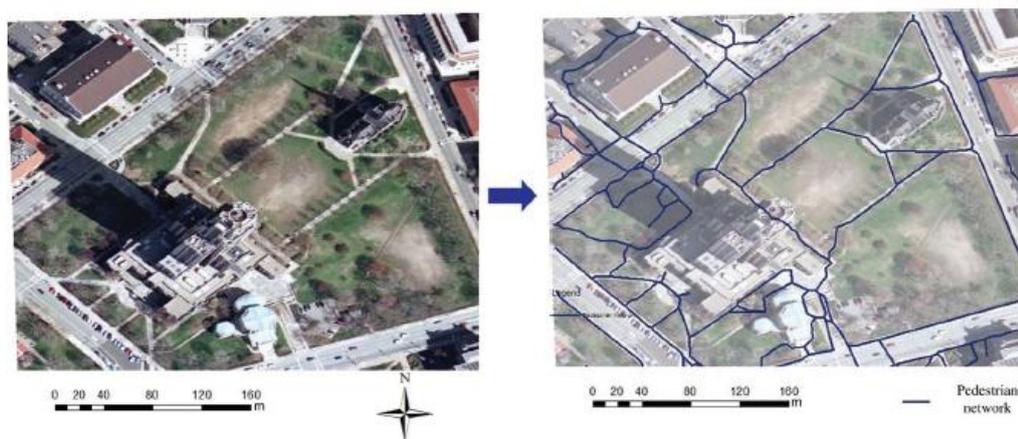


Figura 2.5 - Exemplo da rede pedonal criado através do mapeamento colaborativo.

Fonte: Karimi.e Kasempsuppakorn (2012)

A terceira e última abordagem utilizada refere-se ao processamento de imagem utilizando ortofotomapas com cores naturais. O critério inicial adotado é a definição de 1,4 metros de largura para os passeios. Outros dois parâmetros utilizados foram a altura mínima dos edifícios e a altura das copas das árvores: o valor utilizado foi de 3 metros, para ambas as alturas. Outros dois parâmetros considerados foram a semelhança do espectro de cores e o limite da distância máxima entre eles. A semelhança do espectro ou similaridade espectral é a semelhança da intensidade dos pixels contíguos/vizinhos. Deste modo, a distância máxima calculada foi a diferença de intensidade entre os pixels. A figura 2.6 representa, do lado esquerdo, o ortofotomapa utilizado e a rede pedonal gerada, imagem do lado direito (Karimi e Kasempsuppakorn, 2012).



*Figura 2.6 - Exemplo de redes pedonais geradas com recorrendo ao método de processamento de imagem.*

*Fonte: Karimi e Kasemsuppakorn, (2012)*

Em suma, a primeira abordagem, através da utilização de *buffer*, apresenta maior facilidade na geração de percursos pedonais. No entanto a abordagem, de levantamento de forma manual revelou um enorme potencial na criação de redes pedonais, uma vez que a utilização repetida do levantamento por GPS possibilita a correção eficaz da geometria das redes. Por fim, a utilização da técnica de processamento de imagem não revela uma eficácia tão elevada como as abordagens anteriores, devido à existência de zonas de sombra e outras de difícil visualização devido à presença de diversos obstáculos (Karimi e Kasemsuppakorn, 2012)

## **2.6 Dinamização de cidades no uso do modo de deslocação pedonal, exemplos internacionais e nacionais**

Na cidade de Londres foi criado um “Route Map” de modo a estimular os cidadãos londrinos a circularem a pé. O “Route Map” identifica os principais locais de interesse da cidade e executa a ligação em rotas diretas para os diversos pontos e atratividades de cada linha (Hillier, 2006).

A criação do mapa foi efetuada com base na pesquisa dos movimentos padrão dos cidadãos que se deslocam a pé, tendo como principais critérios: a perceção dos locais por onde circulam os peões, a compreensão do motivo das suas deslocações e por onde o fazem. Este levantamento foi executado através da utilização da tecnologia SIG (Hillier, 2006).

Através do levantamento dos diversos percursos realizados, foram geradas várias rotas de interesse e assinalados os pontos de ligação entre elas, como é apresentado na figura 2.7. Trata-se de uma informação relevante não só para os residentes, mas também para os inúmeros turistas, onde são indicados ao longo das rotas a existência de monumentos, zonas comerciais, áreas de lazer, etc. É ainda de salientar que em todas as rotas estão sinalizadas as várias estações de transportes públicos bem como a intermodalidade dos mesmos (Hillier, 2006).

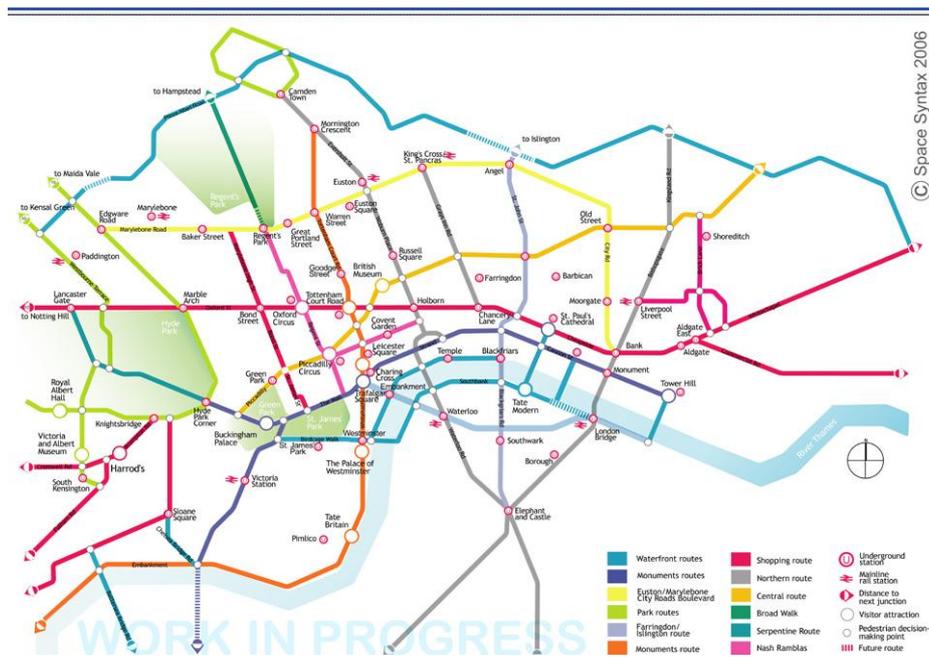


Figura 2.7 - Mapa de rotas pedonais de Londres (London Pedestrian RouteMap)  
Fonte: Hillier, (2006)

Um outro exemplo de planeamento da cidade em função do uso pedonal pode se encontrado na cidade de Seattle, nos Estados Unidos da América. O Departamento de Transportes da cidade de Seattle (SDOT, 2010) planeou um mapa dedicado a rotas pedonais de modo a satisfazer as necessidades dos seus habitantes, bem como dos seus visitantes. Uma vez que se trata de uma das maiores cidades dos Estados Unidos, o mapeamento foi executado em três áreas distintas: Norte, Central e Sul. Todas as linhas se encontram interligadas, como se pode observar na figura 2.8.

Como auxílio na escolha do caminho a realizar, todas as rotas e percursos foram assinalados com o tempo necessário à sua realização tendo como base a distância a percorrer. Porém, o cálculo do tempo de percurso não tem em linha de conta as inclinações existentes, não aumentando assim o tempo de percurso mediante a inclinação (SDOT, 2010).

De acordo com o Departamento de Transportes de Seattle, circular a pé é a forma mais elementar de transporte da qual todos os cidadãos dependem diariamente. De modo a incentivar as pessoas a deslocarem-se a pé em detrimento do transporte individual, este departamento teve como objetivo melhorar as condições de segurança, criando locais mais atrativos, seguros e confortáveis. Em 2002, iniciaram de forma mais notável a melhoria das infraestruturas para os peões com a marcação de passadeiras, mostradores com a contagem decrescente do tempo disponível para o atravessamento e colocação de passadeiras sobrelevadas. Foram também estabelecidas várias medidas de acalmia de tráfego, uma vez que uma das maiores dificuldades para os peões é o tráfego automóvel e a velocidade a que circulam. Algumas das medidas implantadas estão relacionadas com rotundas, gincanas e cones divisórios de faixas de rodagem. Porém, a ferramenta que maior impacto apresentou foi a introdução de radares de informação de velocidade com o objetivo de mostrar aos condutores a velocidade a que circulavam, sendo um fator de inibição à prática de velocidades excessivas (SDOT, 2010). Outro aspeto fundamental para o incentivo ao uso de percursos pedonais, recai na construção de passeios com larguras adequadas à circulação de maior quantidade de peões e a reconstrução e adaptação dos passeios existentes (SDOT, 2010).

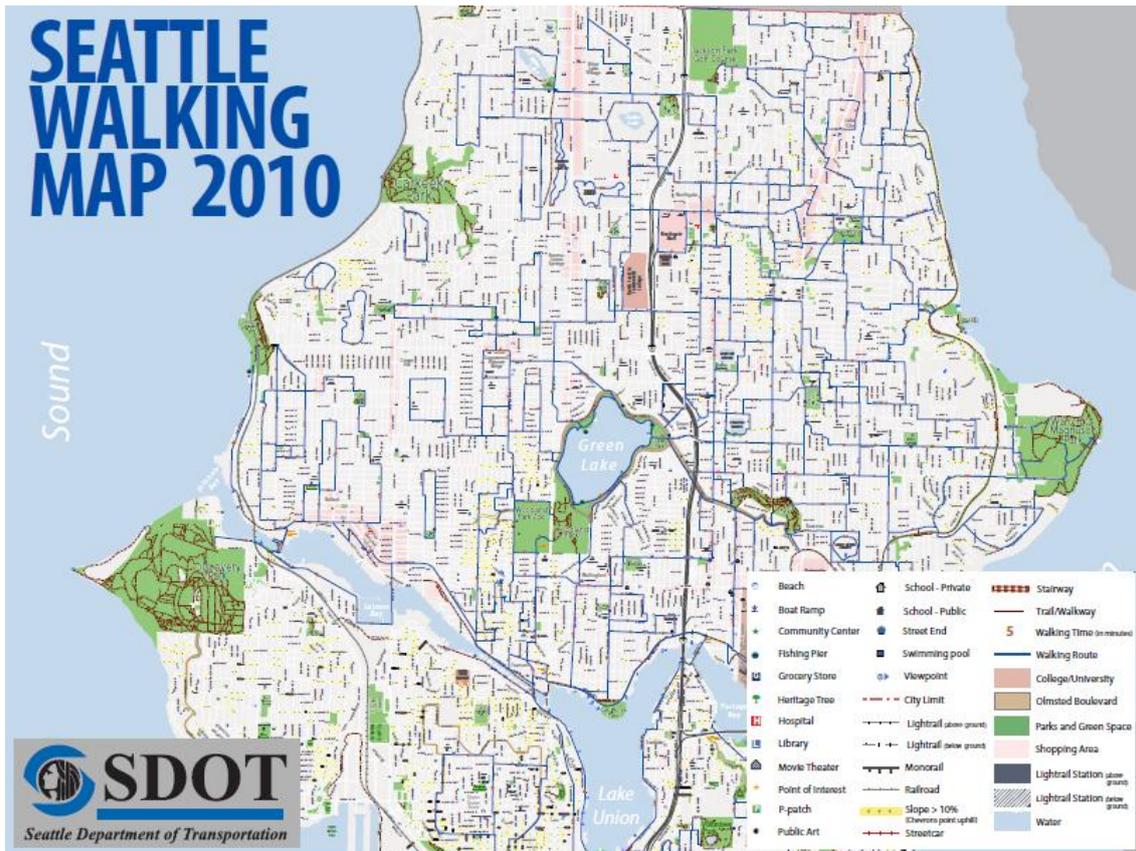


Figura 2.8 - Seattle Walking Map 2010.

Fonte: Adaptado de (<http://www.seattle.gov>)

Existem também alguns exemplos em Portugal de dinamização das cidades em matérias relacionadas com modos suaves, o primeiro exemplo prende-se com o município de Miranda do Douro, (2008). Neste caso o objetivo principal foi valorizar as deslocações a pé pelo centro histórico da cidade colocando assim algumas limitações à circulação automóvel. A forma encontrada para melhorar este modo de transporte foi requalificar a rede pedonal, criar uma rede pedonal contínua conectando os parques de estacionamento existentes na periferia com os equipamentos e serviços do centro histórico. Deste modo, apetrecharam uma rede pedonal com condições de conforto e segurança que visam incitar o seu uso, sendo que os percursos escolares receberam particular atenção devido ao fluxo elevado de estudantes que os utilizam.

Os itinerários também contemplam os utilizadores com mobilidade reduzida, garantindo a inexistência de obstáculos e o fácil acesso aos serviços e equipamentos presentes no centro histórico. Visto que o município Miranda do Douro tinha como objetivo implantar o uso de modos suaves, criou percursos afetos apenas a peões e outros de utilização repartida entre peões e ciclistas, não descorando atratividade da envolvente destes espaços urbanos.

Outro exemplo relacionado com a criação de infraestruturas pedonais e promoção do uso de modos suaves em cidades portuguesas prende-se com o Município do Pombal. Nesta cidade foram implementados mais de 10 km de infraestruturas exclusivamente pedonais, onde se inserem vários edifícios municipais, serviços e centros escolares. A construção e reabilitação de ciclovias foi também um ponto forte na evolução da mobilidade sustentável, reabilitando estradas florestais e acessos a zonas balneares, nomeadamente da Praia do Osso da Baleia e inclusão na rede de acessibilidades costeiras. É de referir a construção de uma ciclovia urbana bem distinta da zona de circulação de peões com ligação a diversos pontos de interesse na cidade (Mateus, 2007).

Os percursos pedonais devem apresentar um conjunto de ligações diretas com pontos de atratividade em toda a sua continuidade. Deste modo, a rede deve promover a sua utilização conjugada com a envolvente e com as especificidades do local onde se encontram, como é o caso dos bairros da cidade de Lisboa. Para que se mantenha a continuidade da rede pedonal é importante evitar e minimizar fraturas geradas pelo atravessamento de vias de comunicação prioritárias, como por exemplo vias de caminho-de-ferro, vias coletoras e grandes conjuntos de edificações. Assim, a rede deve ser estruturada para garantir o fácil atravessamento e limitando os constrangimentos para os utilizadores, salvaguardando a sua segurança e o seu conforto (Mateus, 2007).

No que concerne à segurança dos peões, sendo estes os elementos mais vulneráveis na rede viária, optaram por conjugar todos os modos diferentes de deslocação em meio urbano. Começando por implementar medidas de acalmia de tráfego, efetuando a redução de velocidades dos veículos motorizados, criação de zonas onde a velocidade máxima de circulação não exceda os 30km/h, tendo em vista uma melhor convivência entre veículos e peões (Câmara Municipal de Lisboa, 2011).

Para que os peões não executem os atravessamentos das vias em locais indesejados, realizaram adaptação dos pontos de atravessamento para que coincidissem com as trajetórias usadas pelos peões, utilizando também barreiras para canalização de movimentos. Em locais de atravessamento de vias múltiplas, onde o processo de passagem é executado faseadamente, foram construídos abrigos, garantindo boa visibilidade para peões e automobilistas (Câmara Municipal de Lisboa, 2011).

Em vias com circulação de transportes públicos rodoviários, as passadeiras sofreram também intervenções de realocação, para evitar que o seu encobrimento pelos autocarros levasse a uma diminuição da visibilidade e conseqüente segurança dos peões (Câmara Municipal de Lisboa, 2011).

O conforto é um dos parâmetros mais importantes na construção e reabilitação de um percurso pedonal, portanto foi necessário não só criar um conforto psicológico como a noção de segurança reduzindo o risco de assalto e atropelamento, mas também conforto físico, evitando grandes declives em determinados troços. Assim, a entidade criou uma rede versátil que minimize-se os percursos difíceis e os torna-se mais atraentes e curtos, munindo-os de equipamentos de proteção e de descanso (Câmara Municipal de Lisboa, 2011).

## **2.7 Mobilidade multimodal**

A mobilidade multimodal tem como principal objetivo propiciar o movimento de pessoas por vários modos de transporte existentes, proporcionando transbordos rápidos e eficazes entre diferentes modos, contemplando o menor tempo de percurso e maior conforto durante uma viagem.

Segundo *Southern California Association of Governments Westside Cities* (2005), a multimodalidade de transportes tem como objetivo permitir que os utilizadores, dos vários modos de transporte, tenham a capacidade de se deslocar dentro de áreas urbanas ou interurbanas, garantindo o acesso a vários pontos de interesse como serviços ou locais de lazer. Assim, procuraram oferecer aos cidadãos a oportunidade de decidir quais os modos a utilizar para se deslocarem de um ponto a outro, desenvolvendo redes de transportes, vias de comunicação e interfaces de transbordo.

A mobilidade multimodal é um aspeto importante nos dias de hoje devido ao aumento do volume de tráfego de veículos individuais nas cidades que criam enormes congestionamentos. Deste modo, impulsionaram a criação de uma rede que permita aos peões deslocarem-se até aos seus destinos, não só utilizando transportes públicos mas também de bicicleta ou a pé, ou utilizando estes três modos em conjunto. Assim, a preocupação com as áreas destinadas a estacionamento, novas estradas, ou alargamentos de estradas existentes não foram um problema, permitindo encaminhar este investimento para melhoria das redes de transportes, reabilitação dos percursos dedicados a estes modos e construção de novos percursos destinados ao uso exclusivo de modos suaves. (*Southern California Association of Governments Westside Cities*, 2005).

A multimodalidade na zona oeste dos Estados Unidos da América apresenta uma grande importância devido ao elevado número de pessoas e postos de trabalho existentes. Todavia, a falta de espaço para construção de novas vias e o crescente aumento de tráfego criou um novo

desafio no que diz respeito à mobilidade de pessoas nestas grandes áreas urbanas (Southern California Association of Governments Westside Cities, 2005).

Um dos principais pontos que receberam maiores esforços de intervenção foram as existentes barreiras físicas à deslocação dos peões, como são os casos das autoestradas e das linhas férreas. Estes elementos provocam descontinuidades nos percursos o que limita a circulação peões e a ciclistas. Outro fator de inibição à deslocação pedonal é a falta de atratividade dos percursos pedonais, nomeadamente nos casos em que ladeiam grandes avenidas onde os veículos circulam a velocidades elevadas. Em diversos pontos destas vias, não existem pontos de atravessamento, sinalização nem pontos de proteção para peões, o que cria um elevado nível de desconforto e insegurança, obrigando os peões a percorrer grandes distâncias sem qualquer tipo de equipamento de proteção (Southern California Association of Governments Westside Cities, 2005).

Tendo em vista incentivar o uso de modos suaves, as estações foram equipadas com pontos de estacionamento de bicicletas e, nos transportes públicos, foram instalados equipamentos de transporte de bicicletas, facilitando a multimodalidade entre os diversos modos de deslocação. Outras medidas implementadas para melhorar a mobilidade multimodal, assentaram na melhoria das infraestruturas, particularmente na construção de vias partilhadas entre peões e ciclistas, acessos diretos para peões e autocarros até às estações, estações que façam interface entre autocarros e comboios e parques de estacionamento nas proximidades das estações (Southern California Association of Governments Westside Cities, 2005).

Segundo Moura (2008), no estudo "Transporte Urbano de Passageiros em Lisboa e no Porto", o elevado crescimento demográfico nos principais centros urbanos de Portugal, fez com que as cidades necessitassem de adaptar as suas infraestruturas de transportes para que conseguissem absorver a elevada procura resultante deste aumento. Verificou-se uma elevada procura de transportes públicos para deslocação urbana, mas a utilização multimodal não era de todo efetuada pelos passageiros nos anos iniciais deste estudo – 1995. Contudo, como é apresentado na figura 2.9, com a implementação de novos meios de transporte com rotas que abrangeram áreas mais vastas, observou-se uma alteração de comportamentos, havendo uma evolução da multimodalidade nestas cidades.

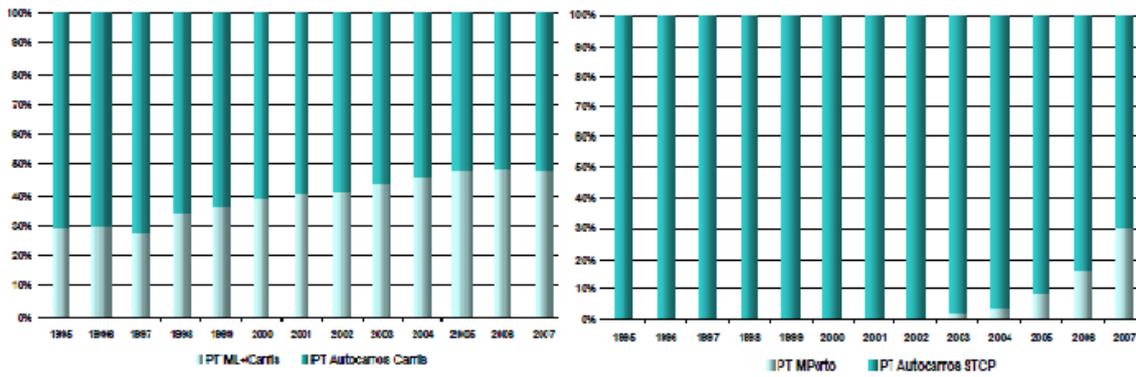


Figura 2.9 - Distribuição modal nas áreas metropolitanas de Lisboa e Porto

Fonte: adaptado, Transporte Urbano de Passageiros em Lisboa e no Porto(2008)

Neste estudo, o autor defende uma elevada necessidade de desenvolver políticas de incentivo ao uso de transportes públicos face ao transporte individual, aumentando os níveis de serviço oferecido garantindo a sustentabilidade das empresas bem como a mobilidade dos passageiros, não descorrendo as atualizações de frotas e novas necessidades dos utilizadores (Moura, 2008).

Na Austrália, no estado de Queensland, foi efetuado um estudo das necessidades a médio e longo prazo de transportes. Este projeto teve em vista a construção de vastas artérias rodoviárias e linhas ferroviárias de modo a reduzir a duração das viagens entre as principais cidades, melhorando a conectividade entre os diversos tipos de transporte, rodoviário, ferroviário e pedonal. Para a implementação desta interligação entre modos procederam à construção de estações e interfaces onde fosse possível realizar o transbordo entre modos.

As interfaces criadas visam proporcionar acessos diretos a vários pontos de destino, cujos volumes de movimentos de peões/passageiros são elevados, tais como: Campus Universitários, Hospital Universitário, centros urbanos e locais de atividades económicas. Estas interfaces estão providas de acessos pedonais e ciclovias que realizam a conexão entre os modos rodoviários e ferroviários (Queensland Government, 2008).

Este projeto procurou incentivar o uso da mobilidade multimodal mais eficientes, mais rápidos, mais sustentáveis e responder às necessidades das populações servidas.

## 2.8 Aplicações Móveis

Como auxílio à mobilidade multimodal existem aplicações disponíveis para *smartphones*, que possibilitam consultar os horários e as rotas existentes em determinadas cidades. Por outro lado, existe também a possibilidade de utilizar ferramentas disponíveis na

internet para planear uma determinada deslocação/viagem, apresentando várias possibilidades no modo de transporte.

Uma das ferramentas utilizadas no planeamento de uma determinada viagem, é o *GoogleMaps*. Esta ferramenta apresenta a possibilidade de determinar o percurso entre dois pontos, utilizando diferentes modos de transporte, desde o veículo individual, aos diversos transportes públicos e os modos suaves. Contudo, apresenta uma lacuna na geração de percursos pedonais, visto que estes trajetos são calculados através da rede viária existente e não através da rede pedonal presente num determinado espaço.

Outra aplicação disponível é o "MOVE-ME", esta aplicação: foi desenvolvida pela empresa OPT em parceria com empresas de transportes da cidade do Porto, nomeadamente a STCP, Metro do Porto e algumas operadoras privadas do grupo de ANTROP, e tem por objetivo melhorar as informações disponíveis sobre transportes públicos no Porto. O cálculo de rotas, horários num período de 60 minutos, paragens e destino é efetuado com base na rede disponibilizada pelas operadoras, bem como as respetivas atualizações. No que toca a sua utilização, é de salientar que permite gerar um plano de rotas com espaço temporal de 3 dias. Deste modo, o utilizador pode pesquisar as partidas dos transportes e os tempos de espera relacionados com o seu destino. Possibilita ainda a consulta da localização através de um mapa e a introdução de critérios de pesquisa, dos quais resultará a descrição das estações mais próximas ao destino previamente designado e dos pontos de interesse relevantes no percurso traçado (OPT, 2012).

Existe também a opção de cálculo de rota, que permite ao utilizador calcular uma determinada rota que execute a ligação entre vários pontos delineados. Estes pontos podem ser pontos de interesse, paragens ou outros locais selecionados. Os resultados obtidos relacionam a posição das viaturas proporcionando uma informação mais eficaz. Em suma esta aplicação mostra o horário em cada uma das paragens, bem como as estações que possibilitam o transbordo entre modos e os percursos a pé com a distância e tempo necessário para percorrer um determinado caminho (OPT, 2012).

Visto que este programa visava apenas os serviços da Metro do Porto e dos transportes rodoviários, recentemente foi executada uma parceria com a CP - Comboios de Portugal enriquecendo esta ferramenta com mais um meio de transporte, aumentando a capacidade de resposta e a sua vertente na mobilidade multimodal (OPT, 2012).

Para Londres, existe uma aplicação com objetivo semelhante designada por "Bus Checker", que mostra todas as paragens de autocarros. Esta ferramenta visa dar informação em tempo real das rotas e dos movimentos dos veículos na cidade londrina. Tem a capacidade

de informar sobre as 700 rotas existentes na cidade, bem como a posição do veículo, tempo e distância a uma determinada paragem (Bus Checker, 2012).

No Brasil, a aplicação "moovit", que abrange as cidades de São Paulo e do Rio de Janeiro, tem como objetivo fornecer ajuda no planeamento de rotas em tempo real, baseando-se nas informações fornecidas pelos utilizadores dos transportes públicos. Para além de fornecer informações como as aplicações referidas anteriormente, pode receber atualizações, em tempo real, por parte dos utilizadores que se encontram em movimento nos transportes: por exemplo, permite enviar relatórios de problemas existentes como congestionamentos, atrasos ou sobrelotação do veículo. A escolha da melhor rota é efetuada utilizando a multimodalidade da rede de transportes (autocarro, comboio, metro), apresentando a informação relativa à aproximação dos veículos às estações (Moovit, 2012).

### **3 METODOLOGIA PARA A MODELAÇÃO DE REDES DE CIRCULAÇÃO**

Este capítulo tem como finalidade apresentar uma metodologia para a modelação de percursos pedonais em ambiente urbano, recorrendo a ferramentas e operações sobre dados vectoriais e disponíveis em SIG. A metodologia foi definida com três etapas: 1) seleção da área a estudar e levantamento de dados, 2) implementação digital e diversas aplicabilidades, e 3) geração de uma rede multimodal. Discutem-se também todos os aspetos tidos em consideração, tais como os atributos ponderados, os critérios e as restrições adotadas, o processo de edição e as ferramentas utilizadas.

Assim, preconiza-se, sucintamente, os seguintes passos:

Primeira Etapa - Seleção da área a estudar e levantamento de dados:

- Identificação e seleção da cartografia disponível;
- Caracterização de atributos presentes na rede viária;
- Reconhecimento e edição da rede viária;
- Levantamento e importação de dados;

Segunda Etapa - Implementação digital e diversas aplicabilidades:

- Geração de polígonos de áreas de circulação;
- Junção de polígonos;
- Conversão de polígonos em linhas;
- Derivação da linha de circulação (central);

Terceira Etapa - Geração de uma rede multimodal:

- Inserção de fatores diferenciadores na rede pedonal;
- Geração e cálculo de percursos pedonais.

### 3.1 Seleção da área e levantamento de dados

Nesta primeira fase, é necessário averiguar a existência de ortofotomapas e cartografia para definir uma área de estudo mais restrita. Para à proceder a análise de uma área urbana, a resolução das fotografias aéreas deve ser adequada à visualização de todas as vias e colmatar falhas nas fotografias devido aos diferentes ângulos em que estas foram executadas. Para uma melhor perceção da área em estudo, podem ser utilizadas diversas aplicações informáticas e elementos cartográficos disponíveis na internet, como por exemplo a versão de experiência do *ArcGIS* da *ESRI*, o *GoogleMaps*, o *GoogleEarth* ou o *Microsoft BingMaps*.

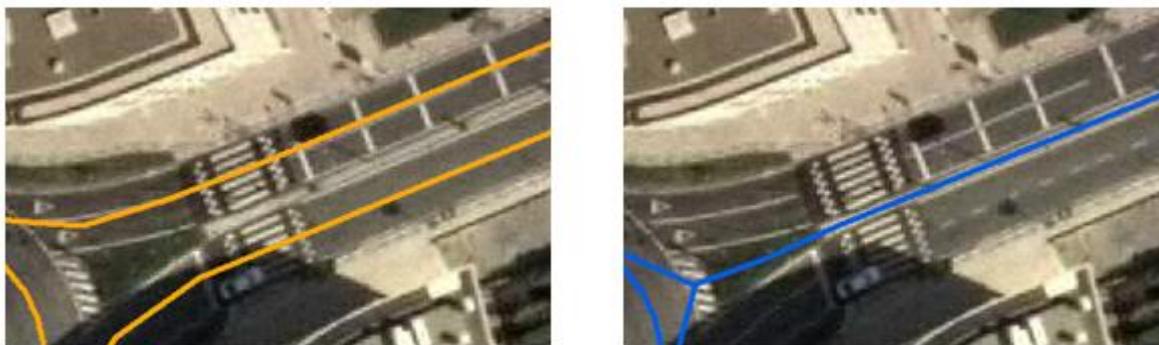
Através da figura 3.1 é possível observar a diferença de resolução entre a imagem disponibilizada pela *ESRI* e as imagens recolhidas nas plataformas da *Google*. Neste caso, constata-se que a fonte com melhor resolução é a *ESRI*, sendo por isso selecionada o que levaria a sua escolha para subsequente análise.



Figura 3.1 - Exemplo dos diferentes tipo de resolução de imagem apresentadas pelas diferentes plataformas utilizadas: a) *Google Earth*, b) *Google Maps* e c) *ArcGIS*.

Após a definição da área a estudar, é necessário proceder à coleta de dados. Nesta tarefa, os principais aspetos a observar são as áreas pedonais, os obstáculos à circulação e a rede de transportes existente que opera no espaço em análise.

Nos casos em que a cartografia disponível apenas contenha as linhas representativas dos eixos da rede viária, é necessário efetuar a edição desses dados em locais onde existam vias com particularidades que influenciam desenvolvimentos posteriores no projeto. Por exemplo, em casos de vias 2x2 (duas vias por cada sentido de trânsito) e 2x1 (duas vias num sentido trânsito e uma no sentido contrário) com separador central, é necessário obter uma representação em que o eixo central de cada via se localiza no seu centro e não no centro de cada faixa de rodagem (figura 3.2). Desta forma, a distância entre o eixo da via e as áreas pedonais contíguas será igual para os lados dois lados.



Antes da Edição

Após Edição

Figura 3.2 - Edição manual do eixo da rede viária em vias 2x2.

O levantamento de dados consiste em recolher as características da área pedonal, em função das tipologias dos diferentes arruamentos definidos, em particular os seguintes atributos:

- A largura da rede viária e a distância do seu eixo ao passeio contíguo;
- As dimensões dos passeios, dos jardins e praças existentes;
- Os locais de atravessamento.

As características acima mencionadas poderão ser recolhidas recorrendo a imagens aéreas disponibilizadas pelas plataformas *ArcGIS da ESRI*, *GoogleEarth* e *GoolZoom*. No entanto, para esta tarefa poderá ser necessário efetuar medições/levantamentos *in-loco*, dado que, para algumas áreas, as imagens utilizadas poderão revelar-se inadequadas devido à falta de resolução e incapacidade de visualização devido ao ângulo em que a fotografia foi feita.

Após a seleção de dados, há a possibilidade destes serem introduzidos numa folha de cálculo, contendo linhas e colunas com as características supramencionadas, posteriormente estas poderão ser importadas para um SIG através da união de tabelas.

### 3.2 Edição da Rede

A digitalização tem como objetivo representar todas as características de relevância inseridas no projeto, de forma a demonstrar os pontos fulcrais desenvolvidos. Como tal, a digitalização deve ser executada com recurso a linhas, desenhadas para demarcar os contornos das áreas pedonais, e polígonos, para destacar áreas pedonais de maior dimensão. Todavia, é

necessário analisar alguns locais digitalizados devido à existência de determinados erros, como a presença de obstáculos ou inexistência de áreas dedicadas a peões.

Esta digitalização executa-se com recurso a linhas e polígonos, sendo as linhas desenhadas para demarcar os contornos dos passeios e polígonos para destacar áreas de maior dimensão.

### 3.2.1 Rede Pedonal

Uma vez concluída a definição das diferentes tipologias da área pedonal, contendo a largura da via, a largura ajardinada caso exista e a largura do passeio, e efetuado o tratamento de todos os dados recolhidos, efetua-se a importação dos mesmos no SIG. Este processo executa-se através da introdução da folha de cálculo como ficheiro de entrada, especificando a base de dados onde se está a operar para que sejam importados todos os dados presentes na folha de cálculo para uma tabela no SIG. Deste modo, todos os dados recolhidos poderão ser usados na geração de polígonos através da função *buffer*.

Aplicando a função *buffer*, devem gerar-se diversos polígonos com as distâncias das diferentes áreas de circulação de peões adjacentes à rede viária (figura 3.3). Esta função deve efetuar-se separadamente mediante as características das vias, caso contrário será gerado um único polígono contendo todas as dimensões sem qualquer tipo de diferenciação.

De acordo com Karimi, e Kasemsuppakom, (2012), na utilização de *buffer* para calcular a geometria dos passeios é necessário ter em conta as características da rede viária. Deste modo, deve ter-se em consideração os atributos da rede viária, as larguras das faixas de rodagem e o sentido de movimento. Assim, a determinação desta geometria deve basear-se na identificação e somatório da distância do centro da via, largura de bermas e largura mínima de passeios.

Como tal, sugere-se a elaboração de um primeiro *buffer* (*buffer 1*) à rede viária, com a largura desta em relação ao seu eixo, sobre o ortofotomapa (figura 3.4). Seguidamente, um novo *buffer*, *buffer 2* (figura 3.5) deve ser elaborado contendo as dimensões dos locais de circulação pedonal junto à rede viária, para que sejam gerados os polígonos correspondentes às áreas caminháveis. Nesta operação estão contidas as larguras das áreas de circulação de peões e a largura das zonas ajardinadas junto dos mesmos. Para tal, a largura das zonas caminháveis é calculada em função da largura total, ou seja, ao somatório da largura da rede viária, das áreas ajardinadas e das áreas pedonais é subtraído o somatório da largura da rede

viária com a área ajardinada. Ou seja, a largura das zonas caminháveis é calculada em função da largura total (vias + jardim + passeio) e retirada a largura correspondente à largura interna (vias + jardins).

Posteriormente, executa-se um terceiro *buffer* (*buffer 3*) (figura 3.6), contendo apenas as vias exclusivas à circulação de peões, como é o caso dos locais de acesso condicionado ao tráfego automóvel, zonas residenciais e zonas comerciais, para produzir os polígonos com as dimensões previamente medidas. A figura 3.7 apresenta todos os *buffer* realizados para diferentes tipos de locais.

A função *buffer* não pode ser usada como ferramenta para digitalização de zonas que não contenham a rede viária, e que possuam uma vasta área de implantação, como é o caso das praças, largos e jardins. Pelo que, nestes casos, deve recorrer-se à digitalização manual através da utilização de uma função do *software* que permita criar polígonos e, assim, modelar os espaços em causa.

Uma vez que as áreas envolventes às praças contêm polígonos gerados com formas irregulares, provenientes do *buffer 2*, deve recorrer-se à edição manual para preencher todos espaços em falta, usando uma função que completa áreas a partir das existentes.

Alerta-se que os *buffer* são aplicados em redor da rede viária, levando à geração de áreas onde não é permitida a circulação de peões, como no caso de rotundas, de triângulos de divisão de faixas e de separadores centrais. Para solucionar este problema deve-se efetuar a eliminação manual destes polígonos gerados.



Legenda:

— Eixo da Rede Viária

Representação da rede viária sobre ortofotomapa.

Figura 3.3 - Representação da rede viária.



Legenda:

 *Buffer 1*

*Buffer* realizado na rede viária contendo a largura das faixas de rodagem.

*Figura 3.4 - Representação de Buffer 1.*



Legenda:

 *Buffer 2*

*Buffer* aplicado nas áreas de circulação pedonal e zonas ajardinadas limítrofes.

*Figura 3.5 - Representação de Buffer 2.*



Legenda:

 *Buffer 3*

*Buffer* aplicado nas áreas de circulação exclusiva de peões.

*Figura 3.6 - Representação de Buffer 3.*



Legenda:

 *Buffer 2*

 *Buffer 3*

Locais de circulação pedonal gerados através de *Buffer*.

*Figura 3.7 - Representação dos Buffer das áreas de circulação pedonal.*

Após a definição de todos os polígonos, deve proceder-se a sua união (*Union*), realizada através das várias sobreposições para obter um único polígono, que abrangerá toda a área dos polígonos gerados anteriormente (figura 3.8). De seguida, o polígono obtido deverá ser alvo de uma edição manual para retirar as áreas excedentes advindas da geração do *buffer*. Do mesmo modo, aconselha-se verificar se algumas zonas das áreas pedonais geradas não coincidem com a realidade e efetuar a sua edição manual. Porém, dado que nem todos os polígonos se intersectam, uma vez que representam áreas separadas, deve recorrer-se à função *Multipart to Singlepart*, para unir os vários polígonos existentes (figura 3.9).



Legenda:

 União

União dos polígonos gerados que compreendem as áreas pedonais.

Figura 3.8 - Representação da União.



Legenda:

 Junção das partes

Junção dos diversos polígonos gerados num único.

Figura 3.9 - Representação da junção das partes.

Uma vez realizada a união de todos os polígonos, executa-se a dissolução (*Dissolve*) de fronteiras, contornos advindos das várias etapas de digitalização, para obter um único polígono com todos os espaços caminháveis (figura 3.10) Seguidamente, procede-se à extração das linhas do polígono (*feature to line*) de forma a obter uma nova *layer* contendo apenas as fronteiras dos espaços pedonais (figura 3.11).



Legenda:

 Dissolução de Fronteiras

Dissolução das fronteiras existentes entre os diversos polígonos unificados.

*Figura 3.10 - Representação da dissolução de Fronteiras.*



Legenda:

 Conversão de Linhas

Conversão de polígonos em linhas que representem os contornos das áreas pedonais.

*Figura 3.11 - Representação da Conversão de Polígonos em Linhas.*

De seguida, procede-se à geração dos percursos pedonais através da obtenção da linha intermédia entre as fronteiras dos espaços pedonais (*collapse dual lines to centerline*) (figura 3.12). Por vezes, esta tarefa poderá obrigar a uma operação parcelada devido à dificuldade em aplicar a função de uma só vez a todos os dados digitalizados.



Legenda:

 Derivação para Linha Central

Derivação dos contornos das áreas pedonais para a sua linha central.

*Figura 3.12 - Representação da derivação da Linha Central.*

Nesses casos, quando as linhas geradas coincidem com os limites em vez de delinear o percurso entre fronteiras, devido à incapacidade do software em realizar a função em toda a área selecionada, como apresentado na figura 3.13, recomenda-se a operação por quarteirões e por pequenos conjuntos de áreas pedonais. Para contornar esta limitação, é necessário proceder à edição dos contornos de modo a criar pequenas discontinuidades nas arestas exteriores das fronteiras selecionadas. No entanto, estes pequenos cortes não podem ser

efetuados nos vértices, porque condicionarão a geração da linha central, sendo por isso executados nas arestas como é apresentado no exemplo da figura 3.14. Desta forma, ao utilizar o *collapse dual lines to centerline*, a linha gerada passa a encontrar-se numa posição intermédia em relação aos contornos, figura 3.15. Será então necessário editar as linhas geradas para reconectar as linhas onde anteriormente tinha sido introduzida uma descontinuidade.



Legenda:

— Fronteiras das áreas pedonais

— Erro na derivação para a linha central

Erro na derivação para a linha central, coincidindo com a linha de fronteira.

Figura 3.13 - Representação da dificuldade da derivação para a linha central.



Legenda:

— Fronteiras das áreas pedonais

Criação de descontinuidade numa aresta para derivação da linha central.

Figura 3.14 - Representação da descontinuidade na aresta exterior.



Legenda:

— Fronteiras das áreas pedonais

— Derivação para linha central

Derivação para linha central das fronteiras da áreas pedonais.

Figura 3.15 - Representação da solução aplicada para a derivação da linha central.

Por outro lado, esta operação requer a indicação de uma tolerância de largura. Quando existem cruzamentos onde as interseções entre vias são simples e a largura entre vias se mantém igual, esta função aplica-se automaticamente. Contudo, nos casos de interseções mais complexas, onde a largura das vias é superior à largura especificada, a linha central não será

gerada. Essas situações obrigam à sua edição manual, sendo exemplo as interseções de vias, os jardins e as praças, como é apresentado na figura 3.16.

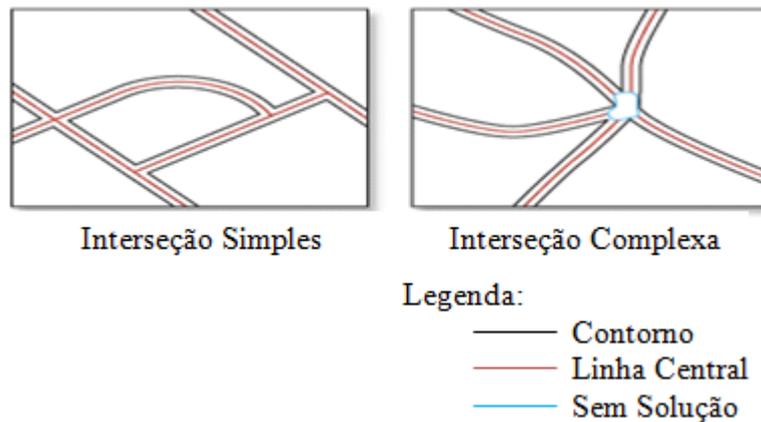


Figura 3.16 - Exemplo de aplicação do Collapse dual-line to center line

Fonte: ESRI, ArcGIS Resources - <http://resources.arcgis.com/>

As zonas de atravessamento para peões devem ser digitalizadas manualmente, após reconhecimento visual, utilizando como base imagens áreas que cubram a área em estudo. Apesar das imagens apresentarem uma resolução adequada para a identificação correta dos locais, recomenda-se uma verificação/levantamento *in loco*, procurando alterações/requalificações recentes, de forma a garantir que os dados gerados correspondam efetivamente à realidade.

Como alternativa, existe também a possibilidade de extração dos segmentos da rede pedonal por reconhecimento da imagem *raster*, isto é, efetuar uma seleção de pixéis homogénea de um local de atravessamento e replicar a operação através do reconhecimento desses pixéis em locais onde exista uma composição idêntica. No entanto, esta opção pode em muitos casos não ser viável, devido à existência de diferentes tipos de pavimentos, ao desgaste das pinturas das zonas de atravessamento e ao surgimento de sombras que levam ao aparecimento de um número muito elevado de padrões de reconhecimento distintos. A digitalização opera-se recorrendo à criação de novas características (*Create Features*) para a construção de linhas nos locais identificados visualmente, de forma a acrescentar conexões à rede pedonal anterior gerada, nas locais de atravessamento.

Com toda a malha da rede pedonal representada, realiza-se a fusão de todas as linhas, usando a função *merge*. Este passo possibilita combinar todos os dados caracterizados num único conjunto de linhas, não efetuando qualquer divisão ou alteração à geometria dos elementos selecionados.

De seguida, é necessário corrigir os erros de digitalização nas intersecções onde os segmentos surgem sobrepostos. Usando a função *clean*, todos os segmentos ficam definitivamente conectados ao mesmo nível, por eliminação das sobreposições e a introdução de nós nas intersecções.

Em suma, cada passo presente nas diferentes etapas do processo de digitalização, deve ser executado com base em três operações principais, como apresentado na figura 3.17: geração/construção, onde são aplicadas todas as funções acima referidas; validação, experimentação das funções aplicadas e interpretação dos resultados; edição/correção, operação em que é necessário recorrer à edição manual e a correções para que sejam obtidos os resultados pretendidos.

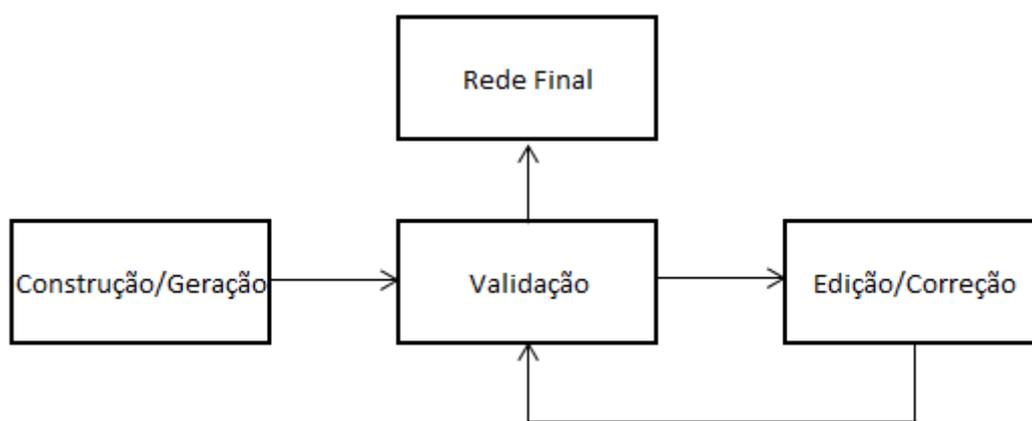


Figura 3.17 - Esquema de digitalização da rede pedonal.

### 3.2.2 Inserção de fatores diferenciadores na rede pedonal

A definição de uma malha pedonal completa, onde todas as áreas caminháveis estejam contidas, permite a inclusão de diferentes características que servirão de critério na geração de percursos. Por exemplo, a rede pedonal pode ser configurada para permitir encontrar percursos à sombra ou percursos de lazer com interesse comercial.

#### 3.2.2.1 Percurso à sombra

Os percursos de conforto ambiental urbano à sombra devem ser editados tendo em linha de conta as sombras existentes na imagem aérea disponível, não contemplando as sombras geradas pelos edifícios ao longo de um dia, mediante a rotação do sol. A geração destes percursos tem como principal objetivo a geração de um itinerário que poderá ser procurado pelos peões nas suas deslocações quando o sol incide com maior intensidade, na busca de um

ambiente mais confortável. Para inserir na rede essa característica, os segmentos que se encontrem à sombra devem ser selecionados, através de reconhecimento visual disponibilizado pelos ortofotomapas ou por seleção espacial por estarem contidos em áreas de sombra previamente geradas. De seguida, na tabela de atributos, acrescenta-se uma nova coluna de tipo numérico para distinguir a condição dos segmentos: atribuir o valor 0 (zero) quando um segmento não está situado à sombra e o valor 1 (um) quando usufruir de sombra.

Na figura 3.18, é apresentado um exemplo da seleção de trechos digitalizados por forma a mostrar a diferenciação da característica digitalizada.



*Figura 3.18 - Exemplo da digitalização de percursos à sombra.*

### **3.2.2.2 Percurso com interesse comercial**

A definição de percursos com interesse comercial tem como objetivo exemplificar a versatilidade da geração de percursos pedonais usando a análise de redes. Pretende-se neste caso configurar a rede para traçar percursos entre dois pontos que permitam passar por ruas com maior atividade comercial (primordialmente lojas).

No que concerne à digitalização, é necessário efetuar o levantamento de todas as vias com interesse comercial que estejam contidas na malha pedonal. Desta forma, procede-se à digitalização manual de todas as áreas selecionadas através da criação de uma nova *layer* do tipo polígono. Nesta situação não será necessário qualquer processo posterior de correção manual, uma vez que todos os polígonos são desenhados manualmente diretamente sobre a imagem aérea, de forma a retratar a realidade. No entanto, será necessário existir um

conhecimento prévio da cidade ou, caso contrário, deve ser efetuado um levantamento *in loco* da localização destes espaços.

Após a conclusão da digitalização de todos os polígonos realiza-se a dissolução (*Dissolve*) de todos os contornos presentes entre os diversos elementos gerados, para que se realize a junção num único elemento e facilite a visualização dos diversos locais de interesse comercial existentes. Posteriormente, efetua-se a transformação do polígono para as linhas envolventes (*Polygon to Line*) para que se tornem visíveis os limites das áreas comerciais e os percursos da rede pedonal inseridos neste contorno. Seguidamente, efetua-se a interseção (*Intersect*) entre o polígono e os trechos da malha pedonal que se inserem no contorno, ou seja, a que apenas estes sejam caracterizados como de interesse comercial.

Na figura 3.19, está representado um exemplo da geração dos percursos acima referidos, para facilitar a perceção das diferentes etapas anteriormente descritas.

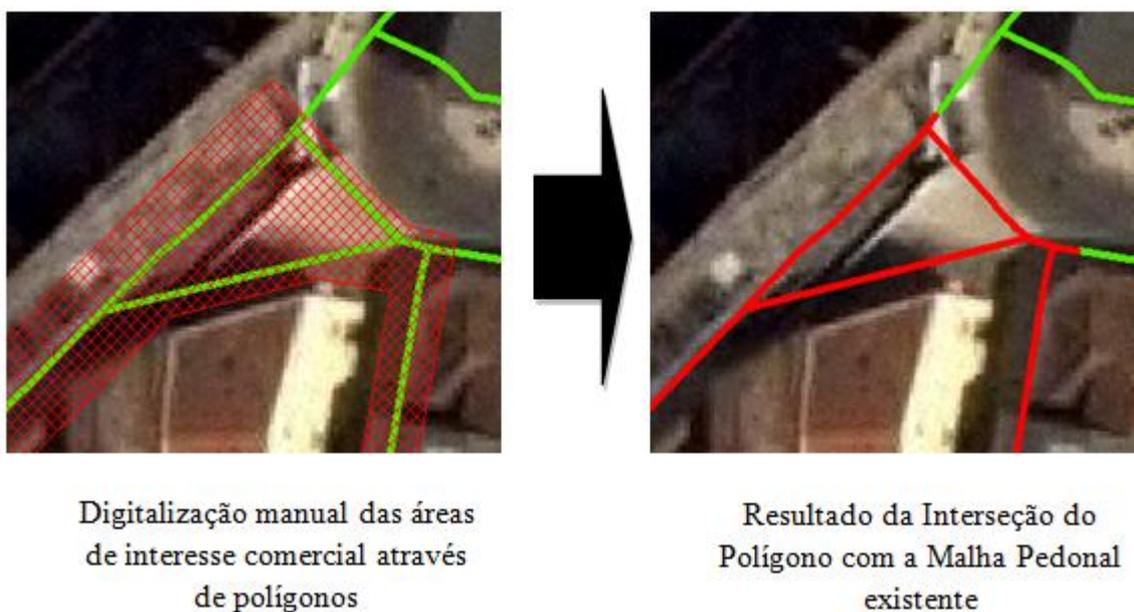


Figura 3.19 - Exemplo da digitalização dos percursos de interesse comercial.

### 3.2.3 Rede multimodal de transportes

Para definir redes de transportes é necessário efetuar uma digitalização manual dos trajetos realizados pelos veículos. Para tal, deve ser feito um levantamento de dados das linhas mais relevantes existentes de forma a integrá-las com a malha pedonal digitalizada.

Recorrendo a todas as rotas de transportes públicos inseridas na área em estudo, devem recolher-se dados referentes aos trajetos efetuados e aos pontos de entrada e saída de

passageiros, bem como, ao tempo de frequência de passagem e à sua velocidade de deslocação. Esses dados, caso não estejam disponíveis para consulta, devem ser recolhidos através da realização de viagens nas respetivas linhas,

Após a recolha de dados, a digitalização executa-se manualmente recorrendo a um novo conjunto de linhas representativas das rotas da rede de transportes. Gera-se uma nova *layer* do tipo linha, desenhando-se linhas para cada rota realizada pelos veículos. É importante que seja também distinguido o sentido de movimento do trânsito. Para tal é necessário acrescentar uma coluna na tabela de atributos e, através da função *oneway*, definir o sentido de cada trecho, utilizando a direção da digitalização como referência. Isto é, quando o trecho se desenvolve na direção em que foi digitalizado, utiliza-se a denominação - de, para - *From-To* (FT) e na direção oposta - para, de - *To-From* (TF).

Em todos os pontos de paragem, para entrada e saída de passageiros do veículo, traçam-se duas linhas com sentidos diferentes por forma a definir um segmento de entrada e outro de saída. Estes pequenos segmentos encontram-se conectados com a malha da rede pedonal, para viabilizar a ligação entre os diferentes modos de deslocação, como demonstra a figura 3.20.

De acordo com Vieira (2004), as velocidades de deslocação dos veículos de transporte variam principalmente devido ao volume de tráfego existente nos diversos períodos horários, podendo levar a diminuições ou aumentos de velocidade.

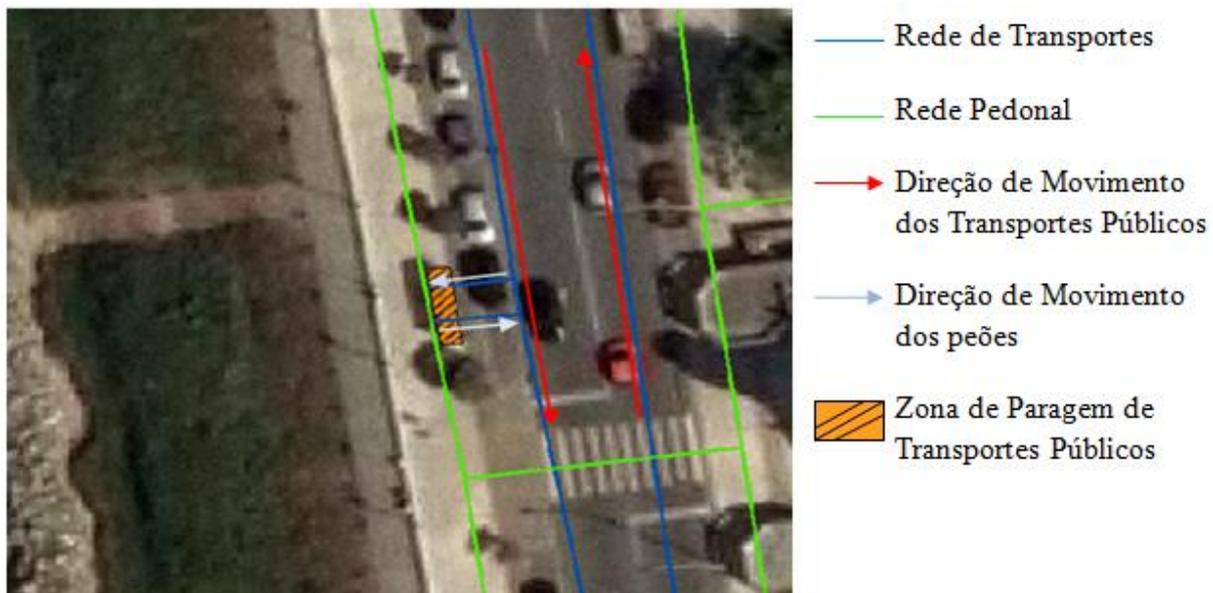


Figura 3.20 - Exemplo da definição da rede de transportes intersetada com a malha pedonal, e definição de direções de movimentos.

### **3.3 Geração e cálculo de percursos**

Após a conclusão do processo de criação da rede pedonal, ficam reunidas as condições para o cálculo de percursos que tenham em conta os diferentes fatores inseridos pela aplicação de impedâncias (fatores que agravam ou diminuem as distâncias/custos representando resistência ao movimento).

Na construção de uma rede de percursos na malha pedonal, revela-se pertinente organizar todos os dados relevantes numa única estrutura de dados, permitindo a consideração de todas as características levantadas. Nesse sentido, usa-se uma estrutura de dados própria para análise de redes (*Network Dataset*), que albergará todos os elementos (linhas) digitalizados anteriormente e que representam a rede em estudo.

Para que uma rede funcione é importante que todos os segmentos dos vários conjuntos de linhas contenham nós ou junções nas suas interseções, de modo a permitir o cálculo de um determinado caminho tendo em consideração as impedâncias atribuídas aos diversos segmentos. (ESRI, ArcGIS Resources, 2014)

### **3.4 Diagrama de Metodologia**

Na figura 3.21, é apresentado o diagrama que demonstra todas as etapas para a geração da rede pedonal num centro urbano.

A figura 3.22 esquematiza todos os procedimentos aplicados para a inserção de características na malha pedonal, sendo que para as diferentes características inseridas devem ser geradas de forma distinta.

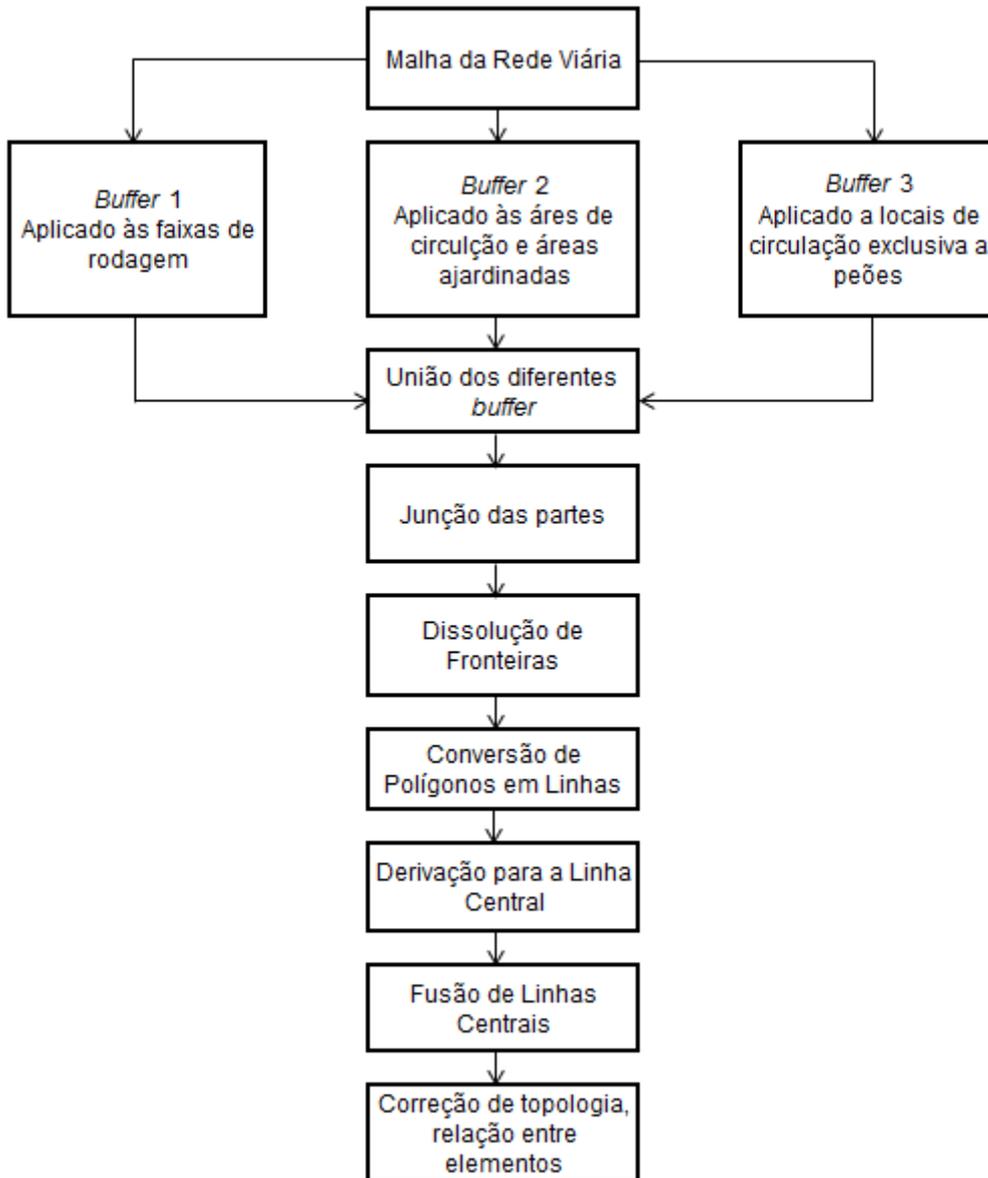


Figura 3.21 - Diagrama do modelo de geração da rede pedonal.

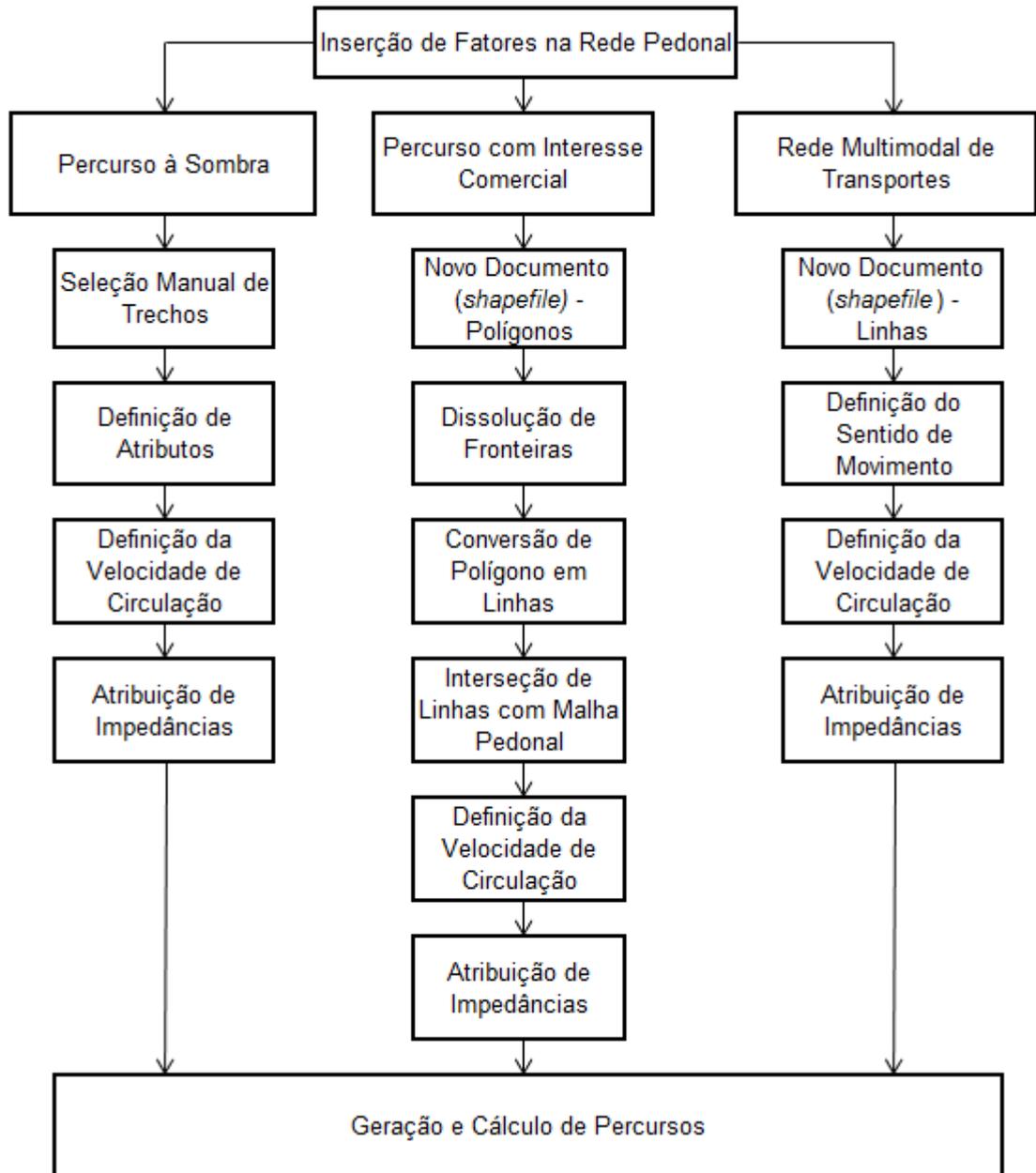


Figura 3.22 - Diagrama do modelo de inserção de fatores na rede pedonal.

Geração de uma rede pedonal em formato vectorial e definição de percursos pedonais em ambiente urbano: estudo de caso na Póvoa de Varzim

## **4 ESTUDO DE CASO - PÓVOA DE VARZIM**

Neste capítulo pretende-se apresentar a área de estudo, indicar os dados recolhidos e o como foi efetuada a implementação do processo semiautomático de modelação de percursos pedonais em ambiente SIG.

### **4.1 Introdução**

O Estudo de caso incidiu sobre a cidade da Póvoa de Varzim onde foi implementada e validada a metodologia desenvolvida. Esta cidade situa-se no distrito do Porto, apresentando uma população residente de 40 053 na cidade, num total de 63 408 habitantes em todo o município, segundo dados dos Censos 2011. A sua área urbana é de 3 495 km<sup>2</sup> e a extensão total de área do concelho é de 82 144 km<sup>2</sup> (Póvoa de Varzim - Plano de Urbanização, 2006).

A escolha da cidade da Póvoa de Varzim recaiu sobre o facto de se tratar de um município com elevada utilização das áreas pedonais existentes.

A seleção da área a estudar foi efetuada através de cartografia digital disponibilizada pelo Departamento de Obras Municipais da Câmara Municipal da Póvoa de Varzim. A disponibilização deste elemento possibilitou a definição de todas as áreas pedonais existentes na cidade, os locais de atravessamento e toda a rede viária (figura 4.1).

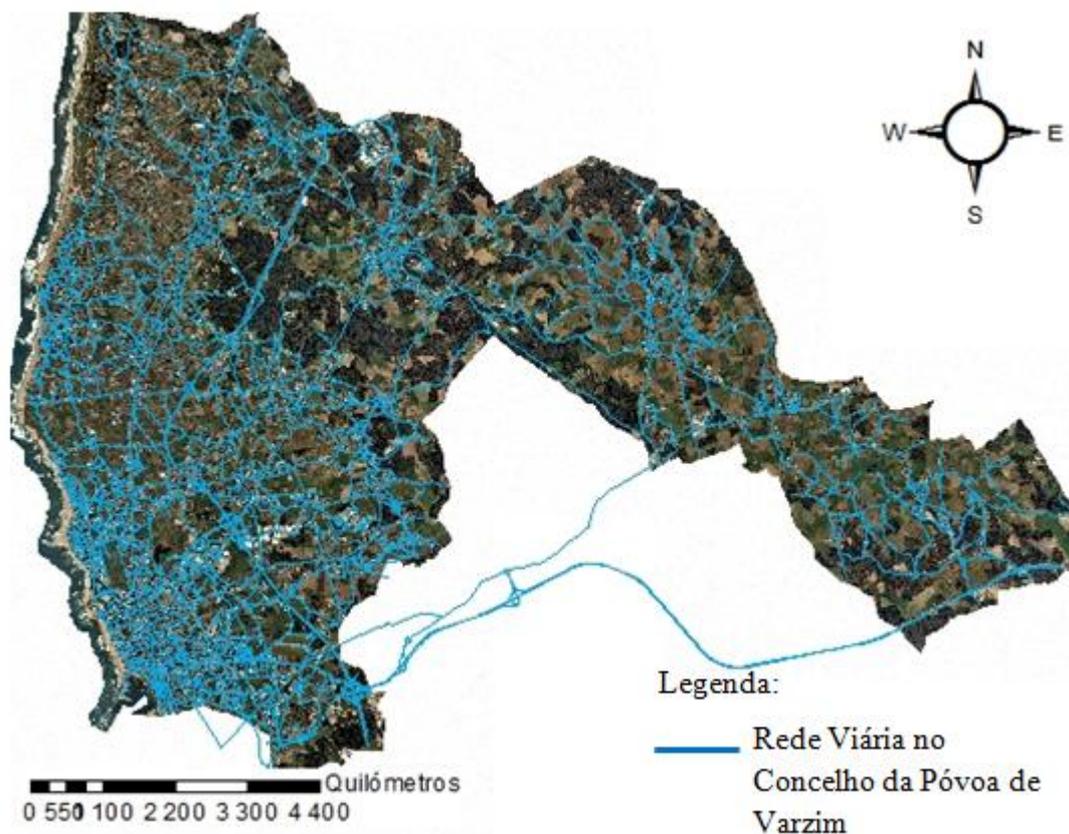


Figura 4.1 - Representação do Concelho da Póvoa de Varzim.

Fonte: Câmara Municipal da Póvoa de Varzim.

## 4.2 Levantamento de dados

A recolha de dados foi executada *in loco* e através do reconhecimento das áreas pedonais, utilizando ortofotomapas e mapas digitalizados. O principal foco desta tarefa consistiu em analisar a localização, geometria e dimensões das áreas pedonais, mais concretamente passeios, locais de atravessamento, praças e zonas ajardinadas.

Tendo como base a rede viária disponível no ortofotomapa, restringiu-se a área de estudo e de levantamento de dados, de forma empírica, ao centro urbano da Póvoa de Varzim, visto ser nesta área onde há maior concentração das deslocações pedonais no município. Este limite estende-se da zona Norte, na freguesia de Aver-o-Mar, até à fronteira com o concelho de Vila do Conde, a Sul. Por sua vez, a delimitação a Este foi preconizada pelos arruamentos mais utilizados pelos peões em movimento na cidade, selecionados por observação, (figura 4.2) e a Oeste pela fronteira natural, o Oceano Atlântico.



*Figura 4.2 - Representação da área em Estudo.*

*Fonte: Câmara Municipal da Póvoa de Varzim.*

Definida a área de estudo, foram efetuadas as medições das larguras dos caminhos pedonais, dos locais ajardinados e da rede viária e a localização de obstáculos à mobilidade pedonal. De modo a organizar toda a informação recolhida foi criada uma tabela onde foram inseridos os respetivos valores, diferenciados em diferentes tipologias de arruamentos, apresentados a título de exemplo, no quadro 4.1, encontrando-se os restantes dados no Anexo I.

Quadro 4.1 - Extrato da tabela de dados recolhidos.

TIPO	DESCRIÇÃO	LARGURA VIA (m)	LARGURA JARDIM (m)	LARGURA INTERNA (m)	LARGURA PASSEIO (m)
1	1x1 Via + Jardim (2) Lateral + Passeio	3,5	2,5	6	3,5
2	Exclusivo a Moradores (1)	0	0	0	2,1
3	1x1 Via + Passeio	2,5	0	2,5	2

### 4.3 Aplicação do modelo em ambiente SIG

Para executar a metodologia apresentada no capítulo anterior foi utilizado o *software ArcMap 10.2* da *ESRI*. Assim, foi fundamental elaborar a digitalização da zona em estudo, ou seja, efetuar a representação de todas áreas relevantes para a geração de percursos pedonais e introdução das respetivas características.

Na digitalização dos diversos elementos foi aplicado o modelo vectorial que é desenvolvido por representações geométricas básicas: pontos, linhas e polígonos (figura 4.3).

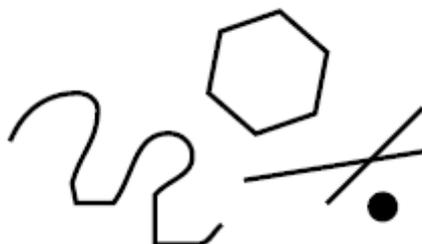


Figura 4.3 - Representação geométrica.  
Fonte: Rocha, 2005

Para a identificação dos espaços pedonais foram utilizados polígonos com o intuito de digitalizar os diversos locais caminháveis, como passeios e praças. Esses polígonos foram obtidos pela geração de vários *buffer*, delimitando desta forma as áreas pedonais adjacentes à rede viária e os espaços exclusivamente reservados à deslocação pedonal, onde a rede viária é inexistente.

Por outro lado, foi criada uma nova *layer* para digitalização manual de áreas mais vastas, como é o caso de praças e largos, que de outra forma não seriam contemplados através da geração de *buffers*. Salienta-se também que neste processo foram tidos em consideração todos os obstáculos à circulação pedonal.

Posteriormente, com todos os polígonos gerados e interligados de forma a obter um polígono que represente todas as áreas pedonais, procedeu-se a sua transformação em linhas. Essa operação consistiu em gerar linhas no centro geométrico de cada parte do polígono, procurando obter assim todos os possíveis percursos pedonais existentes na área em estudo.

No entanto, neste processo também foram realizadas correções manuais para melhor a representação obtida. Essa ação foi necessária nos locais de atravessamento (ligando os dois lados da via), em zonas onde a rede viária intersesta a rede pedonal e nas praças e largos para demonstrar os caminhos utilizados pelos peões (figura 4.4).

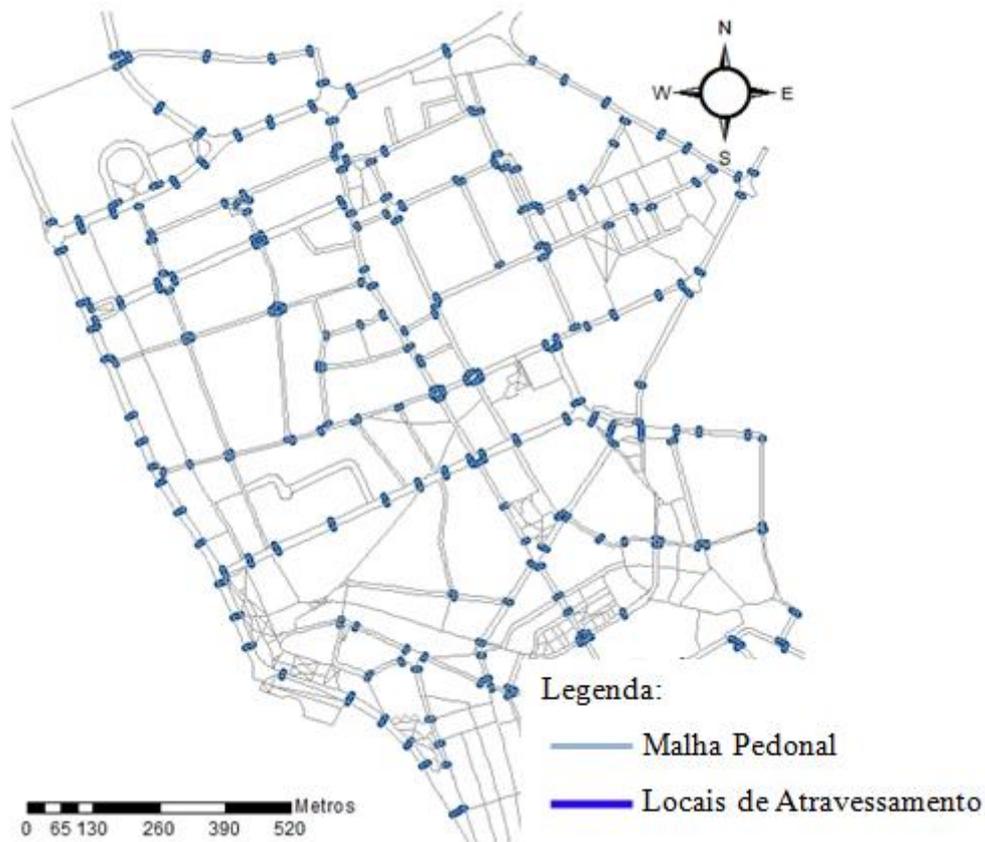


Figura 4.4 - Representação de todos os locais de atravessamento.

#### 4.4 Inserção de fatores diferenciadores de percursos na rede pedonal

Concluída a fase de digitalização e a representação dos percursos pedonais disponíveis na área selecionada, inseriram-se na rede pedonal algumas características, de forma a introduzir especificidades na geração de percursos.

Assim, foram adicionadas três fatores pensados de acordo com os principais movimentos efetuados pelos peões aquando da sua deslocação a pé: a existência de sombra (relacionado com o conforto ambiental urbano em épocas quentes); a presença de atividade comercial (relacionado com o lazer); e a inserção de outro modo de transporte (a rede de transportes públicos), conferindo uma vertente multimodal.

#### 4.4.1 A existência de sombra

Em primeiro lugar, uma observação à imagem aérea da área em estudo permitiu perceber a possibilidade de geração de percursos preferencialmente à sombra, isto é, um percurso que possa ser mais procurado pelos transeuntes no seu quotidiano, principalmente quando se fazem sentir temperaturas mais elevadas.

Pela extensão da sombra e o desenvolvimento da vegetação, assumiu-se que a fotografia aérea foi captada na primavera. Identificaram-se todos os trechos que tivessem a maioria da sua extensão coberta por sombra, obtendo-se uma lista de segmentos da rede a diferenciar positivamente em relação ao fator em estudo.

O fator de impedância tem como objetivo criar um fator de custo, ou resistência, que condicione o movimento de um determinado elemento numa rede. Esta resistência pode ser uma medição da distância de percurso, tempo percorrido num dado percurso ou a velocidade de deslocação multiplicada pela distância. Os valores de impedância mais elevados demonstram maior resistência ao movimento e um valor de 0 (zero) aponta uma resistência inexistente. Portanto, um caminho ideal numa rede será o caminho com menor valor de impedância. (*GIS Dictionary*, 2013)

Aos segmentos selecionados pela análise do ortofotomapa atribuiu-se, numa coluna criada para o efeito na tabela de atributos, o valor de 1 (um) - verdadeiro, quando existe sombra, e aos restantes o valor 0 (zero) - falso, quando expostos ao sol, distinguindo assim as condições de sombra para posterior aplicação do fator de impedância.

O fator de impedância foi então aplicado de forma a atribuir aos segmentos da rede pedonal localizados à sombra uma menor resistência à deslocação a pé no centro da cidade. Assim, optou-se por aplicar aos segmentos sem sombra um fator multiplicador com valor igual a 5 (cinco), multiplicado pelos respetivos comprimentos. Por outro lado, nos trechos selecionados à sombra, o fator multiplicador foi igualado ao valor 1 (um), de forma a não incluir qualquer resistência adicional à deslocação.

Na figura 4.5, é apresentada a malha do centro urbano com a seleção dos segmentos situados à sombra e segmentos localizados ao sol.



*Figura 4.5 - Representação dos percursos de conforto urbano à sombra do estudo de caso.*

#### **4.4.2 Interesse comercial**

Os percursos pedonais de lazer com interesse comercial foram tidos em consideração pelo facto de corresponderem a um dos principais motivos de deslocação a pé em centros urbanos.

Desta forma, pretende-se que o modelo de escolha dos caminhos tenha em consideração a atratividade presente num determinado percurso. Para determinar as zonas com interesse comercial, foi efetuado o levantamento da localização dos estabelecimentos comerciais na área em estudo.

Uma rede pedonal que conjuga espaços públicos, áreas comerciais e destinos no centro urbano deve conter percursos pedonais atraentes, que ofereçam locais de interesse para visitar,

tonando os espaços convidativos à deslocação a pé aos habitantes e visitantes. Estes percursos inseridos em áreas comerciais contemplam oferta variada e a possibilidade de caminhos diretos entre diferentes espaços, garantido a prioridade de movimentos aos peões (Varat, 2010).

As ruas com características de interesse comercial na cidade da Póvoa de Varzim, apresentam boas condições para caminhar (*walkability*), nomeadamente a existência de pavimentos em bom estado e de espaços atrativos para se andar a pé, criando condições para que o modo de deslocação mais utilizado seja o pedonal.

Os locais onde se inserem as áreas comerciais na área em estudo localizam-se em 5 (cinco) principais arruamentos da cidade (figura 4.6) nomeadamente: a Avenida dos Banhos [1]; Avenida Mouzinho de Albuquerque [2]; Rua da Junqueira [3]; Praça Marquês de Pombal [4] e Rua 31 de Janeiro [5]. Destes arruamentos, dois são exclusivamente pedonais. Porém, verificou-se a existência de bons acessos, no que concerne à largura de passeios e à localização dos locais de atravessamento pedonal, entre as diferentes áreas comerciais.



Figura 4.6 - Representação dos locais de lazer com interesse comercial.

Para ilustrar o conjunto de especificidades anteriormente referidas, é possível observar na figura 4.7 a Rua da Junqueira [3] que é um dos arruamentos mais movimentados e principalmente dedicada ao comércio tradicional. É de salientar que este local contempla uma vasto leque de lojistas, oferece animação variada e é um dos eixos da cidade mais percorridos por peões, uma vez que efetua a ligação entre a orla marítima e o centro da cidade.



*Figura 4.7 - Rua da Junqueira, principal artéria de comércio tradicional.*

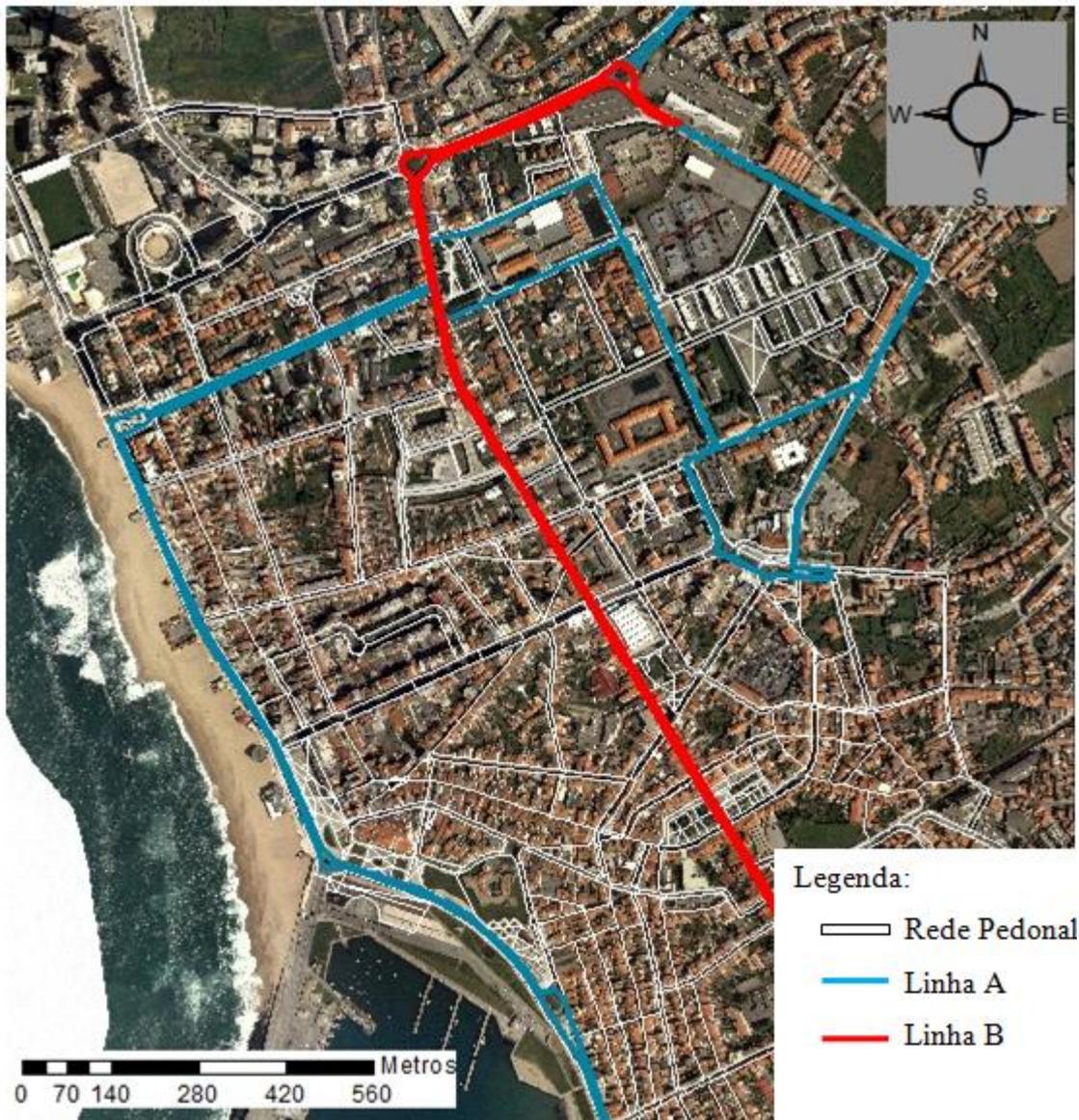
Nestes percursos de lazer, com interesse comercial, a impedância imposta foi criada de forma a tornar estes locais de atratividade mais vantajosos à deslocação pedonal. Isto é, foi aplicado um fator multiplicador, com o valor 2 (dois), ao tempo de percurso (em minutos) na malha pedonal envolvente, fora das áreas comerciais, de forma a tornar estes percursos com um custo superior, tornando-os mais desvantajosos. Sendo que, o fator multiplicador aplicado aos trajetos de lazer foi igual a 1 (um), não havendo qualquer acréscimo no tempo despendido, tornando-os mais vantajosos.

#### **4.4.3 Percursos combinados com a rede de transportes públicos**

De forma a estudar a possibilidade de uma utilização multimodal na rede, integrou-se a malha pedonal gerada na cidade da Póvoa de Varzim com a rede de transportes públicos, incluindo a interligação entre os dois modos no centro urbano da cidade.

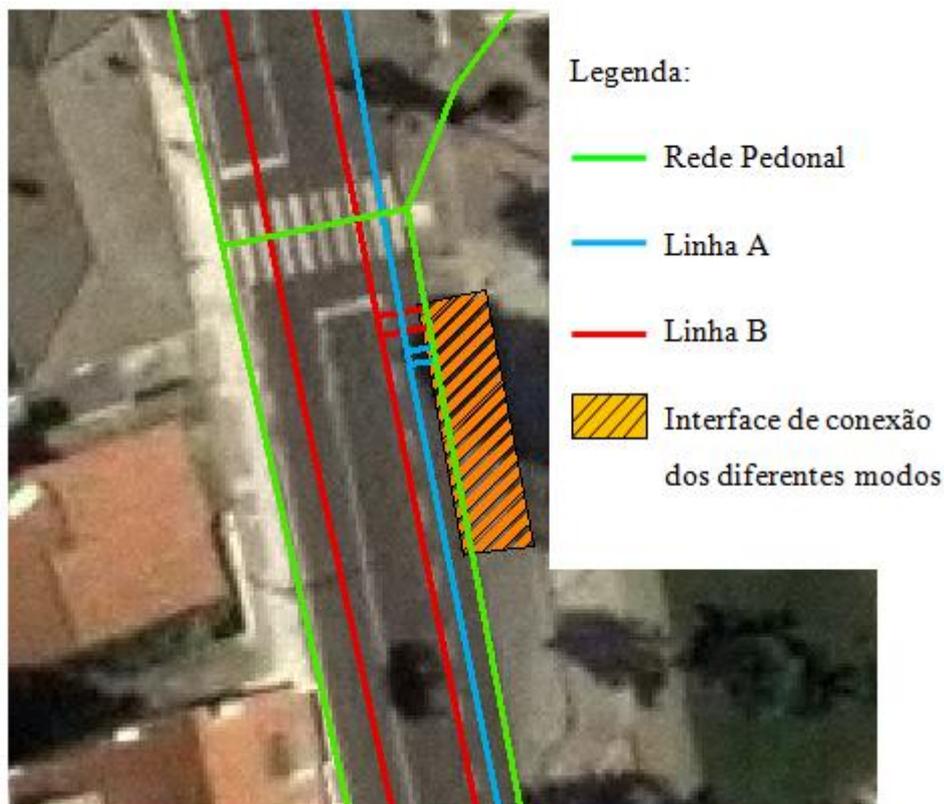
O estudo recaiu em duas linhas (A e B) de transporte público rodoviário que realiza serviços de transporte de passageiros no centro da cidade, apresentando a extensão de ambas as linhas no interior da área de estudo, pertencentes à empresa Litoral Norte - Transportes Rodoviários de Passageiros, Lda. Uma vez que esta empresa de transporte de passageiros não dispõe de qualquer tipo de documentação digital referentes às rotas operadas e percursos realizados, foram realizadas viagens nos respetivos veículos para conhecer os percursos

efetuados por estes, bem como todos os pontos de paragem para entrada e saída de passageiros (figura 4.8).



*Figura 4.8 - Representação das linhas de transporte público que efetuam ligações no centro urbano.*

A escolha desta empresa e respetiva linha de transportes deveu-se ao facto de esta apresentar uma frequência de passagem de 30 (trinta) minutos, e de realizar a ligação entre os vários serviços presentes no centro (Linha A), bem como a conexão Norte - Sul (ou vice-versa) da cidade (Linha B). Além disso, é importante mencionar que existe um ponto de conexão da rede que efetua o interface entre ambas as linhas e o modo pedonal, permitindo a realização de transbordo dos passageiros entre os diferentes veículos que efetuam os percursos, nomeadamente a ligação à rede pedonal definida (figura 4.9).



*Figura 4.9 - Representação do local de interface dos diferentes modos.*

Tal como descrito nas características anteriores, percursos de conforto ambiental urbano à sombra e percursos atrativos de interesse comercial, também neste caso foram inseridos alguns fatores de fricção ou impedância ao movimento.

Em primeiro lugar, foram definidos os sentidos de percurso na rede rodoviária de forma a manter os sentidos de trânsito existentes, como descrito no subtópico 3.2.3. Assim, garante-se que um percurso não seja inverso ao efetuado na realidade. Da mesma forma, também foram aplicados os mesmos princípios aos segmentos correspondentes à entrada e saída de passageiros dos veículos localizados nos pontos de paragem, levando a que a saída de passageiros fosse efetuada independentemente do local de entrada.

A separação do local de entrada e saída de passageiros, deve-se ao facto de ser aplicado um outro fator de impedância neste movimento, isto é, no caso do movimento de entrada nos veículos foram adicionados quatro tempos de espera, para ter em conta que raramente os veículos se encontram nos locais de paragem aquando da necessidade de utilização do transporte público. Por esta razão, efetuou-se o acréscimo de tempo de espera mínimo - 1 (um) minuto, tempo de espera reduzido - 5 (cinco) minutos, tempo de espera médio - 15 (quinze) minutos e tempo de espera máximo - 29 (vinte e nove) minutos.

## 4.5 Geração de Percursos

Aplicando a metodologia presente no capítulo 3, serão apresentados os resultados obtidos na geração de percursos em função das características inseridas na rede pedonal obtida. A geração de percursos visa demonstrar a aplicabilidade do modelo, relacionando-o com os fatores de impedância aplicados.

### 4.5.1 Geração de percursos com existência de sombra

Na geração de percursos de conforto ambiental urbano no centro da cidade da Póvoa de Varzim, pretendeu-se criar percursos que fossem mais cómodos para os peões em épocas quentes. Através da implementação de fatores de agravamento nos segmentos da malha que não se situam à sombra, foi possível delinear percursos passando preferencialmente por trechos à sombra, tirando partido da função de procura do caminho mínimo.

É apresentado na figura 4.10 um exemplo de percursos gerados onde se pretende demonstrar a comparação da geração de percursos à sombra com um percurso gerado sem qualquer tipo de restrição (percurso mais rápido), usando os mesmos pontos de partida (ponto 1) e de chegada (ponto 2).

Uma vez que, de acordo com Seco (2008), a velocidade de circulação de peões que se deslocam livremente pode variar desde um mínimo de 45 m/min (0,75 m/s), até um valor máximo de aproximadamente 150 m/min (2,50 m/s), considerando 72 m/min (1,2 m/s) como a velocidade média. No entanto, como o centro urbano onde a rede pedonal está inserida não apresenta declives de elevada relevância, a velocidade de circulação de peões arbitrada na geração de percursos foi de 80 m/min (1,34 m/s).

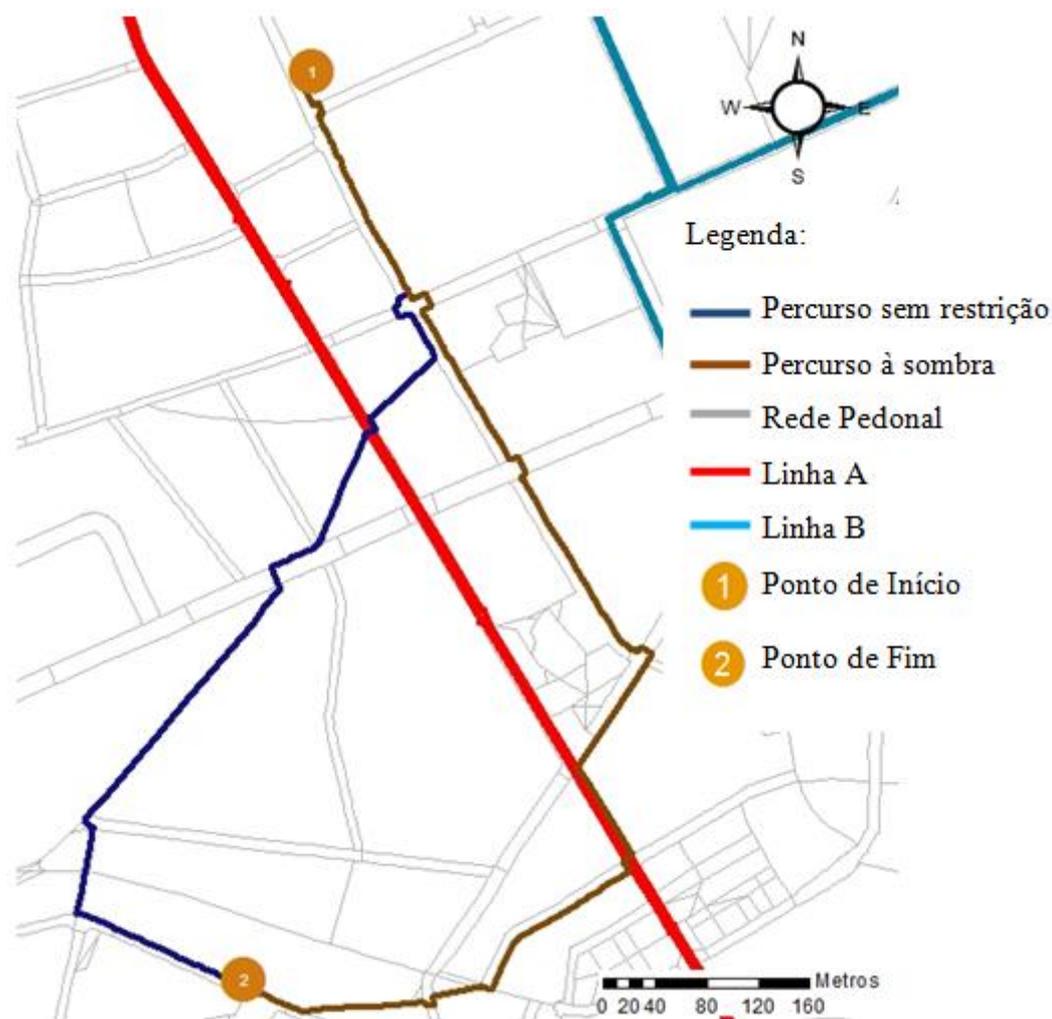


Figura 4.10 - Comparação entre o percurso à sombra e percurso mais curto.

Como pode ser observado na figura 4.10, o percurso azul foi gerado de forma mais direta, isto é, foi criado de modo a ser realizado com a distância mínima a percorrer. Por outro lado, podemos constatar que o percurso castanho apresenta uma distância maior a percorrer, tal como um tempo de percurso maior, apresentando a vantagem de ser realizado de forma mais confortável, quando a radiação solar se faz sentir de forma mais intensa (quadro 4.2).

Na figura 4.11 está representado em pormenor a alteração da rota mediante o fator de existência de sombra. Na figura 4.12 é apresentado o mesmo detalhe no ponto de chegada para os dois percursos calculados.



Figura 4.11 - Pormenor da separação dos dois percursos mediante o fator de existência de sombra.



Figura 4.12 - Pormenor do ponto de chegada, dos dois percursos.

Quadro 4.2 - Características dos percursos gerados: Distância, Tempo de Percorso.

Percorso	Linha	Pontos	Velocidade (m/min)	Distância (metros)	Tempo de Percorso (minutos)
Mais Curto		Ponto 1 - Ponto 2	80	972,502	12,15
Mais Confortável		Ponto 1 - Ponto 2	80	1204,207	15,34

#### 4.5.2 Geração de percursos com interesse comercial

Na geração de percursos que contenham uma componente de interesse comercial no centro urbano, foram analisadas áreas onde se inserem os locais de comércio tradicional da cidade poveira, uma vez que alguns destes espaços se localizam em arruamentos de uso exclusivo a peões.

Os locais de uso exclusivo a peões auferem de uma largura entre fachadas que proporciona uma grande circulação de tráfego pedonal, tornando-os em locais atrativos e apelativos para a deslocação a pé. Como refere Fontes *"O aumento da largura efetiva de circulação para o modo pedonal teve como principal objetivo melhorar as condições de circulação de zonas de maior tráfego pedonal, para além de possibilitar o estabelecimento de um contacto mais uniforme e efetiva com as fachadas dos edifícios destinados ao comércio e serviços, traduzindo-se num aumento da atratividade e vitalidade de toda a área."* (Fontes et al., 2012)

Os locais de interesse comercial apresentam uma elevada afluência de peões o que condiciona a circulação pedonal, fazendo com que existam restrições ao movimento e conseqüente redução da velocidade de circulação devido à redução de espaço livre.

De acordo com o HCM 2000, foram considerados estes espaços comerciais com Nível de Serviço D, dado que todos os peões apresentam a sua liberdade de movimentação condicionada devido à necessidade de efetuarem mudanças de direção e, naturalmente, alterações de velocidade. Assim, a velocidade considerada na geração destes percursos foi de 60 m/min (1 m/s) , na medida em que estes espaços têm um elevado fluxo de peões, constatado por observação *in loco*, que normalmente, realizam o seu trajeto com o intuito de lazer, diversão e interação socioeconómica.

A figura 4.13 demonstra a comparação entre dois percursos calculados com diferentes características. A rota traçada a verde representa o percurso calculado tendo em consideração o interesse de percorrer arruamentos com interesse comercial. O percurso a azul representa o caminho mais rápido, tendo como único objetivo a circulação por aquele que apresente menor tempo de percurso para realizar uma viagem entre o ponto 1 (um), início do percurso, e o ponto 2 (dois), término do percurso.



Legenda:

- Malha Pedonal de interesse Comercial
- Percurso de Interesse Comercial
- Percurso sem Restrição
- Rede Pedonal
- 1 Ponto de Início
- 2 Ponto de Fim

Figura 4.13 - Comparação de percursos na geração de percursos de interesse comercial.

O quadro 4.3 mostra as diferenças entre os dois percursos ao nível de distância percorrida e tempo de percurso. Através da sua análise é possível constatar que o percurso a azul oferece maior rapidez em efetuar o trajeto e menor tempo despendido na viagem. Por outro lado, o percurso a verde apresenta maior distância e maior tempo de percurso. No entanto, este trajeto pode ser mais convidativo de ser percorrido quando se pretende “ir às compras”, dado que o ponto 1 (um) e o ponto 2 (dois) se situam entre dois dos principais pontos de interesse do município, junto à praia e centro da cidade, respetivamente.

Quadro 4.3 - Características dos percursos gerados: Distância, Tempo de Percurso.

Percurso	Linha	Pontos	Velocidade (m/min)	Distância (metros)	Tempo de Percurso (minutos)
Mais Curto		Ponto 1 - Ponto 2	60	777,35	12,15
Lazer		Ponto 1 - Ponto 2	60	801,82	13,31

### **4.5.3 Geração de percursos multimodais com a rede de transportes públicos**

A geração de percursos que conjuguem o modo suave andar a pé e a deslocação em transporte público rodoviário é um ponto de particular importância na deslocação dos peões nas cidades. Esta faceta foi tida em linha de conta na demonstração da capacidade de realizar deslocações em regime multimodal, sabendo-se também que todas as deslocações, que envolvem o uso de transportes rodoviários, têm início e fim em modo pedonal.

A intermodalidade reúne a utilização mínima de dois modos de transporte distintos entre o ponto de origem e o de destino, incluindo a necessidade de efetuar transbordo. O transbordo consiste na transferência do passageiro entre os meios de transporte, ação que normalmente é executada numa interface, materializada por uma simples paragem, abrigo ou terminal. As interfaces desenvolvem um serviço fulcral no funcionamento de redes de transportes multimodais proporcionando acessibilidade a todos os utilizadores, transbordos rápidos e diretos, evitando perdas de tempo apresentando condições de segurança e conforto (IMTT, 2011).

Na realização deste estudo foram analisadas duas linhas de transporte público que efetuam ligações no interior do centro urbano da cidade. Ambos os percursos efetuam ligações entre os principais pontos de interesse para os cidadãos, nomeadamente: escolas, serviços municipais, áreas comerciais e serviços de saúde.

Esta rede de transportes conjuga a capacidade de um serviço rápido, com frequências de passagem de 30 (trinta) minutos, e locais de interface entre o modo pedonal e o modo rodoviário, em paragens com condições de segurança, nos pontos de entrada e saída de passageiros, nomeadamente: intervisibilidade entre motorista e os passageiros nas paragens; disponibilidade de largura de passeio adequada ao movimento de peões; afastamento dos locais com ocupação provável de veículos estacionados e proximidade às travessias pedonais sem que as viaturas possam obstruir a visão no atravessamento. (Costa, 2008)

Na geração de percursos multimodais foram tidos em conta quatro diferentes tempos de espera, com o intuito de efetuar a simulação dos movimentos reais dos peões e dos respetivos veículos de transporte coletivo, visto que os transportes públicos apresentam um horário fixo e não se encontram nos pontos de entrada de passageiros sempre que solicitados pelos peões.

Nesse sentido, definiram-se vários tempos de espera: 1 (um) minuto, que corresponde à chegada dos peões a uma determinada paragem e entrada imediata no transporte público; 5 (cinco) minutos, um tempo de espera reduzido ao qual os peões aguardam pelos veículos de transporte público; 15 (quinze) minutos, um tempo intermédio no intervalo entre frequências

de passagem dos veículos; e por fim, um tempo máximo de espera de 29 (vinte e nove) minutos, referente aos casos em que o utente chegou ao ponto de paragem, mas o veículo já acabou de iniciar o seu percurso, sendo obrigado a aguardar pela próxima frequência.

A velocidade de circulação dos veículos de transporte público atribuída foi de 24km/h ou 400m/min, valor derivado dos horários estipulados pela empresa para ambas as rotas apresentadas.

No percurso multimodal gerado, em que o tempo de espera é de 1 (um) minuto (figura 4.14) constatou-se que após efetuar o seu percurso pedonal, desde o ponto de início de trajeto (ponto1), o peão é encaminhado para a paragem mais próxima. Seguidamente, o percurso é continuado num transporte público até à paragem mais próxima do seu destino final, sendo que, após abandonar o veículo o percurso é novamente iniciado, em modo, pedonal até ao final do trajeto (ponto 2). Na figura 4.14, está também delineado um percurso unicamente em modo pedonal, entre o mesmo ponto de início e de fim do percurso anterior, tornando possível a comparação entre os diferentes tempos de percurso, modos e percursos efetuados.

A figura 4.15, do lado esquerdo, demonstra em pormenor o percurso do peão, desde o ponto de início do trajeto em modo pedonal até à entrada no transporte público. Por sua vez, do lado direito, é apresentado o pormenor da saída do veículo até ao ponto de término do percurso novamente efetuado a pé.

Geração de uma rede pedonal em formato vectorial e definição de percursos pedonais em ambiente urbano: estudo de caso na Póvoa de Varzim

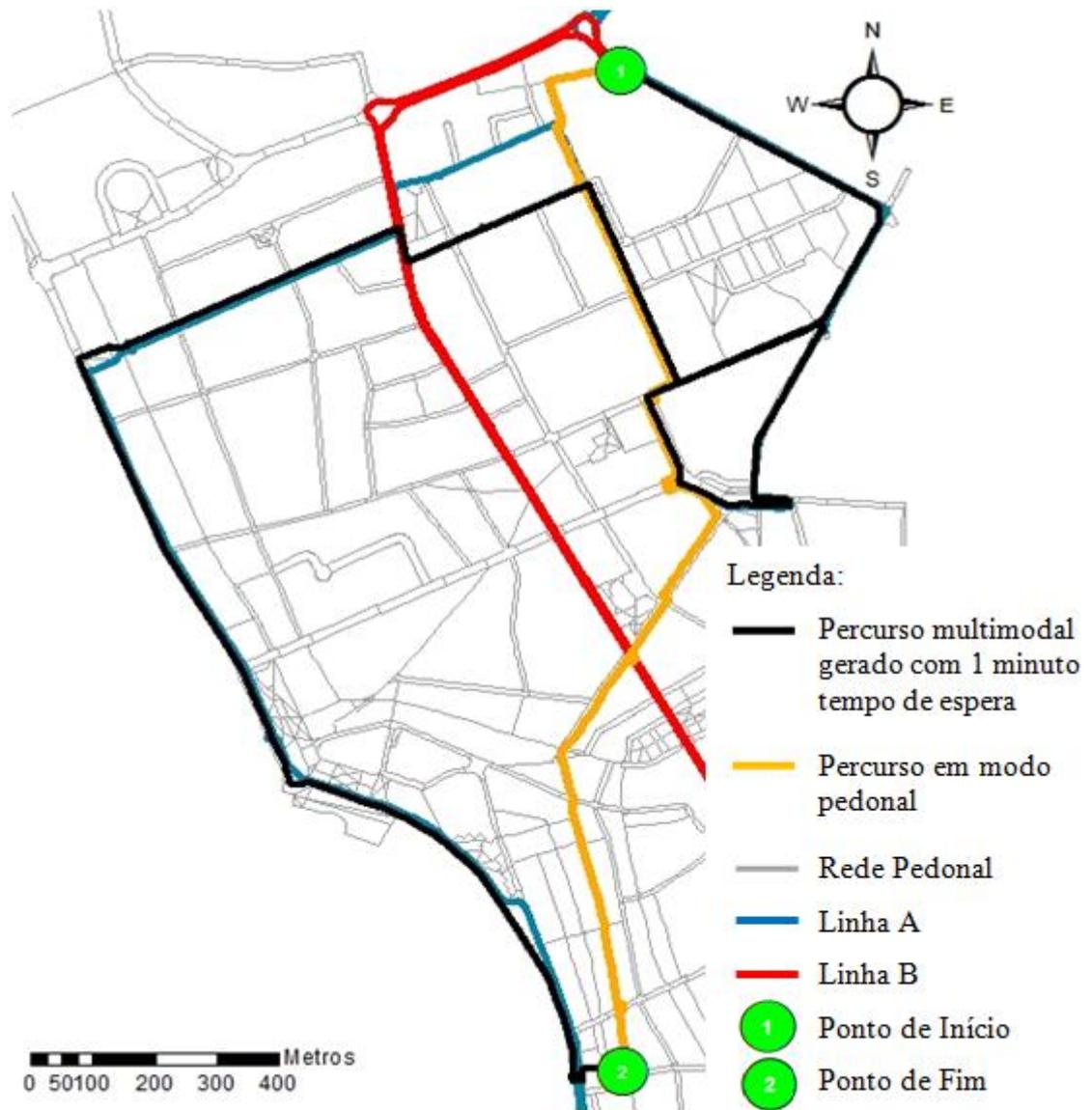


Figura 4.14 - Representação do percurso gerado com tempo de espera de 1 minuto.

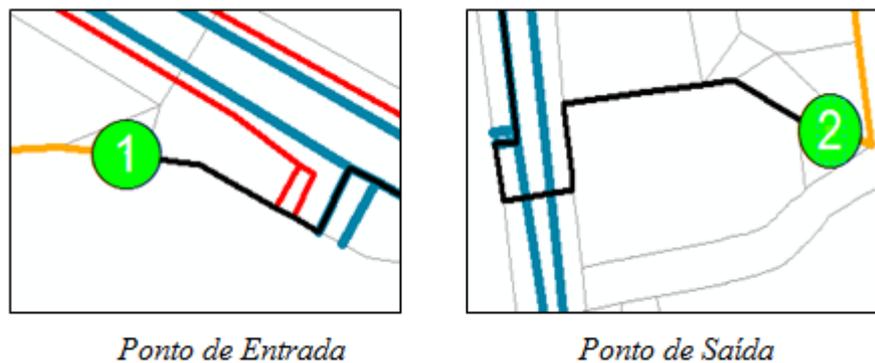
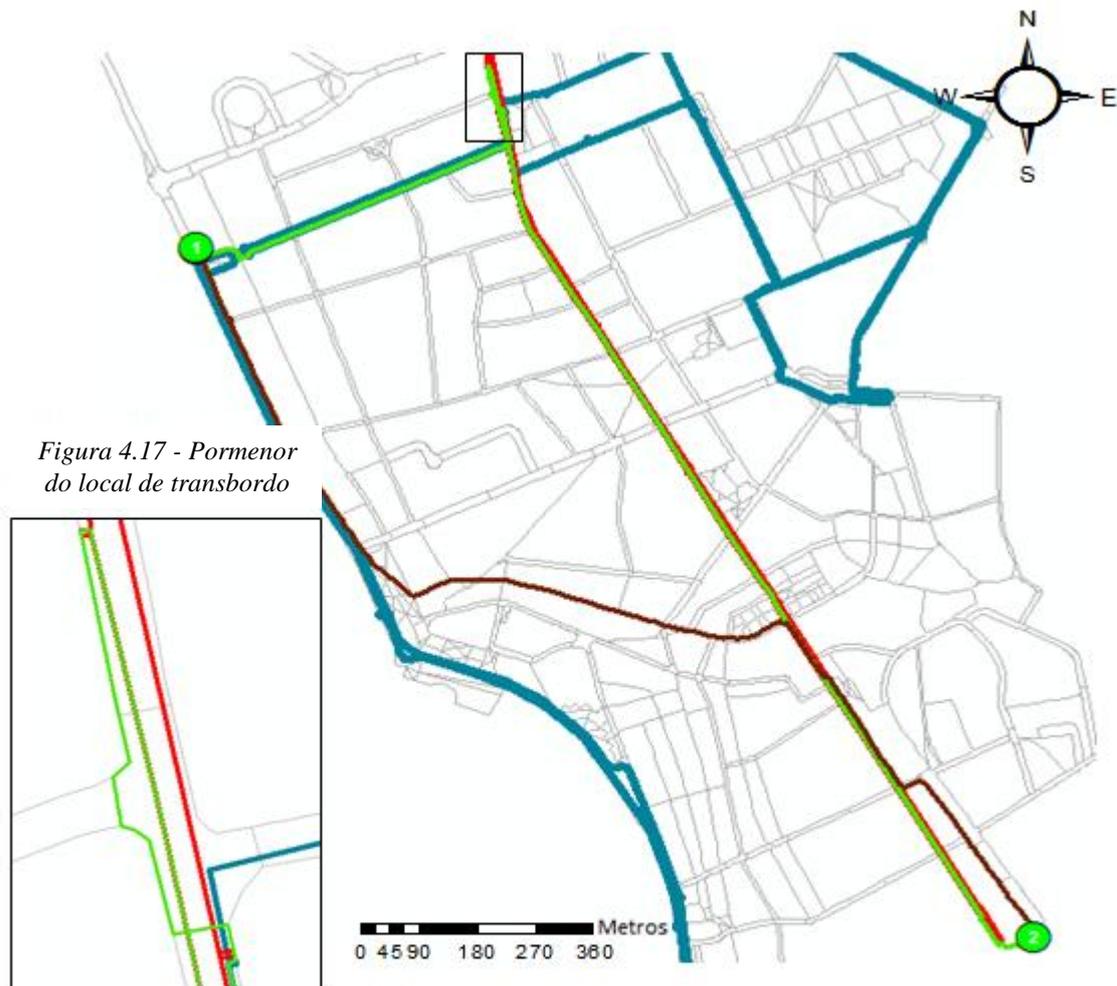


Figura 4.15 - Pormenor dos pontos de entrada e saída na rede de transporte público e conseqüente percurso pedonal.

Ainda no que concerne à geração de percursos com tempo mínimo de espera de 1 minuto, foi possível gerar um percurso multimodal no qual foram usados os mesmos dois modos de deslocação, pedonal e motorizado, conjugado com ambas as linhas de transporte público (figura 4.16). Neste caso, apresenta-se o pormenor da execução de transbordo entre os diferentes veículos e o caminho efetuado entre os diferentes pontos de entrada e saída de passageiros (figura 4.17).



Legenda:

-  Percurso multimodal gerado com 1 minuto tempo de espera
-  Percurso em modo pedonal
-  Rede Pedonal

-  Linha A
-  Linha B
-  1 Ponto de Origem
-  2 Ponto de Destino

Figura 4.16 - Representação do percurso gerado com tempo de espera de 1 minuto, utilizando ambas as linhas de transporte público.

A geração de percursos multimodais com tempo de espera de 5 (cinco) minutos seguiu a mesma metodologia: apresentou um aumento do tempo de percurso, diretamente relacionado com o facto do tempo de espera ser superior. Nesta situação, o percurso gerado apresentou uma diferença na definição do trajeto inicial em modo pedonal, visto que, foi realizado um percurso de maior distância de forma a diminuir o tempo de espera na paragem. Assim, comparando com o tempo de espera de 1 minuto, o peão efetuou um percurso pedonal superior até à entrada no veículo (figura 4.18).

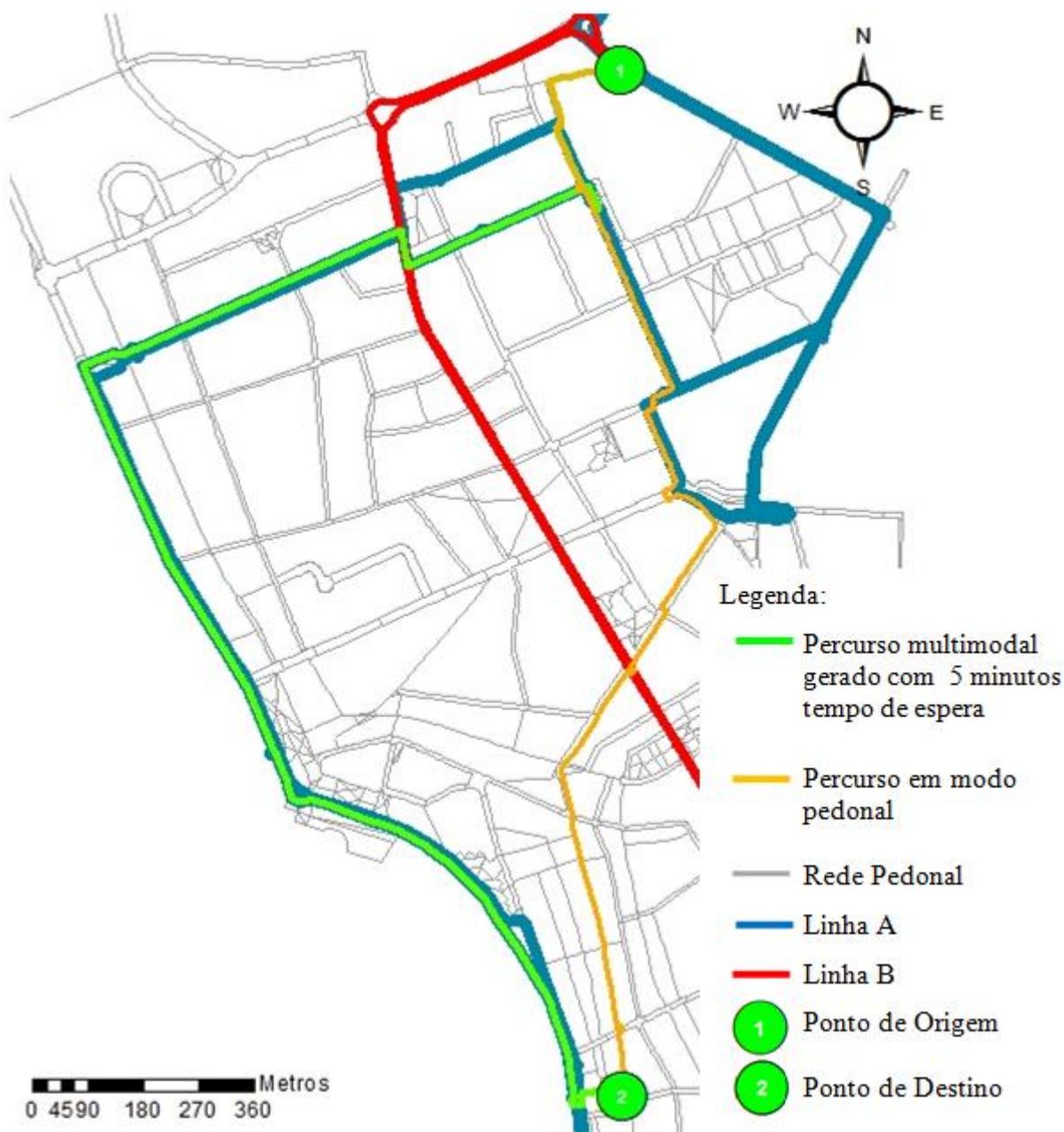


Figura 4.11 - Representação de percursos gerados com tempo de espera de 5 minutos e comparação entre os diferentes modos.

Neste caso particular, observa-se que é sugerida a entrada no transporte público numa paragem que não é a mais próxima do ponto de partida. Assim, o percurso gerado prevê um trajeto pedonal inicial maior, diminuindo o tempo de espera ao procurar uma paragem mais distante do ponto inicial (figura 4.19).



*Figura 4.12 - Pormenor do percurso pedonal inicial até à entrada no transporte público.*

A geração de percursos com um tempo de espera de 15 (quinze) minutos teve como objetivo analisar a viabilidade de execução de percursos multimodais ou percursos unicamente em modo pedonal. Este tempo de espera foi considerado por representar um tempo intermédio entre as diversas passagens dos veículos de transporte público. Na figura 4.20, estão representados os percursos gerados, sendo os pontos de início e fim os mesmos para ambos os percursos.

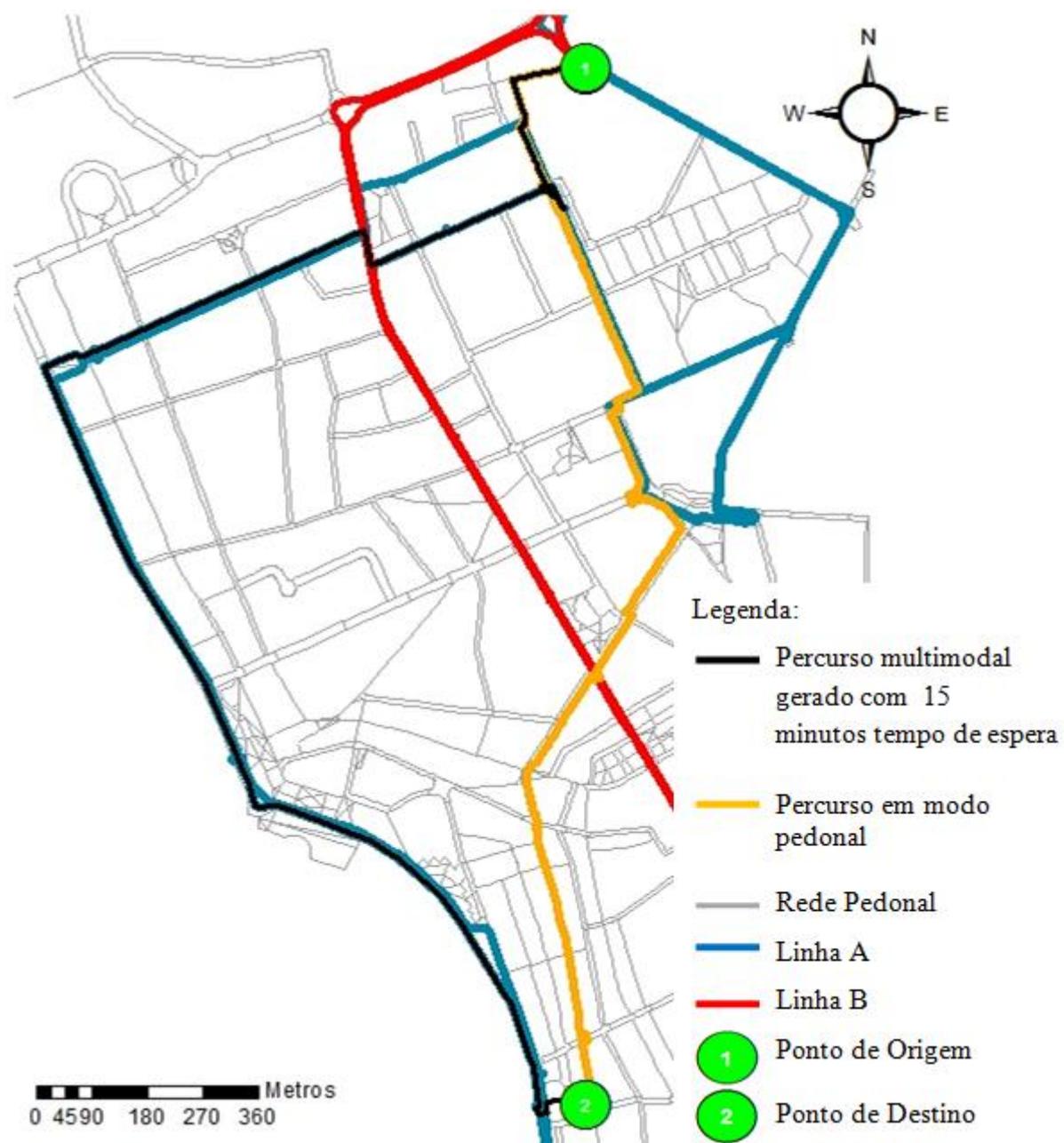
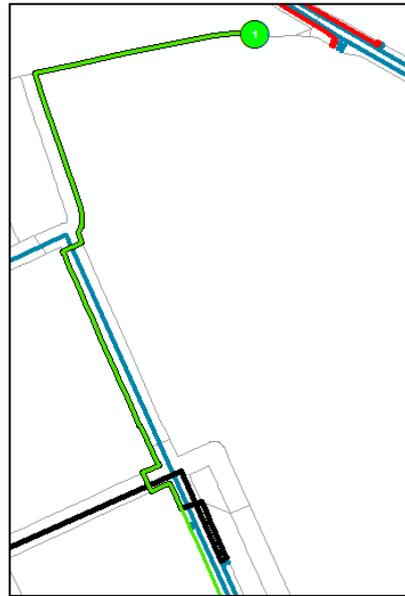


Figura 4.13 - Percursos gerados com o tempo de espera de 15 minutos.

Neste caso, tal como no anterior, foi observada a execução de um percurso em modo pedonal inicial de maior distância até uma paragem mais distante do ponto de partida. Desta forma, o tempo de percurso total, aquando da utilização do modo multimodal de transportes rodoviários, apresenta um valor mais reduzido quando comparado com o uso exclusivo do modo suave de andar a pé (figura 4.21).



*Figura 4.14 - Pormenor do percurso pedonal inicial até à entrada no transporte público.*

Na geração de percursos com o tempo de espera máximo, 29 (vinte e nove) minutos, verificou-se que a rede de transporte público não apresenta qualquer tipo de relevância na deslocação dentro do centro urbano digitalizado. Deste modo, para além do percurso pedonal presente em todos os exemplos anteriores é apresentado um novo percurso, com pontos de início e fim diferentes dos anteriores, de forma a demonstrar que a deslocação no interior da malha digitalizada é feita apenas com recurso ao modo de deslocação pedonal, como representado na figura 4.22.

Os dois percursos (1 e 2) apresentados foram feitos na sua totalidade apenas com recurso ao modo pedonal na deslocação entre os pontos de início e fim. Isto aconteceu devido ao facto de todos os percursos do centro urbano digitalizado poderem ser realizados através do modo pedonal, onde o tempo de percurso total é inferior ao tempo de espera aplicado, sendo impossível gerar um percurso multimodal nestas condições.

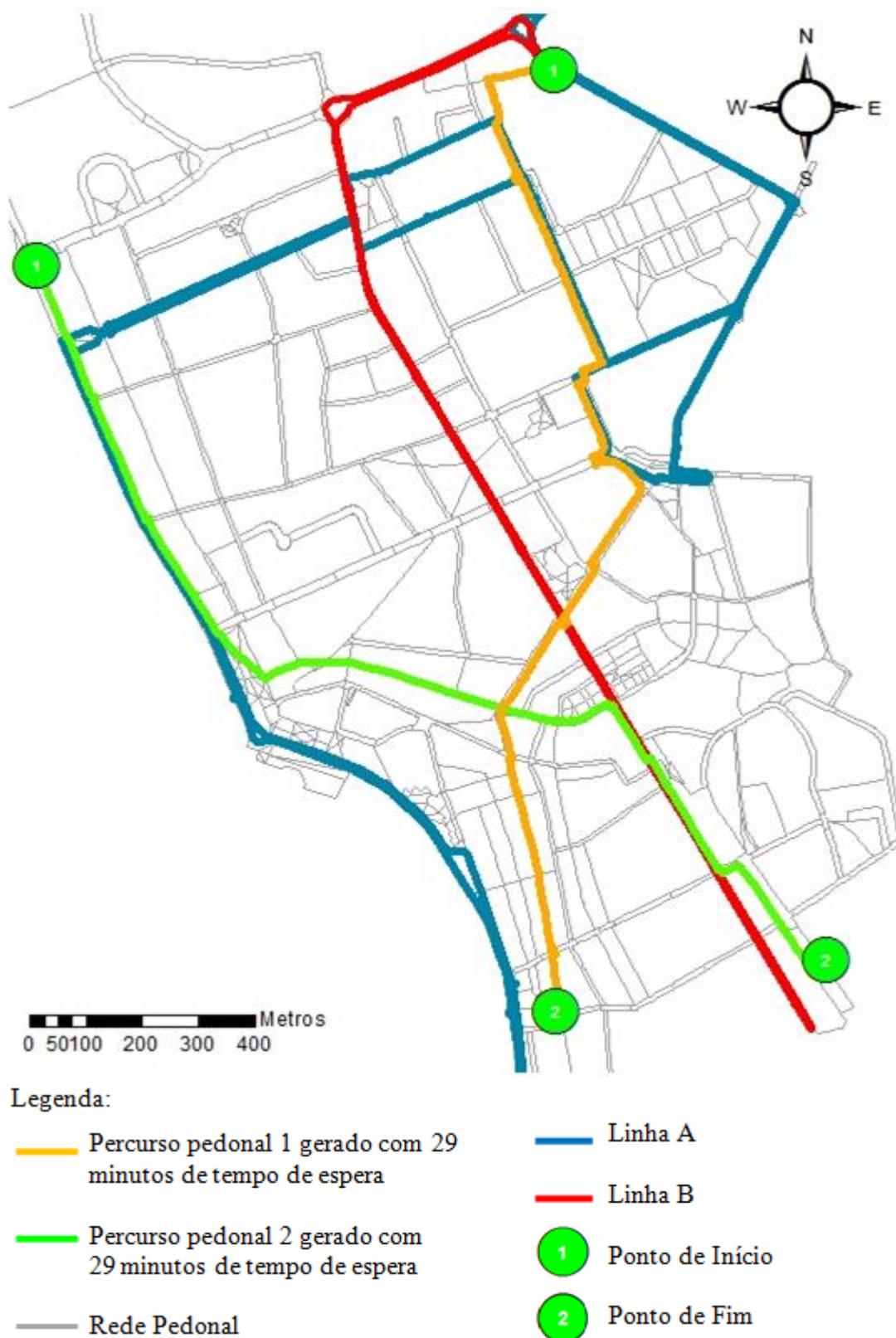


Figura 4.15 - Representação de percursos gerados com tempo de espera de 29 minutos.

De seguida, é apresentada avaliação entre os percursos gerados, percursos multimodais e percursos apenas em modo pedonal. Deste modo, foi efetuada a comparação dos diversos percursos gerados mediante o tempo de espera estipulado com um percurso pedonal igual em todos os exemplos, sendo os pontos de início e fim colocados na mesma posição em todos os casos. Assim, efetuou-se a verificação dos tempos de percurso, tendo em vista demonstrar qual dos modos de deslocação é mais vantajoso de ser utilizado mediante as condições de tempo de espera.

No quadro 4.4, foram inseridos os dados recolhidos após a definição dos diferentes percursos por forma a compreender e comparar quais as opções mais viáveis na escolha de um percurso entre dois pontos.

Desta forma, podemos avaliar a viabilidade do uso de um determinado modo de deslocação, neste caso concreto, o modo multimodal que combina a rede de transportes rodoviários coletivos e o modo pedonal em função do tempo de percurso despendido entre os mesmos pontos de início e término de trajeto.

No primeiro caso em análise, onde o tempo de espera numa determinada paragem de transporte público seja de 1 minuto, constatou-se que a diferença de tempo total de percurso é bastante elevada entre os dois modos, tornando a escolha do modo multimodal mais vantajosa (quadro 4.4)

Para a execução de percursos entre os mesmos dois pontos, onde o tempo de espera seja de 5 minutos, observou-se um aumento do tempo despendido face ao caso anterior. Por outro lado, outra diferença constatada, relaciona-se com o facto de ser feito um percurso em modo pedonal no início do trajeto, aquando da utilização da rede de transportes, por forma a minimizar o tempo de espera. Assim, o uso do transporte multimodal continua a ser a opção com menor tempo total de percurso comparativamente ao uso exclusivo do modo pedonal (quadro 4.4).

Na avaliação do tempo de espera intermédio, 15 minutos, tempo intermédio entre frequência de passagem dos transportes coletivos registou-se uma diferença de tempo de percurso total, entre os dois modos, muito reduzida. Contudo, a utilização o modo multimodal apresentou-se como a forma mais rápida de realizar o percurso, entre os mesmos dois pontos (quadro 4.4).

Por fim, na análise do tempo de espera de 29 minutos ou tempo de espera máximo, não foi possível gerar qualquer percurso que englobasse a rede de transportes públicos coletivos. Desta forma, verificou-se que o uso de transporte rodoviário coletivo no centro urbano não

apresenta qualquer vantagem em termos de tempo de percurso, visto que, comparando com o uso do modo pedonal entre os mesmos pontos, este apresenta um tempo de percurso despendido inferior ao valor de tempo de espera. No entanto, neste caso particular, foi calculado um outro percurso com pontos de início e fim diferentes para averiguar qual o modo de deslocação mais eficaz no centro urbano da Póvoa de Varzim. Assim, verificou-se que quando o tempo de espera na paragem é de 29 (vinte e nove) minutos o modo de deslocação mais eficaz em termos de tempo de percurso é o modo pedonal, uma vez que esta deslocação, mediante a área em estudo, apresenta um tempo de duração inferior ao do tempo de espera (quadro 4.5).

*Quadro 4.4 - Percursos em modo pedonal e modo multimodal incluindo os tempos de espera de 1 minuto, 5 minutos e 15 minutos.*

	Modo de Transporte	Tempo de Espera 1 minuto	Tempo de Espera 5 minutos	Tempo de Espera 15 minutos
Tempo de Percurso (minutos)	Multimodal	13,623	17,588	27,537
	Pedonal	27,654	27,654	27,654

*Quadro 4.5 - Percursos gerados com tempo de espera de 29 minutos.*

	Modo de Transporte	Tempo de Espera 29 minutos Percurso 1	Tempo de Espera 29 minutos Percurso 2
Tempo de Percurso (minutos)	Multimodal	-	-
	Pedonal	27,654	28,297



## 5 CONCLUSÕES E DESENVOLVIMENTOS FUTUROS

Neste capítulo, são apresentadas conclusões emanadas do trabalho e os desenvolvimentos futuros passíveis de serem realizados.

### 5.1 Conclusões

Esta dissertação teve como finalidade o desenvolvimento de uma metodologia de geração semiautomática de redes pedonais em ambiente urbano e abordar a inclusão de características/fatores que possam influenciar a escolha dos trajetos. Para tal, foi elaborado uma metodologia de geração da rede de circulação pedonal, como apresentado no capítulo 3 e implementado no estudo de caso, no capítulo 4.

A metodologia baseou-se na caracterização e localização de todos os locais de circulação de peões e secções de atravessamento no centro urbano de uma cidade. A sua execução foi elaborada através do reconhecimento e levantamento de dimensões da rede viária e das áreas contíguas de circulação de peões, tais como passeios, praças, pontos de atravessamento de vias e locais de uso exclusivo à circulação de peões. O resultado da análise dos parâmetros referidos traduziu-se na geração de um modelo de uma malha pedonal de forma semiautomática, onde foram inseridas características que podem influenciar a deslocação de peões no centro urbano.

A metodologia foi aplicada numa área urbana da cidade da Póvoa de Varzim, e levou à geração de um modelo da rede pedonal que procurou representar da forma mais fidedigna as deslocações possíveis dos peões.

A análise da aplicabilidade desta metodologia, através do estudo de caso, propiciou a geração de percursos pedonais com três características distintas: geração de percursos com conforto ambiental urbano à sombra, geração de percursos de lazer com interesse comercial e geração de percursos multimodais, graças a integração da rede de transportes públicos rodoviários coletivos.

No primeiro caso, na geração de percursos à sombra é de realçar que, mesmo aquando do início do percurso num trecho localizado numa zona ao sol, o modelo leva à delineação do percurso para o segmento à sombra mais próximo, procurando desta forma maximizar a extensão total que reúna as condições pretendidas. Por esse motivo, quando comparado com um percurso gerado sem qualquer tipo de restrição, entre os mesmos pontos de origem e

destino, o percurso de maior conforto descrito apresenta um tempo de percurso com maior duração.

No segundo caso, na geração de percursos com interesse comercial, os percursos gerados caracterizam-se por percorrer as zonas definidas como albergadoras de estabelecimentos comerciais, em detrimento de procurar simplesmente o caminho mais curto. Mais uma vez, efetuando a comparação com um percurso gerado entre os mesmos pontos de partida e de chegada, mas sem considerar esta característica, o percurso de lazer apresenta uma distância a percorrer superior, bem como um tempo de percurso mais elevado, dado que as áreas comerciais visitadas estão por vezes fora do percurso mais curto.

Por último, na geração de percursos multimodais usando a rede pedonal e a rede de transportes públicos rodoviários coletivos, foram analisadas quatro situações diferentes, correspondendo à aplicação de diferentes fatores associados ao tempo de espera. Esses fatores foram aplicados aos nós que representam pontos de entrada de passageiros. Neste caso, foi efetuada a comparação dos tempos de percurso dos trajetos gerados relativamente a um percurso unicamente em modo pedonal, usando em todos os casos os mesmos pontos de origem e destino. Com tempo de espera de 1 minuto, o trajeto calculado é delineado com passagem pelo ponto de entrada na rede de transportes públicos mais próxima do ponto inicial de trajeto. A comparação dos tempos de percurso entre os dois modos de deslocação resultou numa diferença significativa, mostrando que o modo de deslocação multimodal é a forma de deslocação mais rápida se o tempo de espera é muito reduzido.

O segundo caso testado consistiu em aumentar o tempo de espera para 5 minutos. Nestas circunstâncias, presenciou-se um alargamento do percurso pedonal inicial, visto que foi sugerida a entrada na rede de transportes públicos numa paragem um pouco mais distante do ponto de partida, em vez da paragem mais próxima. Desta forma, o tempo de espera no local é aproveitado para diminuir o tempo de percurso. Tal como na situação anterior, o percurso multimodal apresentou-se como a opção que permite percorrer o percurso em menor tempo.

Para um tempo de espera de 15 minutos, a entrada nos transportes públicos foi novamente sugerida numa paragem mais distante do ponto de partida. Essa opção aproveita o tempo de espera inicial para iniciar o percurso a pé e encontrar uma paragem com menor tempo de espera. À semelhança dos casos anteriores, o modo multimodal voltou a ser a forma de realizar o percurso em menor tempo. No entanto, a diferença de tempos de percurso apresentada pelos dois modos de deslocação verificou-se ser reduzida. No caso do percurso estudado, esta observação leva a concluir que 15 minutos será aproximadamente o tempo de

espera admissível na paragem, para considerar o modo multimodal como sendo o mais célere. Dado que o programa calcula/determina o percurso a efetuar em função do tempo de espera e do tempo despendido a pé até chegar a uma paragem.

Por último, na aplicação do tempo de espera de 29 minutos, verificou-se que a rede de transportes públicos não apresentou vantagem para os percursos, dado que o tempo de percurso realizado integralmente a pé foi sempre inferior.

Com os resultados obtidos, conclui-se que os objetivos foram alcançados. A criação de uma rede pedonal no centro urbano possibilita a geração de percursos com diferentes características de modo mais eficaz, tendo como princípio a melhoria das deslocações em termos de redução de tempo de percurso. Este estudo pode constituir a base para a criação de redes pedonais em meios urbanos seguindo o modelo e método desenvolvidos.

É de referir ainda que, aquando do desenvolvimento deste projeto, foram sentidas dificuldades na aplicação do SIG, principalmente pela inexperiência no uso deste programa informático. Estas adversidades foram superadas através da dedicação de maior tempo na aquisição de conhecimento através de tutoriais (*ESRI training*) e com o apoio do orientador.

Outro aspeto no qual foram sentidas dificuldades foi na seleção de bibliografia pertinente, uma vez que, nem todos os documentos encontrados relativos à temática do trabalho forneciam informação relevante.

É de salientar que este projeto permitiu a aquisição de conhecimentos e capacidades na área de SIG e na perceção da mobilidade pedonal que poderão ser uma mais valia em projetos vindouros a aplicar na área da engenharia civil, particularmente no que concerne ao planeamento urbano e do território, análises espaciais e na vertente de vias de comunicação.

## **5.2 Desenvolvimentos Futuros**

Como em todos os processos de modelação de redes, existem aspetos que podem ser aprofundados e/ou complementados futuramente.

No que concerne ao levantamento e recolha de dados, esta tarefa poderia ser realizada com recurso a um equipamento GPS, registando todos os percursos pedonais através de deslocações *in loco*, de modo a serem, posteriormente, importados para plataformas informáticas.

Outras características que podem ser destacadas, como elementos a adicionar em estudos futuros relacionados com a geração de redes, nomeadamente: a análise de poluição

atmosférica e sonora, a inserção de outros pontos de interesse e a inclusão de mais modos de transporte públicos na geração de percursos multimodais.

As características referidas anteriormente, juntamente com os fatores inseridos neste projeto, podem propiciar uma melhoria na capacidade de modelação de percursos pedonais em centros urbanos.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Ballester, M., Pérez, M. R., Stuver, J. (2011) - Automatic Pedestrian Network Generation. Em *AGILE 2011*.
- Batista, J. (2002). Alternativas de Redes Multimodais para o transporte público na zona Oeste da Região Metropolitana de Fortaleza. Dissertação de Mestrado, Universidade Federal do Ceará – Programa de Mestrado em Engenharia de Transportes.
- Buschecker, Live Bus Countdown. Acedido em 2012: <http://www.buschecker.com/>
- Câmara Municipal de Lisboa (2011), Plano de Acessibilidade Pedonal de Lisboa – Acessibilidade Pedonal no Planeamento Urbano, Versão Preliminar.
- Câmara Municipal de Miranda do Douro (2008). Plano de Mobilidade Sustentável de Miranda do Douro – Objetivos e Conceitos de Intervenção.
- Câmara Municipal da Póvoa de Varzim (2006). Plano de Urbanização - Departamento de Gestão Urbanística e Ambiente.
- Cardoso, V. (2011). Representação de espaços urbanos em 3D SIG. Dissertação de Mestrado, Universidade do Minho.
- Chichociński, P. (2012). How to calculate real estate accessibility. Department of Geomatics, AGH University of Science and Technology. FIG Working Week 2012, 6-10 Maio, Roma.
- Chiang, Y., Knoblock, C., Shahabi, C., Chen, C. (2008). Automatic and Accurate Extraction of Road Intersection from Raster Maps. Department of Computer Science and Informations Institute - University of Southern California, EUA.
- Costa, A. (2008). Manual de Planeamento de Acessibilidades e Transportes - Transportes Públicos (Vol. 13). Comissão de Coordenação e Desenvolvimento Regional do Norte.
- ESRI, ArcGIS Network Analyst. Acedido em 2013: <http://www.esri.com/software/arcgis/extensions/networkanalyst>.
- ESRI, ArcGIS Resources. Acedido em 2014: <http://resources.arcgis.com/>.
- ESRI, GIS Dictionary. Acedido em 2013: <http://support.esri.com/en/knowledgebase/GISDictionary/>.
- Figueiredo, M., Ferreira, L., Oliveira, M. Pais, A., Martins, B. (2006-2009). Acessibilidade e Mobilidade para Todos, Inova - Porto.
- Feofiloff, P., Kohayakawa, Y., Wakabayashi, Y. (2011). Uma Introdução Sucinta à Teoria dos Grafos. Em: <http://www.ime.usp.br/~pf/teoriadosgrafos/texto/TeoriaDosGrafos.pdf>
- Lucchesi, C. (1979). Introdução à Teoria dos Grafos. Instituto de Matemática Pura e Aplicada - Universidade Federal do Rio de Janeiro, Brasil.

- Fontes, A. C., Ribeiro, P., Oliveira, M. M., Mendes, J. F. G. (2012). *Acessibilidade Pedonal em Espaço Público Exterior: Requalificação do Centro Urbano de Guimarães*. Faculdade de Arquitetura e Urbana, Universidade de Brasília. Brasil.
- Freitas, C. (2006). *Sistema de Informação Geográfica (SIG), Raster e Vector*. Universidade de São Francisco, São Paulo, Brasil.
- HCM (2000). *Highway Capacity Manual 2000*. Transportation Research Board. National Research Council. Em: [https://sjnavarro.files.wordpress.com/2008/08/highway\\_capacital\\_manual.pdf](https://sjnavarro.files.wordpress.com/2008/08/highway_capacital_manual.pdf)
- Hillier, B. (2006). *London Pedestrian RouteMap*. <http://www.spacesyntax.com/project/london-pedestrian-routemap/>.
- IMTT - Instituto de Mobilidade e dos Transportes Terrestres (2011). *Coleção de Brochuras Técnicas/ Temáticas, Interfaces de Transportes de Passageiros*.
- IMTT - Instituto de Mobilidade e dos Transportes Terrestres (2011). *Coleção de Brochuras Técnicas/Temáticas, Tipologias de Meios e Modos de Transporte*.
- ITF - International Transport Forum (2012). *Pedestrian Safety, Urban Space and Health*, OECD Publishing. <http://dx.doi.org/10.1787/9789282103654-en>.
- Karimi, H., Kasemsuppakorn, P. (2012). *Pedestrian Network Map Generation Approaches and Recommendation*. *International Journal of Geographical Information Science*, publicado 14 novembro 2012.
- Knoblock, Y. (2009). *Classification of Raster Maps for Automatic Feature Extraction*. Department of Science and Information Sciences Institute, University of Southern California.
- Kralidis, T. (1999). *Near West Transportation Study Network Analysis Vector and Raster*. Ottawa, Canada. <http://www.kralidis.ca/gis/hybrid/networkanalysis/>
- Litman, T. (2012). *Introduction to Multi-Modal Transportation Planning*. Victoria Transport Policy Institute. Victoria, Canada.
- Liu, L. (2010). *Data Model and Algorithms for Multimodal Route Planning with Transportation Networks*. Technische Universität München.
- Mahrous, R. (2012). *Multimodal Transportation Systems: Modelling Challenges*. Faculty of Geo-Information Science and Earth Observation of the University of Twente.
- Markowsky, M. (2008). *Modeling Behavior in Vehicular and Pedestrian Traffic Flow*. University of Delaware.
- Mateus, D. (2007). *Projeto de Mobilidade Sustentável. Município de Pombal – Relatório de Diagnóstico*.
- Miller, H., Shaw, S. (2001). *Geographic Information Systems for Transportation*. Oxford: Oxford University Press.

- Mouro, A. (2003). Sistema para Gestão de Informação de Transportes Públicos de uma Cidade, Aplicações de SIG para a orientação e mobilidade (Cap. 3.5). Universidade de Aveiro.
- OPT, MOVE-ME. Acedido em 2012: <http://www.move-me.mobi/Home/About>.
- Moovit . Acedido em 2012: <http://www.moovitapp.com>.
- Mota, M., Peixoto, M., Painho, M., Curvelo, P., Ferreira, F. (2006). ConSIG – Using in teaching/learning processes. 26th Annual ESRI International User Conference. San Diego, USA.
- New Zealand Government (2009). NZ Transport Agency. Pedestrian Planning and Design Guide. Wellington, Nova Zelândia.
- Nobrega, R. e Stich, B. (2010). Novos Horizontes: Integrando SIG ao sistema de Transporte Multimodal. InfoGeo ed. 61.
- Patrício, P. (2006). Breve Introdução à Teoria de Grafos. Universidade do Minho.
- Pinto, N., Silva, P. e Pereira, P. (2008). Projecto Mobilidade Sustentável para o Município de Leiria. Relatório 1, Diagnóstico e Princípios Orientadores de Intervenção.
- Pires, B., Ferreira, A., Pinto, P. (2010). A (r)evolução dos SIG! Rumo ao futuro com o software da SuperMap. Lisboa. [www.geosfera.pt](http://www.geosfera.pt).
- Portland Bureau of Transportation (PBOT) (2010). Appendix I: Network Analysis GIS Methodology. East Portland in Motion. Portland, United States of America.
- Prasad, K., (2013). 3D Pedestrian Network of UTown, Project Report. Institute for Transport Planning and Systems, Swiss Federal Institute of Technology Zurich.
- Queensland Government (2008). Multi-Modal Transport Corridor. Department of Transport and Main Roads. Queensland, Australia.
- Ribeiro, P., Mendes, J. F. G. (2010). Planeamento de Itinerários para Modos Suaves de Transporte – Rotas Saudáveis. XXIV ANPET – Congresso de Pesquisa e Ensino em Transportes. Salvador, Brasil.
- Robinson, H. (1999). Graph Theory Techniques in Model-Based Testing - Semantic Platforms Test Group. Microsoft Corporation.
- Rocha, J. (2005). Informação Geográfica: Meta-Informação, Codificação e Visualização. Departamento de Informática, Escola de Engenharia, Universidade do Minho.
- Ruohonen, K. (2013). Graph Theory. (Traduzido por: Janne Tamminen, Kung-Chung Lee e Robert Piché).
- Seco, Á.; Macedo, J.; Costa, A. (2008). Manual do Planeamento de Acessibilidades e Transportes - Peões (Vol. 8). Comissão de Coordenação e Desenvolvimento Regional do Norte.

- Secuma, A. (2012). Modelação do Crescimento Urbano da Província de Luanda, Angola. Instituto Superior de Estatística e Gestão de Informação da Universidade Nova de Lisboa.
- Seattle Department of Transportation (2010) - SDOT. Seattle Walking Map 2010. Seattle, United States of America. [http://www.seattle.gov/transportation/walk\\_map.htm](http://www.seattle.gov/transportation/walk_map.htm).
- Southern California Association of Governments Westside Cities (2005). Multimodal Mobility: Liking the Westside Cities to the Future Venice/Robertson Light Rail Station.
- Toralles, C., Polidori, M., Kruger, E. (2011). A Medida de Acessibilidade como identificadora de diferenciação sócio-Espacial: O Caso de Cidades do Extremo Sul do Brasil. FAUrb - Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, UFPel - Universidade Federal de Pelotas. Brasil.
- Trullén, J., Boix, R. (2005). Knowledge, networks of cities and growth in regional urban systems. Departamento de Economia Aplicada, Universidad Autonoma de Barcelona. Barcelona, Espanha.
- Valter, V., Kada, M., Chen, H. (2006). Shortest Path Analyses in Raster Maps for Pedestrian Navigation in Location Based Systems. Institute for Photogrammetry, Stuttgart University. Stuttgart, Germany.
- Varat, A., (2010). San Francisco Better Street Plan - San Francisco Planning Department. San Francisco, United States of America.
- Vieira, M. (2004). Melhoria da Velocidade dos Transportes Públicos de Superfície em Lisboa por Regulação da Admissão de Trânsito. Instituto Superior Técnico. Lisboa.

## ANEXO

### Anexo I – Tabela de dados recolhidos das diferentes tipologias de arruamentos

Apresentação da tabela onde foram inseridos os dados recolhidos, das diferentes tipologias de arruamentos.

*Tabela de diferenciação de tipologias de arruamentos*

TIPO	DESCRIÇÃO	L_VIA	L_JARDIM	L_INTERNO	L_PASSEIO
1	1x1 Via + Jardim (2) Lateral + Passeio	3,5	2,5	6	3,5
2	Exclusivo a Moradores (1)	0	0	0	2,1
3	1x1 Via + Passeio	2,5	0	2,5	2
4	Zona Comercial (1)	0	0	0	2,9
5	Zona Comercial (2) adjacentes	0	0	0	1,55
6	Zona Comercial (3)	0	0	0	2,75
7	1 Via + Passeio (1)	2,5	0	2,5	1,5
8	1 Via + Passeio (2)	3,5	0	3,5	2
9	1x1 Via + Passeio (1)	2,5	0	2,5	3,5
10	Zona Histórica (1) utilização mista	0	0	0	2
11	Zona Histórica (2) utilização mista	0	0	0	1,75
12	Zona Histórica (3)	2	0	2	0,5
13	Zona Histórica (4)	4	0	4	1,2
14	1x1 Via + Passeio (2)	3,5	0	3,5	2,2

Geração de uma rede pedonal em formato vectorial e definição de percursos pedonais em ambiente urbano: estudo de caso na Póvoa de Varzim

15	1x1 Via + Passeio Unilateral (1)	3,1	0	3,1	2,5
16	1x1 Via + Passeio (3)	3	0	3	2,5
17	Praceta	0	0	0	10
18	Exclusivo a Moradores (2)	0	0	0	2,25
19	1 Via + Passeio (3)	3,5	0	3,5	1,5
20	1x1 Via + Passeio (3)	3	0	3	1,5
21	1 Via + Passeio (4)	2,8	0	2,8	2
22	1x1 Via + Passeio (8)	7	0	7	3
23	1x1 Via + Passeio (4)	3	0	3	4,5
24	1x1 Via + Passeio(5)	3,5	0	3,5	8
25	2x1 Via + Passeio (1)	6,1	0	6,1	6
26	1x1 Via + Passeio (5)	6,1	0	6,1	3
27	2x1 Via + Passeio (2)	4,5	0	4,5	5
28	1x1 + Passeio (6)	4	0	4	2
29	Exclusivo Moradores (3)	0	0	0	12
30	1x1 Via + Passeio (6)	4,5	0	4,5	2
31	Exclusivo Moradores (4)	0	0	0	3
32	1x1Via + Passeio (7)	3,5	0	3,5	3
33	1 Via + Passeio (5)	2,25	0	2,25	2
34	2x2 Vias + Passeio	7,1	0	7,1	3
35	2x1 Via + Passeio	6,3	0	6,3	3



Geração de uma rede pedonal em formato vectorial e definição de percursos pedonais em ambiente urbano: estudo de caso na Póvoa de Varzim