



UNIVERSIDADE D
COIMBRA



Raquel Sofia dos Santos Bidarra

AVALIAÇÃO DE ESTRATÉGIAS DE CONTROLO DOS
ATRAVESSAMENTOS PEDONAIS EM SOLUÇÕES
SEMAFORIZADAS

Dissertação no âmbito do Mestrado Integrado em Engenharia Civil, na área de Especialização em Urbanismo, Transportes e Vias de Comunicação orientada pelo Professor Doutor Álvaro Jorge da Maia Seco e pela Professora Doutora Ana Maria Bastos Silva e apresentada ao Departamento de Engenharia Civil da Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade de Coimbra.

Janeiro 2019



FCTUC DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL
FACULDADE DE CIÊNCIAS E TECNOLOGIA
UNIVERSIDADE DE COIMBRA

Raquel Sofia dos Santos Bidarra

AVALIAÇÃO DE ESTRATÉGIAS DE CONTROLO DOS ATRAVESSAMENTOS PEDONAIS EM SOLUÇÕES SEMAFORIZADAS

EVALUATION OF STRATEGIES OF CONTROL OF PEDESTRIAN CROSSINGS IN TRAFFIC LIGHT SOLUTIONS

Dissertação de Mestrado Integrado em Engenharia Civil, na área de Especialização em Urbanismo, Transportes e Vias de Comunicação orientada pelo Professor Doutor Álvaro Jorge da Maia Seco e pela Professora Doutora Ana Maria Bastos Silva.

Esta Dissertação é da exclusiva responsabilidade do seu autor.
O Departamento de Engenharia Civil da FCTUC declina qualquer
responsabilidade, legal ou outra, em relação a erros ou omissões
que possa conter.

Coimbra, 28 de janeiro de 2019

AGRADECIMENTOS

Com carinho e respeito, expresso a minha gratidão a todas as pessoas que me acompanharam durante a execução do trabalho aqui presente, a todos os que, de alguma maneira, contribuíram para que tal fosse possível.

Aos meus Professores, Doutor Álvaro da Maia Seco e Doutora Ana Bastos Silva, pela orientação, pela paciência, e pelo incentivo.

À Universidade de Coimbra e ao seu Departamento de Engenharia Civil, por permitir a aprendizagem académica que me permitiu alcançar este patamar.

Ao meu colega Luís Coimbra, a quem o tempo dispendido, para que os sucessivos desafios na modelação fossem superados, agradeço e desejo todo o sucesso académico, profissional e pessoal.

Um profundo obrigada à minha família, em particular à minha mãe, ao meu pai e irmão. A eles devo mais do que as palavras conseguirão expressar, desde a oportunidade de estudar em Coimbra, com os esforços financeiros inerentes, e, principalmente, aos valores de sinceridade, respeito e igualdade que me transmitiram, fizeram-me a mulher que sou hoje.

À República Baco, a minha casa e família de Coimbra, agradeço a oportunidade de a ter experimentado e construído. Fez-me querer ser melhor todos os dias e o que aprendi levarei para a vida. Um especial obrigado às pessoas com quem vivi ou convivi no quotidiano durante este moroso processo, por todo o carinho, suporte, amizade e compreensão que sempre me prestaram. Concluo este trabalho, nesta casa, com o sentimento de que levo mais do que o mensurável, comprometendo-me a abraçar todas as lutas presentes e futuras que as Repúblicas de Coimbra enfrentem pelas suas resistências.

RESUMO

Esta dissertação centra-se sobre o estudo de soluções alternativas aplicadas a pontos de atravessamento da rede viária. É possível recorrer a diversas soluções para apoiar o atravessamento dos peões, tendo de se pesar diferentes variáveis para decidir qual a melhor solução a adoptar. Estas variáveis vão desde o débito de veículos ao de peões, às velocidades praticadas por ambos, às dimensões da via, ou a existência de pontos de grande geração de tráfego, por vezes alvo de atenção especial. De entre todas as tipologias aplicáveis para assegurar a segurança e o conforto nas travessias este estudo incide na avaliação do potencial de desempenho de diferentes possíveis estratégias de regulação semafórica. São testadas uma estratégia de tempos fixos com fase exclusiva de peões, bem como duas soluções atuadas que, por meio de sensor, reconhecem a intenção do peão atravessar a corrente de tráfego, sendo que uma delas prioriza o movimento pedonal em certa medida.

Este estudo procura avaliar as potenciais vantagens e desvantagens dos diferentes tipos de estratégias, traduzidas em diferentes níveis de conflitos peão-veículo e de tempos de espera ou de atraso, resultando em diferentes níveis de serviço. Os trabalhos foram suportados pelo desenvolvimento de um modelo de microssimulação, o qual reproduziu um caso real situado em Coimbra, e para o qual se combinaram uma pluralidade de cenários baseada na variação da afluência de veículos, de peões, e do comportamento dos peões em relação à sinalização semaforizada. Foram ainda estudados os dados de tráfego e o comportamento pedonal referentes ao mesmo local que foi objeto deste estudo.

Dos trabalhos de modelação, pode afirmar-se que a abordagem que introduz um suporte ao tráfego pedonal se mostrou bastante satisfatória no seu propósito, custando aos veículos um aumento no tempo de atraso quase sempre suportável, relativamente às demais estratégias em estudo.

Palavras-chave: Atravessamento pedonal; Travessia semaforizada; Controlo atuado; Microssimulação; AIMSUN; LEGION

ABSTRACT

This dissertation focuses on the study of alternative solutions applied to pedestrian crossings. It's possible to appeal to diverse solutions in order to support pedestrian crossings, by weighting different variables in order to find the best solution to adopt. These variables go from vehicle and pedestrian output, and the velocities practiced by both, to the dimensions of the road or the existence of heavy traffic creation points, sometimes the subject of special attention. Among all the applicable typologies to ensure safety and comfort in pedestrian crossings, this study concerns itself with the evaluation of the potential performance of different possible strategies of traffic signal control. This study tests a strategy of fixed times with a pedestrian phase as well as two actuated solutions that, by means of a sensor, recognize the pedestrians intention to cross the traffic flow, one of which prioritizes, in a sense, pedestrian movement.

This study pursues the evaluation of potential advantages and disadvantages of different types of strategies, translated into different levels of pedestrian-vehicle conflicts and waiting or delay times, resulting in distinct levels of service. The work is supported by the development of a microsimulation model, reproducing our case study made in Coimbra, which combined a plurality of scenarios based on the variation of vehicular and pedestrian flows, as well as different pedestrians behaviours in relation to traffic lights. Additionally, traffic data and pedestrian behaviours, referring to the same place that was object of this dissertation, were studied.

From the modulation work, we can claim that the approach which introduces a support to pedestrian traffic revealed itself quite satisfactory for its purpose, increasing the delay time for vehicles by a negligible margin, in relation to the other strategies studied.

Keywords: Pedestrian Crossing; Signalized Crosswalk; Actuated Control; Microsimulation; AIMSUN; LEGION

ÍNDICE

1	Introdução	1
1.1	Enquadramento do tema.....	1
1.2	Objetivos e Metodologia de Trabalho	1
1.3	Estrutura da Tese.....	2
2	Tipologias e Estratégias de Controlo dos Atravessamentos Pedonais em Soluções Semaforizadas.....	3
2.1	A importância do tráfego pedonal.....	3
2.1.1	Enquadramento.....	3
2.1.2	Tráfego pedonal: Caracterização física	4
2.1.3	Interação entre o tráfego motorizado e pedonal	7
2.2	Sinistralidade que envolve peões	7
2.3	Tipologias de travessias pedonais e seu dimensionamento	9
2.3.1	Enquadramento.....	9
2.3.2	Soluções não semaforizadas: Passagens para peões.....	11
2.3.3	As travessias pedonais: soluções semaforizadas	12
2.4	Outros Aspectos Dimensionais	17
2.5	Crítérios de instalação das travessias pedonais	18
2.6	Interação entre o tráfego pedonal e motorizado no atravessamento.....	19
2.6.1	Atravessamento em Local de Travessia semaforizada.....	19
2.6.2	Atravessamento em local fora da faixa de segurança.....	21
2.7	Nível de serviço de travessias pedonais	22
2.7.1	Níveis de Serviço de Travessias semaforizadas	22
2.8	Considerações Finais.....	23
3	Caraterização do Comportamento dos Peões em Travessias Semaforizadas	24
3.1	Enquadramento	24
3.2	Local de travessia A: Caracterização do comportamento de peões	25
3.2.1	Débitos de veículos e peões	25
3.2.2	Caraterização do conjunto de peões e do seu comportamento.....	26
3.3	Local de travessia B: Caracterização do comportamento de peões.....	31
3.3.1	Débitos de veículos e peões	31
3.3.2	Caraterização do conjunto de peões e do seu comportamento.....	32

4 Estratégias de Controlo VS Comportamento: Metodologia de Análise	43
4.1 Metodologia base	43
4.2 Estratégias em análise	44
4.2.1 Estratégia Base: Tempos Fixos	44
4.2.2 Estratégia Atuada base	44
4.2.3 Estratégia atuada com apoio preferencial aos peões	46
4.3 Variabilidade de Cenários	46
4.3.1 Taxa de saturação dos veículos	47
4.3.2 Débitos pedonais	47
4.3.3 Peso relativo dos peões potencialmente desobedientes	48
4.3.4 Os cenários	48
4.4 Indicadores de desempenho	48
4.4.1 Caraterização dos peões	49
4.4.2 Caraterização dos veículos	50
4.5. Definição do ciclo base	50
4.5.1 Definição dos tempos perdidos	51
4.6 Simulação em AIMSUN e LEGION.....	54
4.6.1 Construção do modelo base.....	55
4.6.2. Um modelo Otimizado	58
4.6.3 Os cenários de procura	59
4.6.4 Dados a recolher da microssimulação	60
5 Análise dos Resultados do Estudo de Caso.....	61
5.1 Estratégia base a tempos fixos	61
5.2 Análise comparativa das estratégias atuadas.....	63
5.2.1 Cenários com taxas de saturação a 90%	63
5.2.2 Cenários com taxas de saturação a 70%	64
5.2.3 Cenários com taxas de saturação a 50%	66
5.2.4 Cenários com taxas de saturação a 30%	68
6 Conclusões e Trabalhos Futuros	71
7 Referências Bibliográficas	74

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 2.1 – Repartição modal típica função da extensão da viagem (adp. Pita, 2003).....	3
Figura 2.2 – Dimensões (mm) de larguras mínimas à circulação de pessoas com mobilidade condicionada (Austroads, 1988).....	5
Figura 2.3 – Relações entre velocidade e espaços pedonais (Seco et al, 2008)	6
Figura 2.4 – Evolução do nº vítimas de 2010-2017 (ANSR).....	7
Figura 2.5 – Figura 2.5: Nº de atropelamentos c/ vítimas a 30 dias de 2010-2017 (ANSR).....	7
Figura 2.6 – Passagem para peões (adaptação de Seco et al, 2008).....	11
Figura 2.7 – Sinalização semafórica convencional para veículos.....	12
Figura 2.8 – Sinalização semafórica convencional para peões.....	12
Figura 2.9 – Travessias semaforizadas fora dos cruzamentos (HMSO,1987).....	13
Figura 2.10 – Plano de regulação genérico dos sinais luminosos c/ fase exclusiva de peões.....	14
Figura 2.11 – Critério UK de aplicação de travessias pedonais (1987, HSMO).....	18
Figura 3.1 – Amostra total de peões por escalão etário.....	30
Figura 3.2 – Composição dos grupos de peões por nº de elementos.....	30
Figura 3.3 – Composição do conjunto dos grupos de peões por dimensão e por género.....	30
Figura 3.4 – Composição dos pares e grupos de 3 elementos por géneros e idades.....	31
Figura 3.5 – Velocidades praticadas em momento de atravessamento por género.....	31
Figura 3.6 – Análise dos peões lentos e/ou acelerados em momento de atravessamento.....	32
Figura 3.7 – Obediência/ Desobediência aos sinais luminosos por género e escalão etário.....	33
Figura 3.8 – Velocidades praticadas por indicação luminosa.....	33
Figura 3.9 – Local da travessia B, movimentos automóveis e zonas de atravessamento.....	34
Figura 3.10 – Composição da amostra por escalão etário.....	36
Figura 3.11 – Composição do conjunto dos grupos de peões por nº de elementos.....	37
Figura 3.12 – Composição dos diferentes grupos de peões por género.....	37
Figura 3.13 – Composição dos pares e grupos de 3 elementos por género e idades.....	38
Figura 3.14 – Velocidades praticadas em momento de atravessamento por género.....	38
Figura 3.15 – Análise dos peões lentos e/ou acelerados em momento de atravessamento.....	39
Figura 3.16 – Obediência/ Desobediência ao sinal luminoso por género e idade.....	40
Figura 3.17 – Velocidades praticadas em relação ao sinal luminoso.....	40
Figura 4.1 – Fluxograma da estratégia base – Tempos fixos.....	44
Figura 4.2 – Fluxograma da estratégia atuada base.....	45
Figura 4.3 – Fluxograma da estratégia atuada com apoio preferencial aos peões.....	46
Figura 4.4 – Ciclo semafórico genérico de um sistema atuado c/ fase exclusiva de peões.....	51
Figura 4.5 – Esquema representativo do modelo de simulação.....	58

Figura 5.1 – % Peões deobedientes para cenários em que 25% admite a desobediência.....	64
Figura 5.2 – % Peões desobedientes para cenários em que 50% admite a desobediência.....	65
Figura 5.3 – Atrasos médios por veículo e por BUS – Todas as estratégias – 70% Sat.....	66
Figura 5.4 – Filas médias dos veículos – Todas as estratégias – 70% Sat.....	67
Figura 5.5 – Tempos de paragem médios por peão – Todas as estratégias – 70% Sat.....	67
Figura 5.6 – Atrasos médios por veículo e por BUS – Todas as estratégias – 50% Sat.....	69
Figura 5.7 – Filas médias dos veículos – Todas as estratégias – 50% Sat.....	69
Figura 5.8 – Tempos de paragem médios dos peões – Todas as estratégias – 50% Sat.....	69
Figura 5.9 – Atrasos médios por veículo e por BUS – Todas as estratégias – 30% Sat.....	71
Figura 5.10 – Filas médias de espera dos veículos – Todas as estratégias – 30% Sat.....	71
Figura 5.11 – Tempos de paragem médios por peão – Todas as estratégias – 30% Sat.....	71

ÍNDICE DE QUADROS

Quadro 2.1 - Sequência das indicações luminosas.....	14
Quadro 2.2 - Pormenorização do ciclo e temporização típicos dos atravessamentos Pelican....	16
Quadro 2.3 - Pormenorização do ciclo e temporização típicos das soluções Puffin.....	17
Quadro 2.4 - Tipo de travessia em função da classe da estrada (1988, Austroads).....	18
Quadro 2.5 - Níveis de Serviço de uma travessia semaforizada.....	22
Quadro 3.1 - Débito de veículos por 15 minutos – Local de Atravessamento A.....	28
Quadro 3.2 - Débito de peões por 15 minutos – Local de Atravessamento A	29
Quadro 3.3 - Débito de veículos por 15 minutos - Local de atravessamento B.....	35
Quadro 3.4 - Débito de peões por 15 minutos - Local de atravessamento B.....	36
Quadro 4.1 - Temporização do ciclo base.....	53
Quadro 4.2: Estimativa do ciclo óptimo.....	54
Quadro 4.3 - Parâmetros de modelação dos peões oportunistas.....	56
Quadro 4.4: Parâmetros de modelação dos veículos ligeiros e BUS.....	58
Quadro 5.1 - Indicadores relativos ao desempenho dos veículos - Estratégia Base.....	63
Quadro 5.2 - Indicadores relativos ao atraso médio por peão - Estratégia Base.....	64
Quadro 5.3 - Diferenças em % entre a estratégia atuada com suporte ao peão e as demais estratégias – 70% Sat. - Todos os indicadores de desempenho.....	68
Quadro 5.4: Diferenças percentuais entre a estratégia atuada com suporte ao peão e as demais estratégias – 50% Sat. - Todos os indicadores de desempenho	70
Quadro 5.5 - Diferenças percentuais entre a estratégia atuada com suporte ao peão e as demais estratégias – 30% Sat.- Todos os indicadores de desempenho	72

1 INTRODUÇÃO

1.1 Enquadramento do tema

O tráfego pedonal constitui uma parte substancial do total do tráfego contabilizado diariamente em qualquer rede viária urbana. Caracteriza-se por satisfazer as viagens de curta distância de pessoas e de bens, podendo ainda, assegurar a interligação e transbordo com outros modos de transporte (Pita, 2003). Para além disso, é um modo de deslocação 100% limpo para o ambiente, saudável para os seus praticantes, conferindo ainda uma maior liberdade de movimentos em qualquer ponto da rede, sendo compatível com qualquer tipo ou idade do utilizador (Magalhães, 2010). Apesar destes benefícios, o modo pedonal revela-se como sendo o mais vulnerável, sendo a exposição ao risco tendencialmente superior à associada a outros modos alternativos. Pode, por tudo isto, afirmar-se que este tipo de mobilidade constitui uma parte inerente e fulcral ao funcionamento de qualquer sistema de transportes, o que justifica que a rede pedonal, nomeadamente os pontos de conflito com outros meios de transporte, devam ser estudados e tratados com vista a serem assegurados maiores níveis de conforto e de segurança. Torna-se assim fundamental que a conceção da rede pedonal seja adequada e funcional, tendo por base as boas práticas a nível nacional e internacional. Entre outros princípios fundamentais, a rede pedonal deve procurar minimizar a distância de percurso, ser legível, contínua, atrativa, segura e inclusiva, sendo acessível a todos os grupos etários, tipos de utilizadores e, inclusive, aos utilizadores de mobilidade reduzida (Seco et al, 2008).

É sobre o tratamento dos pontos de conflito com os eixos rodoviários, portanto as travessias pedonais, que a presente dissertação incide. Existem diversas soluções para assegurar o atravessamento dos peões, sendo a seleção da solução, a mais adequada a cada situação, o resultado da ponderação, de forma diferenciada para cada caso, de diversos fatores e variáveis. Estas podem ser, por exemplo, os débitos de veículos e de peões, as velocidades das correntes automóvel e pedonal, as dimensões da via, bem como a existência ou não de medidas de apoio. De modo a promover uma maior segurança e conforto nas travessias, avalia-se, nesta dissertação, o potencial de desempenho de diferentes estratégias de regulação semafórica.

1.2 Objetivos e Metodologia de Trabalho

Esta dissertação tem como principal objetivo a avaliação das vantagens e desvantagens associadas a estratégias distintas de regulação semafórica nos atravessamentos de peões. Procurando traduzir isto na redução dos conflitos peão-veículo e/ou dos tempos de espera ou de atraso, e na melhoria do nível de serviço. Esta dissertação tendo como referência o desempenho da estratégia de controlo semafórico mais básico, de temporização fixa, avalia, em

alternativa, o desempenho de duas estratégias atuadas distintas, tendo uma delas a prioridade colocada no movimento pedonal.

De modo a reproduzir a variabilidade que as condições de tráfego assumem na realidade, foi definido um conjunto de cenários que integra a variação de três fatores: (1) o fluxo de peões que deseja atravessar a via; (2) a obediência face à indicação luminosa; (3) o fluxo de tráfego motorizado. As diferentes estratégias serão avaliadas nos diferentes cenários.

Para o efeito, as análises comparativas foram suportadas pela construção de um modelo de microsimulação baseado no *software* da especialidade, AIMSUN, permitindo gerar simulações fidedignas para cada estratégia nos diferentes cenários. Utiliza-se, também, um *plug-in* que introduz a possibilidade de tratar os movimentos pedonais de forma mais fiel pois não os confina a vias pedonais, atribuindo-lhe liberdade de movimento em áreas pedonais definidas. A conceção do modelo em estudo passou por três etapas: (i) a modelação dos veículos; (ii) a modelação dos peões e; (iii) a modelação das estratégias de controlo semafórico dos ambientes viários. Concluindo, de forma a reproduzir as diferenças comportamentais entre os peões obedientes e os que admitem a desobediência às indicações luminosas, a modelação dos peões realizou-se em duas etapas.

1.3. Estrutura da Tese

O corpo desta dissertação divide-se em seis capítulos. O presente capítulo integra a introdução e aborda as motivações e aspirações do trabalho realizado. Segue-se uma recolha bibliográfica da especialidade, onde se congregam os conceitos mais relevantes ao presente estudo. O terceiro capítulo caracteriza o comportamento dos peões em momento de atravessamento, informação apresentada com base em observações reais. No quarto capítulo é apresentada a metodologia de abordagem às modelações realizadas, definindo-se as estratégias a serem testadas e o modelo base deste estudo. No quinto capítulo é realizada a análise e discussão dos resultados obtidos. Concluindo-se com o sexto capítulo onde são apresentadas as principais conclusões desta dissertação e apresentadas sugestões de trabalhos futuros.

2 TIPOLOGIAS E ESTRATÉGIAS DE CONTROLO DE ATRAVESSAMENTOS PEDONAIIS: CONCEITOS BASE

2.1 A importância do tráfego pedonal

2.1.1 Enquadramento

Como já dito, as viagens pedonais representam uma parte significativa do total de viagens contabilizadas em qualquer sistema de mobilidade, assumindo um peso preponderante em viagens de curta extensão, até 1km de distância da origem (ver figura 2.1). De igual forma, admitindo que cada indivíduo é, à partida, dotado da capacidade de mobilidade, trata-se de um direito fundamental de todos os cidadãos o direito à mobilidade em comodidade e segurança. É, portanto, fundamental que as diretrizes políticas incentivem o planeamento das cidades para que o trânsito pedonal seja possível e desejável (Magalhães, 2010).

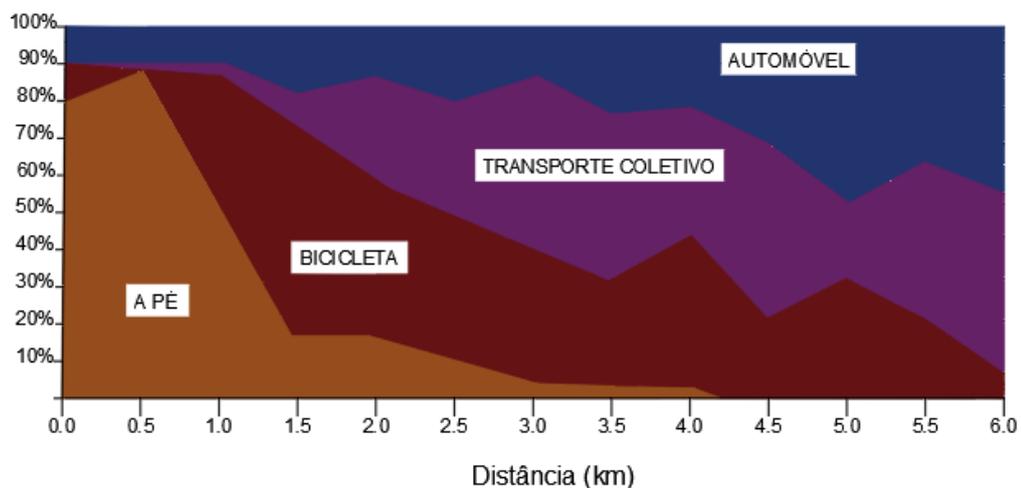


Figura 2.1: Repartição modal típica função da extensão da viagem (adaptação de Pita, 2003)

No entanto, durante quase todo o século XX assistiu-se a um planeamento da cidade privilegiando o trânsito motorizado, nomeadamente o transporte individual, tais eram as vantagens e o presumível incremento na qualidade de vida dos cidadãos que a massificação deste novo modo de mobilidade parecia trazer à população. Tal facto resultou numa expansão acentuada do espaço das cidades trazendo vida aos arredores das urbes criando muitas vezes zonas dispersas e segregadas por tipo de atividade e redes de conectividade precárias (Flórez, 1998 e Rodrigue et al., 2006). Com o êxodo das partes mais centrais da cidade cria-se o “efeito donnut”.

Percebeu-se mais tarde que esta segregação de pessoas e bens para fora dos centros urbanos desencadeou uma degradação da qualidade urbanística, cultural e social dos centros mais antigos das cidades, tornando esses espaços menos convidativos às atividades normais da cidade, havendo um desinteresse generalizado pelo investimento quer público quer privado nessas áreas (Queirós, 2007).

É na década de 80 que se acentuam as preocupações quer sobre a degradação do ambiente quer sobre a falta de sustentabilidade urbanística, verificada com a crescente afluência do tráfego automóvel aos centros urbanos. Começou-se então a olhar para o tráfego pedonal como uma mais-valia generalizada para reduzir o volume de tráfego automóvel, fomentando as viagens pedonais de proximidade e a sua combinação com o transporte coletivo. Tal princípio justificou investimentos no sistema pedonal. Criaram-se infraestruturas seguras e coesas com conexão a redes de transportes coletivos eficientes, modificando a realidade política, social, económica e ecológica das cidades (Wheeler, 2004).

2.1.2 Tráfego pedonal: Caracterização física

O peão, como unidade de tráfego pedonal, merece uma atenção especial ao nível do espaço necessário ao desenvolvimento da sua mobilidade e das suas atividades quotidianas, ao nível do seu comportamento espectável, como as velocidades de circulação, e, também, ao nível da sua capacidade mental e física.

Portanto, o conjunto dos peões não se pode dizer homogéneo devido às diferenças de idade, género, estatura, e capacidades mentais ou motoras (Seco et al, 2008). As crianças, idosos e portadores de deficiências são assim considerados grupos de peões vulneráveis com necessidades especiais. Por exemplo, as crianças por serem de estatura pequena podem facilmente ser ocultadas pelo mobiliário urbano e, além disso, até cerca dos onze/doze anos de idade não têm a capacidade de compreensão dos perigos que as envolvem completamente desenvolvida (Seco et al., 2008). Trata-se por isso de um segmento de peões a que se tem de prestar uma atenção especial desde a fase de planeamento das infraestruturas, designadamente junto a escolas. Os idosos e os portadores de deficiências motoras entram também neste contexto por motivos óbvios, como são as restrições à sua mobilidade e/ou as suas capacidades sensoriais diminuídas.

Para além disto, a área disponível por peão torna-se um fator de relevância. Quanto maior for a área disponível por peão, maior é a liberdade de escolha de velocidade a adotar em função da sua motivação. A figura 2.3 procura elucidar em relação a tal, mediante quatro categorias.

As infraestruturas pedonais devem por isso ser adequadas garantindo condições de conforto e segurança. Neste contexto, e para que se permita um cruzamento entre dois peões sem contacto físico é recomendado como valor médio de largura por peão 80 cm. Para o grupo de peões com mobilidade reduzida, os valores de referência a adotar para as larguras vitais à sua circulação

são os apresentados na figura 2.2; também no caso de utilizadores de cadeira de rodas, há que ter em atenção a manobrabilidade e o espaço requerido, sendo a referência (Austroads, 1988) um raio de 915mm o mínimo necessário para girar a cadeira de rodas.

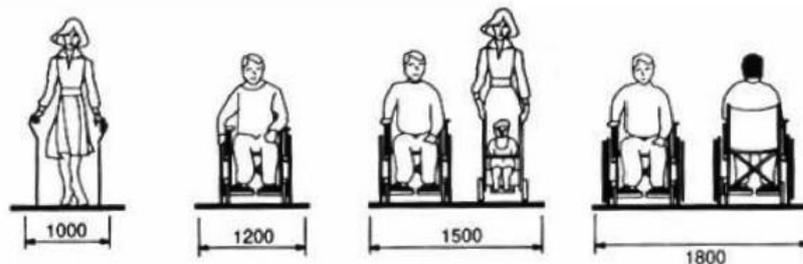


Figura 2.2: Dimensões (mm) de larguras mínimas à circulação de pessoas com mobilidade condicionada (Austroads, 1988)

De acordo com o Decreto-lei nº 163 de 2006, secção 1.2 – sobre passeios e caminhos de peões, “os passeios adjacentes a vias principais e vias distribuidoras devem ter uma largura livre não inferior a 1,5 m”, abrindo uma exceção aos “pequenos acessos pedonais no interior de áreas plantadas, cujo comprimento total não seja superior a 7 m, podem ter uma largura livre não inferior a 0,9 m”.

Uma característica fundamental ao estudo do modo pedonal é a velocidade de circulação pedonal. A velocidade de determinado peão estará sempre relacionada com todo um conjunto de diversos fatores: o volume de peões, o espaço disponível, a idade do peão, a infraestrutura em que se caminha, a hora do dia e o motivo da viagem (Zheng et al, 2016). As condições de circulação são também importantes para justificar as velocidades praticadas. Também o nível de serviço oferecido pelo eixo pedonal interfere na velocidade pedonal adotada, em particular se houver um elevado número de idosos. Considera-se como mínimo do valor de velocidade pedonal os 0.75m/s, e como máximo os 2.4m/s, sendo que é referível como valor médio os 1.2m/s (Austroads, 1988).

As condições de circulação referidas anteriormente serão tanto melhores quanto maior for a área disponível por peão para que haja uma livre escolha da velocidade a adotar como a figura 2.3 elucida, em função das quatro categorias em termos de motivação: compras, pendulares, estudantes e outros:

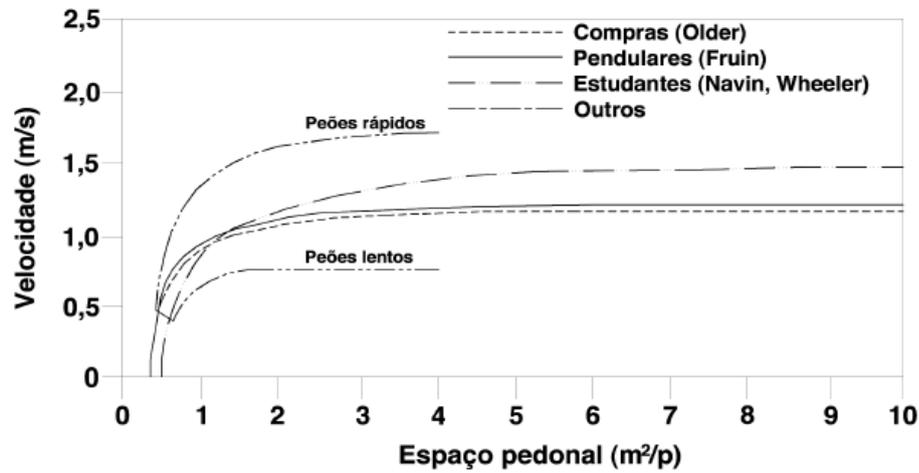


Figura 2.3: Relações entre velocidade e espaços pedonais (Seco et al, 2008)

Definindo como débito pedonal por largura (v_{ped}) o número de peões que passam por minuto pela largura de qualquer linha imaginária perpendicular ao eixo pedonal ($p/min/m$) pode seguir-se a relação fundamental para variáveis macroscópicas observável em tráfego de veículos, sendo então esta variável (v_{ped}) proporcional à velocidade pedonal (S_{ped}), e à densidade pedonal (D_{ped}) que indica o número de peões por metro quadrado em determinado instante num eixo pedonal ou numa zona de espera (p/m^2) (ver a equação 1).

$$v_{ped} = S_{ped} * D_{ped} \quad (1)$$

Da mesma forma e invertendo a densidade (D_{ped}), define-se a área média ocupada por peão (M) expressa em m^2 , que será, portanto, inversamente proporcional ao débito pedonal (V_{ped}), (ver equação 2).

$$V_{ped} = \frac{S_{ped}}{M} \quad (2)$$

Estas são variáveis fundamentais ao estudo do nível de serviço de qualquer parte integrante do conjunto das infraestruturas pedonais que se refira ao livre trânsito dos peões.

O conjunto das infraestruturas pedonais deverá ser planeado para que o seu uso seja acessível a todos os grupos de peões e é composto pelos eixos pedonais (passeios ou ruas pedonais), as zonas de interface modal (paragens de autocarro, estações de comboio, parques de estacionamento...), e os atravessamentos da rede viária (passagens para peões com ou sem sinalização semaforizada). Para a estimativa do nível de serviço, há ainda que ter em consideração o espaço ocupado pelo diferente mobiliário urbano, sendo que este reduz as larguras ou áreas brutas a larguras ou áreas úteis.

Do conjunto das infraestruturas pedonais, os atravessamentos da rede viária são os que mais condicionam os níveis de serviço do conjunto via/atravessamento, condicionando desde logo a segurança do peão, sendo necessário um esclarecimento sobre a interação entre tráfego pedonal e motorizado.

2.1.3 Interação entre o tráfego motorizado e pedonal

A interação entre os tráfegos pedonal e motorizado não é constante e depende de inúmeros fatores, como seja o fluxo pedonal e motorizado que afluem a um mesmo ponto da rede de transportes, as infraestruturas desse ponto, a ocorrência ou não de algum evento especial ou de evacuação que envolva esse ponto da rede. Meschini e Gentile (2009) classificam os diferentes níveis de interação entre os tráfegos pedonal e motorizado em ordem de crescente complexidade:

➤ **Interação Normal:** os peões circulam exclusivamente pelos eixos pedonais, e efetuam atravessamentos apenas em local próprio, seja ele semafORIZADO ou não;

➤ **Interação Controlada:** associado a um evento especial. Identifica-se por haver um número não muito elevado de peões, sendo possível identificar a localização dos eixos pedonais, sem interação ao longo dos mesmos (interação longitudinal) com o tráfego motorizado. A interação transversal poderá acontecer em vários pontos da via, em local próprio ou não;

➤ **Interação Aleatória:** associado a um evento especial e/ou de evacuação, que pela forte afluência de peões, provoca a circulação dos mesmos não só nos respetivos eixos pedonais como se começa a observar a invasão das vias de automóveis. Esta invasão, normalmente pela lateral junto ao eixo pedonal, cria uma espécie de atrito lateral peão-veículo do qual resulta uma redução do nível de serviço sentido em ambos os tráfegos;

➤ **Interação Caótica Concordante:** correspondente a um cenário de evacuação onde os tráfegos pedonais e motorizados se misturam sendo, no entanto, observada uma movimentação concordante, portanto no mesmo sentido de ambos os tráfegos, por faixa;

➤ **Interação Caótica Conflituante:** correspondente ao nível mais agressivo e conflituante de interação. Acontece também em cenários de evacuação, onde é impossível separar os tráfegos pedonal e motorizado com a adoção aleatória de sentido do percurso por parte dos peões.

2.2 Sinistralidade que envolve peões

Embora estes níveis de interação sejam de graus de complexidade diferentes, em todos eles há potencialidade para acidentes. No plano geral, segundo as informações periódicas publicadas pela Autoridade Nacional de Prevenção Rodoviária (ANSR), entre o início de Janeiro e 15 de Novembro de 2018, o número de acidentes em território nacional continental somou as 114850 ocorrências, destes resultaram 435 mortes e 1819 feridos graves. Analisando a evolução destes

dados desde 2010 percebe-se que o total de número de acidentes com vítimas a 30 dias (mortais, graves ou leves) tem vindo a aumentar desde 2012 (ver figura 2.4).

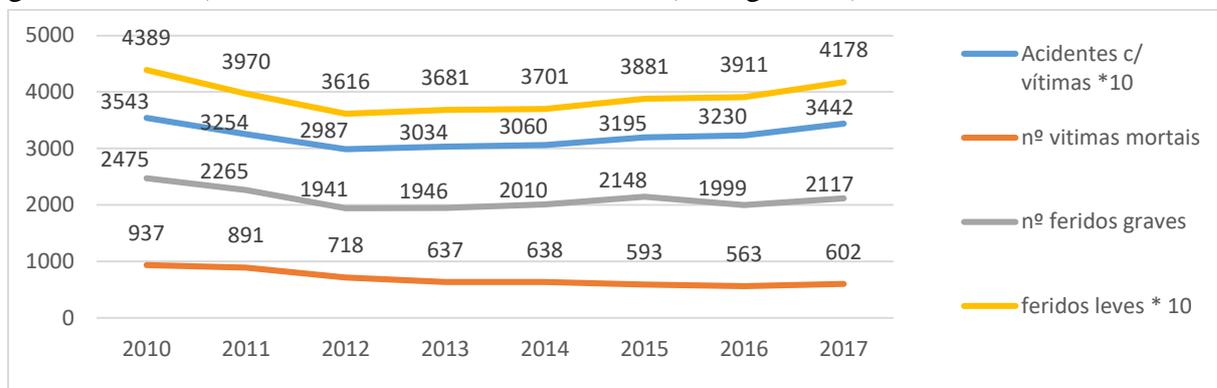


Figura 2.4: Evolução do nº vítimas de 2010-2017 (ANSR)

Analisando os dados relativos a acidentes que envolveram atropelamentos desde 2010, com base nos relatórios de sinistralidade anuais, constata-se que após 2014 o número de atropelamentos de peões tem vindo a aumentar, sendo os valores relativos a 2017 os mais preocupantes dos últimos 5 anos, como se pode observar na figura 2.5.

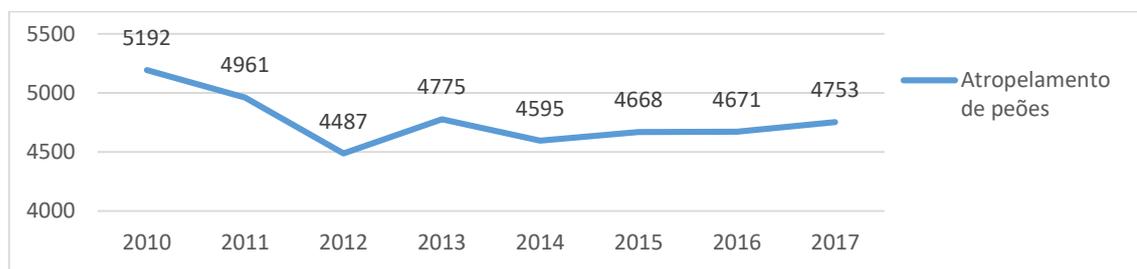


Figura 2.5: Nº de atropelamentos c/ vítimas a 30 dias de 2010-2017 (ANSR)

Num documento publicado pelo IST em 2006 (Dias e Paula, 2006), acerca da sinistralidade pedonal em Portugal, verifica-se que 27,4% das vítimas de atropelamentos surgiram em passagens para peões. Resultados de inquéritos feitos aos peões quanto às causas dos atropelamentos mostram que 81% admitem atravessar a via fora do local próprio, mesmo existindo uma na proximidade, 91,5% admitem ignorar o sinal vermelho dos semáforos quando não há veículos, e 100% dos entrevistados nunca foi alvo de multa como peão. Identificam-se, assim, como principais factores na intensão da sinistralidade pedonal em Portugal a indisciplina dos peões, bem como as velocidades praticadas pelos veículos.

Apresentam-se como mais-valias para a redução da sinistralidade pedonal a imposição de medidas de acalmia de tráfego em zonas que assim o exijam, bem como a redução das velocidades médias nas vias e dos tempos de espera dos peões nos semáforos.

De forma a combater os números apresentados relativos à sinistralidade pedonal em Portugal, a ANSR tem promovido o desenvolvimento de documentos estratégicos de combate à sinistralidade rodoviária, encontrando-se em vigência o Plano Estratégico Nacional de Segurança Rodoviária para o quadriénio de 2016-2020, PENSE 2020 (Resolução do Conselho de Ministros n.º 85/2017). Este documento congrega as várias diretrizes e âmbitos de ação a reter para que se reduza o número global de acidentes ocorridos em Portugal, e, quanto aos atropelamentos e segurança pedonal, segundo o Objetivo Operacional nº 6: *Melhorar a proteção dos utilizadores vulneráveis*, e a ação nº 14: *Plano nacional de proteção e de combate aos atropelamentos* podem ler-se medidas de ação que procuram promover uma campanha nacional dirigida aos peões e condutores. Esta campanha promove a utilização correta e apropriada dos equipamentos para peões, desenvolve e implementa programas de educação rodoviária, executa ações de fiscalização de condução so o efeito do álcool, entre outros comportamentos de risco, como utilizar o telemóvel. Concluindo, é de notar como esta campanha também procura identificar, avaliar e promover a melhoria de localizações de elevado risco de atropelamento mediante soluções de alteração de configuração, por exemplo, como também tem vindo a desenvolver e a aprovar regras mais exigentes no licenciamento de obras, de modo a garantir a acessibilidade pedonal, estabelecendo metas com as câmaras municipais relativamente à redução de peões vítimas mortais e feridos graves nos seus planos municipais de segurança rodoviária.

Reafirma-se, então, que os peões são os utilizadores mais vulneráveis de todo o sistema de transportes urbano, e como o tráfego pedonal constitui uma parte essencial das deslocções urbanas. É ainda notório que as soluções infraestruturais devem garantir elevados níveis de conforto e de segurança. Desde logo, um adequado *layout* da rede pedonal e o devido tratamento dos correspondentes pontos de conflito com a rede rodoviária revelam-se fundamentais ao adequado funcionamento dos sistemas de transportes urbanos. Mas, são as travessias pedonais, por representarem os pontos de interseção formal com a rede rodoviária, que representam frequentemente os principais pontos de conflito do tipo veículo-peão e que, portanto, deverão merecer um cuidado particular por parte dos responsáveis pela gestão da rede viária urbana. Concluindo, assume particular relevância para a segurança rodoviária, a definição de regras que permitam localizar os atravessamentos pedonais formais em locais apropriados e a adequação das diferentes tipologias de soluções às características do contexto urbano concreto a cada caso estudado.

2.3 Tipologias de travessias pedonais e seu dimensionamento

2.3.1 Enquadramento

Uma parte fundamental da rede pedonal são as passagens destinadas a assegurar o atravessamento dos peões na faixa de rodagem, nas devidas condições de segurança e de

comodidade, sem prejuízo da circulação dos outros tipos de utilizadores envolvidos. Para tal, devem ser concebidas de forma a garantir trajetos contínuos e diretos, incrementando a sua atratividade e, inerentemente, o seu nível de utilização. Há ainda que ter em consideração os níveis de prioridade relativos entre peões e veículos tendo por base a classe da via numa estrutura funcional hierarquizada.

Para avaliar a necessidade da implementação de uma travessia em determinado local deverá ter-se em consideração: se existe nas proximidades um pólo gerador de peões como escolas, hospitais e lares da 3ª idade; se registam muitos conflitos entre veículos e peões, resultando nos últimos serem penalizados sujeitando-se a elevados tempos de espera para conseguir efetuar o atravessamento; finalmente, quando numa extensão superior a 100 metros se verificar um número significativo de atravessamentos que coloquem em risco os peões e/ou estes atrassem a circulação automóvel, justifica-se a materialização de uma travessia que concentre todos os atravessamentos e gira mais eficazmente os tráfegos pedonal e motorizado (Seco et al., 2008).

Segundo a Agência de Transportes Neozelandeza (NZTA, 2009), existem quatro principais razões para a formalização de travessias pedonais¹, sendo elas:

- **Nível de Serviço:** quando as oportunidades de atravessamento disponíveis aos peões estão abaixo do nível de serviço desejado, existe procura suficiente incluindo a procura suprimida.
- **Segurança:** quando os acidentes contabilizados na vizinhança ou em locais específicos podem ser reduzidos pela implementação de apoio à travessia.
- **Provisão de acessos específicos a grupos especiais de peões:** quando há nas imediações escolas e/ou instalações dedicadas a serviços a deficientes visuais e físicos.
- **Integração:** quando se conectam redes de transportes em determinada área.

Depois de confirmada a necessidade de implementação de uma travessia pedonal num determinado local é projetado o tipo de travessia mais adequado, tendo por base as condições topológicas das vias a atravessar e as condições de tráfego esperadas no local. As travessias podem dividir-se da seguinte forma (Seco et al., 2008):

- **Travessias desniveladas** – Recomendáveis para integrar em vias sujeitas a elevados volumes de tráfego viário normalmente associados a velocidades também elevadas, como é o caso de vias coletoras e de distribuidoras principais. Neste tipo de vias, as passagens para peões de nível são desaconselhadas exceto se semafORIZADAS, por conferirem uma maior ameaça á segurança dos peões que a pretendem atravessar (designadamente face às velocidades praticadas), ao mesmo tempo que tendem a comprometer a fluidez e capacidades desses eixos estruturantes.

¹ Informação disponível em: <http://www.nzta.govt.nz/resources/pedestrian-planning-guide/docs/guidelines-selection-of-pedestrian-facilities.pdf>

➤ **Travessias de nível** – Aplicáveis a vias inseridas na rede local e distribuidoras principais, sujeitas a volumes de tráfego reduzido e a velocidades controladas como é o caso de zonas residenciais ou centrais. Pode ainda equacionar-se a implementação de um separador central para permitir o atravessamento em duas fases, o que se pode tornar extremamente útil, enquanto medida de redução da largura da faixa de rodagem.

2.3.2 Soluções não semaforizadas: Passagens para peões

A solução mais simples e mais económica de uso corrente é a passagem para peões. São implementadas recorrendo a sinalização horizontal dos tipos M11 (passagem para peões) e a sinalização vertical do tipo H7 (passagem para peões) do Regulamento de Sinalização de Trânsito. Por atribuir a prioridade de passagem ao peão, este tipo de travessia só deve ser aplicado em zonas onde a velocidade de circulação é inferior a 50 km/h, de forma a garantir que os condutores conseguem imobilizar o veículo em segurança e comodidade. As dimensões regulamentares das passagens para peões são as representadas na figura 2.6.

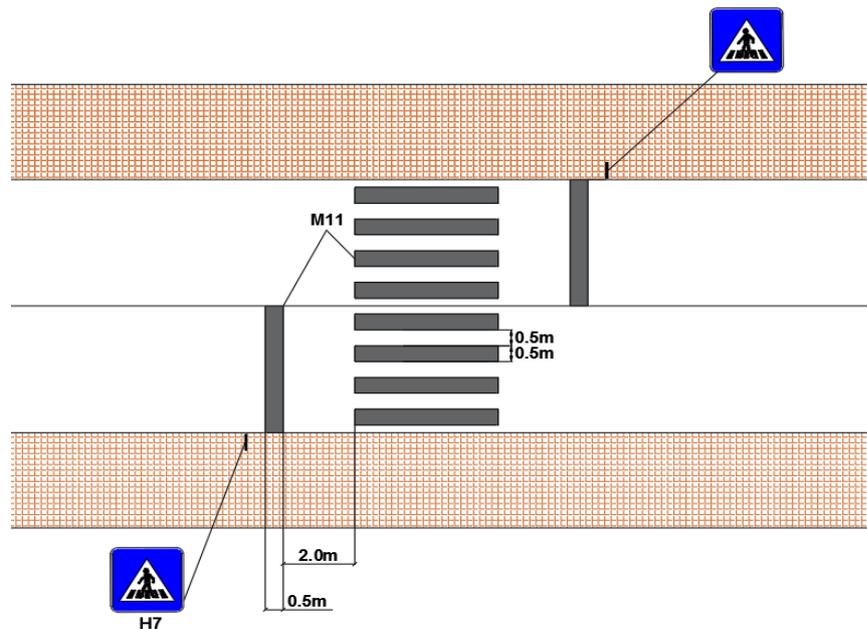


Figura 2.6: Passagem para peões (adaptação de Seco et al, 2008)

As passagens para peões referidas anteriormente podem ainda surgir associadas a alguns dispositivos de apoio que pretendem alertar os condutores para a tomada acrescida de precaução pela proximidade do atravessamento. A título de exemplo, pode recorrer-se a sensores de infravermelhos que detetam a presença de peões na entrada da travessia, e que por conseguinte ativam uma série de lâmpadas *led* que se encontram embutidas no pavimento ao longo da largura da travessia, em simultâneo com feixes de luzes que são ativados acima do pavimento em direção ao tráfego que se desloca de encontro à pedestre. O tempo base de intermitência das luzes depende do comprimento de atravessamento e da velocidade pedonal tomada como

referência. Se for detetada a presença de peões que chegam sucessivamente à entrada da travessia, o tempo de *flash* das luzes é estendido, até que todos os peões tenham terminado o atravessamento da via.

2.3.3 As travessias pedonais: soluções semaforizadas

Soluções reguladas por sinais luminosos são adequadas a condições significativas de procura de tráfego aliadas a um nível de segurança deficitário para os peões (velocidades praticadas elevadas, ou volumes elevados de veículos ou peões). Estas travessias podem situar-se em cruzamentos ou em seção corrente, estando habitualmente associados a um controlo atuado por uma botoneira na entrada da passadeira que reconhece a prioridade a dar à fase de peões no sistema semaforico. As soluções semaforizadas são uma ferramenta de controlo de tráfego que permite separar no tempo as correntes conflituantes, sejam de veículos sejam de peões, em cruzamentos ou em estrada corrente. Estes sistemas luminosos consistem em conjuntos de três cores de luzes direccionadas aos condutores dos veículos, verde, amarelo e vermelho, e de duas cores para o reconhecimento dos peões, o verde e o vermelho (ver figuras 2.7 e 2.8). Quando a cor da luz ativa é o verde o utilizador (peão ou condutor) é autorizado a avançar; quando é a vermelha, o utilizador deve parar e aguardar pela luz verde. A cor amarela, somente atribuída aos veículos, alerta os condutores para a transição do verde para a cor vermelha, pelo que devem parar preferencialmente, a menos que não tenham tempo de o fazer em segurança e nesse caso devem avançar. Refira-se que nunca o sistema confere a cor verde em simultâneo a peões e veículos, pois isso resultaria no conflito gratuito dos dois movimentos.

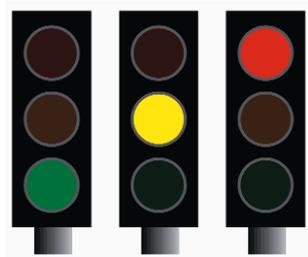


Figura 2.7 - Sinalização semafórica convencional para veículos



Figura 2.8 - Sinalização semafórica convencional para peões

No caso de soluções que asseguram a travessia em estrada corrente onde normalmente as velocidades praticadas podem ultrapassar os 50km/h, é de prática corrente colocar uma travessia regulada por sinais luminosos atuada por botoneira destinada aos peões. Isto porque não sendo um cruzamento não existe outro movimento conflituante motorizado, e à partida o volume de peões tende a ser moderados e as velocidades praticadas elevadas.

Quanto à geometria destas travessias ainda fora de cruzamentos, esta está essencialmente dependente da largura da faixa de rodagem. Como já foi referido, se a largura for elevada e

incompatível com o atravessamento de uma só vez, deve ser preferencialmente prevista a construção de um separador central, que permita o atravessamento em duas fases. Neste caso, pode implementar-se uma travessia enviesada, em que o peão será encaminhado a iniciar a segunda fase do atravessamento uns metros ao lado do local onde efetuou a primeira fase do atravessamento. Nestas travessias considera-se necessária a existência de guardas verticais que protejam os peões, ao mesmo tempo que os encaminham para o local onde de facto devem atravessar. Contudo, em travessias onde não se justifica a existência de separador central, é comum e desejável que a travessia seja contínua, portanto transversal à faixa de rodagem. A figura 2.9 elucida as diferentes tipologias de travessias pedonais reguladas por sinais luminosos.

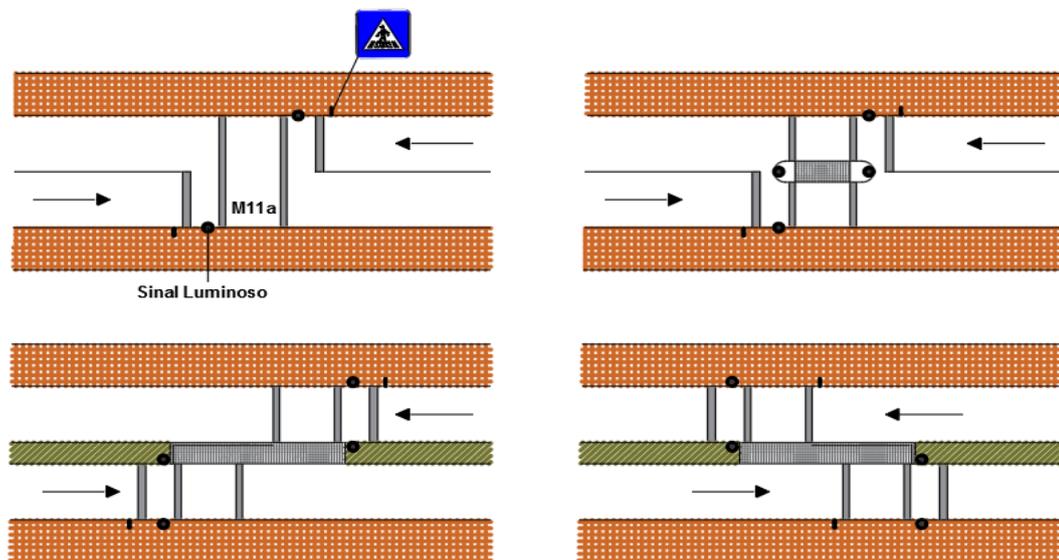


Figura 2.9 - Travessias semaforizadas fora dos cruzamentos (adaptado de HMSO,1987)

O estacionamento de veículos deverá ser proibido nas imediações do local de travessia, de forma a reduzir os obstáculos que diminuem a visibilidade quer dos peões sobre os veículos, quer dos veículos sobre os peões.

Quanto à temporização do plano de regulação dos sistemas semaforicos, esta pode ser definida por tempos fixos ou, mais desejavelmente, pode recorrer-se a sistemas atuados, materializados por um botão, que quando pressionado pelo peão, informa o sistema sobre a necessidade de ativar a fase de peões. A fase de verde dos peões divide-se em verde fixo e verde intermitente, sendo que o fixo sugere que se pode avançar para o atravessamento com segurança e tempo de o fazer, enquanto o intermitente avisa para o fim do período de permissão pedonal, sugerindo ao peão que acaba de chegar à travessia que não é seguro iniciar o atravessamento nesse momento (ver figura 2.10 e quadro 2.1).

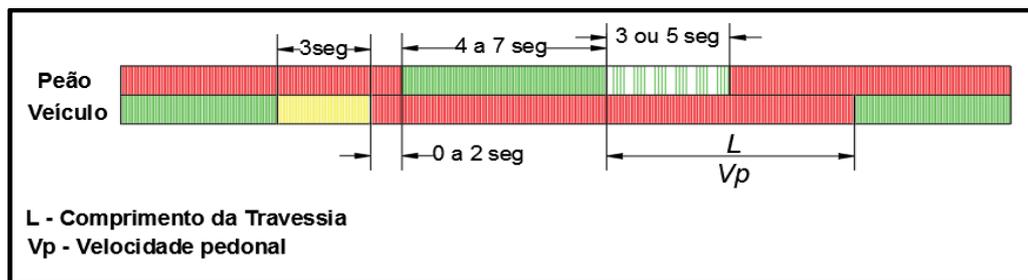


Figura 2.10 - Plano de Regulação genérico dos sinais luminosos com fase exclusiva de peões.

Quadro 2.2: Sequência das indicações luminosas

Peão	Veículo	Ação
		Avanço dos veículos
		Aviso de mudança de sinal para os veículos
		Tempo de limpeza veículos/peões
		Avanço dos peões
		Incluído no tempo de limpeza. Peões não devem começar o atravessamento
		Tempo de limpeza peões/veículo

O Decreto-Lei n.º 163/2006 de 8 de agosto, refere como boas práticas neste âmbito os seguintes pontos:

➤ “O sinal verde de travessia de peões deve estar aberto o tempo suficiente para permitir a travessia, a uma velocidade de 0,4 m/s, de toda a largura da via ou até ao separador central, quando ele exista”. Pode aqui referir-se que a velocidade recomendada citada acima, se revela extremamente penalizadora para a gestão global do sistema de transportes em Portugal. Como já referido no capítulo 2.1. a velocidade é uma característica fundamental para caracterização do tráfego pedonal, sendo, a par da largura da faixa de rodagem, o principal fator a considerar no planeamento de travessias pedonais, sendo por isso alvo de estudo científico. O estudo (Bastos Silva et al., 2013) constata a discrepância entre os valores de velocidade medidos em atravessamentos formais e os valores de referência legais para o dimensionamento das travessias, na gestão global do tráfego. As principais conclusões do referido estudo apontam para a prática de velocidades pedonais médias de atravessamento de 1,22m/s, com um mínimo de 0,63m/s e um máximo de 1,83m/s, indo ao encontro da informação disponível na literatura da especialidade que aponta para velocidades de referência entre os 1m/s e os 1,2m/s. Um facto a salientar é o de que se registaram maiores velocidades médias em atravessamentos dotados

de sistemas semafóricos, na ordem dos 1,24m/s, facto devido talvez à noção de urgência de efetuar o atravessamento antes que o sinal luminoso passe a vermelho.

➤ “Os semáforos que sinalizam a travessia de peões instalados em vias com grande volume de tráfego de veículos ou intensidade de uso por pessoas com deficiência visual devem ser equipados com mecanismos complementares que emitam um sinal sonoro quando o sinal estiver verde para os peões”.

2.3.3.1 Atravessamentos do tipo *Pelican*

Estas são soluções cujo objetivo é o de diminuir os atrasos dos veículos relativamente às soluções a tempos fixos. A nomenclatura *Pelican* refere-se a **PE**destrian **LI**ght **CON**trolled Crossing, e tem por base de operação um sistema luminoso que disponibiliza um botão que o peão deve accionar para informar o sistema semafórico que tenciona atravessar a via. Com origem na Grã-Bretanha, em 1969, e de implementação primeiramente regulada pelo ‘*Department of Transportation*’ até 1979, rapidamente se disseminou por vários locais no Reino Unido. Quando em 1979 se liberou a sua utilização, estando então apenas a cargo das autoridades locais, assistiu-se à difusão em massa deste tipo de solução por todo o Reino Unido. Na base do seu modo de funcionamento estão sinais luminosos nos extremos da travessia, com três possíveis sinais, vermelho, verde e verde intermitente, que indicam ao peão se terá de esperar ou se pode avançar para o atravessamento. Junto com o sistema luminoso e acessível a todos os peões, deverá estar um botão que deverá ser pressionado pelo peão que tenciona cruzar a via. Também quanto a este nível, o Decreto-Lei n.º 163/2006 de 8 de agosto tece algumas considerações quanto à posição do botão, recomendando que o mesmo deve ser acessível a uma distância do piso compreendida entre os 0,8m e os 1,2m.

Mais detalhadamente, as normas do *Department for Transport UK*, (DfT,1995), a respeito do ciclo deste tipo de soluções divide-se em sete períodos, com indicações sobre as suas temporizações após o momento da atuação do botão (ver quadro 2.2).

Quadro 2.2: Pormenorização do ciclo e temporização típicos dos atravessamentos *Pelican*

Período	Peão		Veículos		Duração (s)	A variar com:
	Sinal	Utilização	Sinal	Utilização		
A				Verde fixo: movimento automóvel em curso	20 a 60. se fixo; 6 a 60 se atuado	Volume de tráfego
B		Vermelho fixo: não avançar		Amarelo: Aviso de paragem se for possível em segurança	3	Fixo
C					1 a 3	Atuação dos Veículos
D		Verde fixo: convite ao atravessamento		Vermelho fixo: Não avançar	4 a 7	Largura da via; presença de peões especiais
E		Verde intermitente: não iniciar o atravessamento			0 ou 2	Condições locais
F				Avançar só se não houver peões em travessia	6 a 18	Largura da via
G		Vermelho fixo: Não avançar			1 ou 2	Largura da via

2.3.3.2 Soluções do tipo 'Puffin'

Na sequência das soluções do tipo *Pelican*, surgiram as do tipo *Puffin* que trabalham a questão da fluidez do tráfego, quer pedonal quer viário. Querem principalmente reduzir a sensação de frustração que o condutor sofre quando é forçado a parar para ninguém efetuar a travessia, aumentando a fluidez viária. Permitem ainda otimizar o tempo de limpeza pedonal caso seja necessário. Para tal, utiliza detetores de peões colocados na entrada da travessia e ao longo da mesma que reconhecem ou não a presença de peões. Os detetores de entrada cancelam a fase pedonal no caso de não detetar peão em espera, mesmo que o botão tenha sido pressionado previamente. Os distribuídos ao longo da travessia permitem efetuar uma extensão na duração do tempo de limpeza da fase pedonal, permitindo satisfazer as necessidades de procura da travessia de forma mais segura. A fase pedonal é chamada a pedido do peão através do botão em simultâneo com a deteção do peão na berma junto à travessia. Caso o detetor na berma reconheça a presença do peão nos 2 a 4 segundos seguintes à chamada do botão, o ciclo começa. As temporizações sugeridas pelo *Department for Transport UK* (Dft, 1995) são as do quadro 2.3:

Quadro 2.3: Pormenorização do ciclo e temporização típicos das soluções *Puffin*

PERÍODO	Peão		Veículos		Duração (s)	A variar com:
	Sinal	Utilização	Sinal	Utilização		
A		Vermelho fixo: não avançar		Verde fixo: movimento automóvel em curso	20 a 60 se fixo; 6 a 60 se atuado	Volume de tráfego
B				Amarelo: Aviso de paragem se for possível em segurança		
C		Verde fixo: convite ao atravessamento		Vermelho fixo: Não avançar	1 a 3	Atuação dos Veículos
D					4 a 7	Largura da via; presença de peões especiais ou refúgio central
E					Vermelho fixo: Não iniciar o atravessamento	1 a 5
F		Vermelho fixo: fim do tempo de atravessamento		Vermelho fixo: Não avançar	0 a 22 (extensível)	Largura da via
G		Vermelho fixo: Tempo de limpeza adicional para os peões			0 a 3 (na presença de peões)	Deteção pedonal
H					0 a 3	Deteção de variações no intervalo de peões
I		Vermelho fixo: Aviso da iminência de verde para os veículos	 	Vermelho e amarelo: Páre	2	Fixo

2.4 Outros Aspetos Dimensionais

Qualquer que seja o tipo de travessia a aplicar, quer-se que a mesma congregue uma série de qualidades como são a continuidade do traçado pedonal, a rapidez de atravessamento, a segurança e visibilidade dos peões, a comodidade e a coesão das diferentes redes de mobilidade. Medidas como aumentar a visibilidade do peão no lugar da travessia, reduzir o comprimento da travessia e a velocidade automóvel praticável na aproximação às mesmas, alertar com recurso a sinalização vertical e horizontal que existe uma passadeira são tidas como boas práticas na conceção dos atravessamentos pedonais. Rebaixar o passeio na zona do atravessamento até à cota da via, ou elevar a travessia até à cota do passeio, ou inserir um indicador sonoro associado aos sinais luminosos, são igualmente medidas de apoio fundamentais designadamente para peões com mobilidade reduzida.

Em Portugal está prevista na legislação um conjunto de boas práticas no âmbito do desenho urbano que promove a acessibilidade e mobilidade para todos. No Decreto-Lei n.º 163/2006 de 8 de agosto, pode ler-se quanto a passagens de nível para peões (seção 1.6. *Passagens de peões*

de superfície), orientações que atendem à minimização da distância de exposição do peão ao risco, bem como à minimização do desconforto na transição entre o passeio e a via de tráfego. inclinação das transições entre o passeio e o ponto de atravessamento.

Há ainda a necessidade de que se atenda à coesão e interação das diferentes redes de mobilidade nomeadamente a rede viária, a de transportes coletivos e a pedonal, indo de encontro ao interesse de todos os utentes da rede bem como à relevância de educar a população para que saiba usar toda a rede de mobilidade, incluindo os atravessamentos, quer do ponto de vista do peão, ciclista, quer do condutor.

2.5 Critérios de instalação das travessias pedonais

Do ponto de vista da engenharia há que tomar em consideração diversos fatores para a adoção da tipologia de travessias mais adequadas a cada caso. A estocasticidade da questão leva a que o conjunto das travessias seja heterogéneo, estando cada travessia dependente do ambiente rodoviário em que se insere, da forma do cruzamento e da classe da via que se quer atravessar, dos volumes de peões e de veículos envolvidos, sendo que os últimos dois fatores dentro da sua imprevisibilidade, variam com a altura do ano, o dia da semana, ou a hora do dia.

Um dos critérios de aplicação de determinada solução de atravessamento pode ser o tipo de via que se quer atravessar. Assim, e através de uma hierarquização viária bem definida, pode perceber-se através do quadro 2.4, a relevância de cada solução para cada classe viária a atravessar.

Quadro 2.4 - Tipo de travessia em função da classe da estrada (Austroads, 1988)

(I – Normalmente recomendável; II – Às vezes recomendável; N.A. – Não aplicável)

Tipo de Travessia	Travessia Desnivelada	Travessia de Nível	
		Zebra	SemafORIZADA
Coletoras	I	N.A.	II
Distribuidoras Principais	II	II	I
Distribuidoras Locais	N.A.	I	II
Acesso Local	N.A.	I	N.A.

Outro critério usado no Reino Unido consiste em usar um indicador de exposição ao risco - PV^2 , resultante da interação entre os volumes de peões por hora e de veículos por hora no período de 4 h de ponta, e perceber qual o impacto de um sobre o outro para a tomada de decisão sobre qual a melhor solução a propor. Através da utilização do ábaco representado na figura

2.11, onde as funções fulcrais à sua interpretação são dadas por parábola definidas por PV^2 é possível retirar as diferentes áreas que delimitam os campos de aplicação privilegiada de cada tipo de solução de atravessamento.

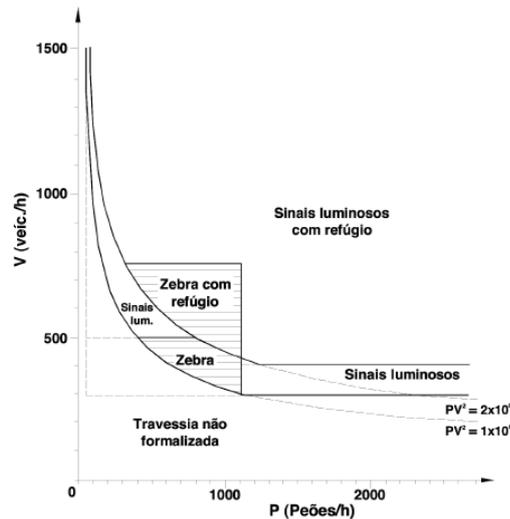


Figura 2.11 - Critério UK de aplicação de travessias pedonais (HSMO, 1987)

2.6 Interação entre o tráfego pedonal e motorizado no atravessamento

Quando o peão pretende atravessar uma via de tráfego motorizado pode optar por fazê-lo de diversas formas e em diversos locais. Essa decisão está relacionada com diversos fatores, (Werberich et al., 2012), como são a velocidade a que circulam os veículos, o número de vias a atravessar, a existência ou não de refúgio central, ou mesmo o mobiliário urbano existente na zona. De seguida serão apresentados os diferentes tipos de comportamento que o peão pode adotar dentro e fora do local destinado ao seu atravessamento.

2.6.1 Atravessamento em Local de Travessia semaforizada

O comportamento do peão em momento de interação com os veículos em travessias semaforizadas depende das características do sistema de controlo de tráfego e dos planos semaforicos da travessia. Os peões não devem interagir diretamente com os veículos quando se lhe é aplicada uma fase específica; somente nas interseções que permitem a viragem à direita dos veículos esse conflito é admissível (Zheng et al., 2016). Assim, a forma como o peão interage com o local de atravessamento reflete a chamada conformidade da travessia em questão. Este conceito de conformidade pode ser relativo ao espaço ou ao tempo e reflete a adequação da utilização da travessia por parte dos peões (Ariotti, 2006). Segundo Sisiopiku e Akin (2003), a conformidade de uma travessia é definida pelas suas conformidades espacial e temporal, como descrito abaixo.

A conformidade espacial é relativa à área de influência da travessia; esta área é dada pela largura da via a atravessar multiplicada pela distância média entre duas travessias consecutivas a contar do ponto médio de cada travessia. Inserida na área de influência está a área da travessia propriamente dita, que é dada pela largura da via multiplicada pela largura da travessia acrescida de três metros para cada lado da mesma. Posto isto, os peões podem adoptar dois tipos de comportamento relativamente ao espaço e ser classificados como:

- *Prudentes*: peões que efetuam o atravessamento no local que lhe é devido, portanto na referida área de travessia;
- *Imprudentes*: peões que efetuam o atravessamento fora da área de travessia.

A conformidade de travessia espacial (CTE) pode ser traduzida pelo índice de conformidade espacial (CTE) dado pela equação seguinte:

$$CTE = \frac{P^{AT}}{P^{AIT}} * 100 \quad (3)$$

Onde P^{AT} representa o número de peões por intervalo de tempo que atravessa na área da travessia; e P^{AIT} representa o número de peões total na área de influência da travessia por intervalo de tempo.

A conformidade temporal é relativa ao respeito pela sinalização semafórica para os peões, e reflete o grau de paciência que os peões demonstram face ao tempo semafórico. Assim, definem-se quanto à conformidade temporal (Liu et al., 2000) dois tipos de peões:

- **Obedientes**: Peões que esperam pela sinalização verde para iniciar a marcha de atravessamento;
- **Oportunistas**: Peões que identificam e aceitam os intervalos na corrente de veículos, atravessando a via durante o sinal vermelho.

A conformidade temporal só válida quando existe conformidade espacial e pode ser traduzida pelo índice de conformidade de travessia temporal (CTT) dado pela equação seguinte:

$$CTT = \frac{P^{TV}}{P^{AT}} * 100 \quad (4)$$

Onde P^{TV} representa o número de peões por intervalo de tempo que atravessa na área da travessia durante o verde pedonal e P^{AT} representa o número de peões total na área da travessia por intervalo de tempo.

Os peões ditos em conformidade com a travessia são aqueles que optam por um comportamento prudente e obediente. Os restantes (imprudentes e oportunistas) constituem assim o grupo de peões que optam pela exposição ao risco. É de salientar que a conformidade das travessias não é linear para qualquer travessia, estando relacionadas com as características de cada local, as características das correntes de tráfego a atravessar e com a natureza dos conflitos observados no local.

Os peões podem ainda ser considerados influenciados quando seriam obedientes se sozinhos na travessia mas se deixam influenciar por peões oportunistas, optando por atravessar no sinal vermelho juntamente com eles (Yang et al., 2006). Segundo o mesmo autor e em casos de atravessamentos de múltiplas vias o peão pode tender a atravessar a faixa de rodagem via a via, avaliando e aceitando intervalos na corrente de veículos sucessivamente de via para via até terminar a travessia.

É, ainda, pertinente referir que os peões podem ainda e por diferentes razões fazer uso de maior área para efetuar o atravessamento que a área da travessia propriamente dita preferindo assim a trajetória diagonal (Jacobsen, 2011). Tais razões poderão ser a existência de barreiras físicas, as condições de tráfego existentes, a urgência em efetuar o atravessamento devido ao final do tempo de verde pedonal, a origem e o destino do peão se o atravessamento em diagonal otimizar a sua rota.

2.6.2 Atravessamento em local fora da faixa de segurança

Segundo o código da estrada o peão não tem prioridade em relação aos veículos fora dos locais indicados ao atravessamento. Ainda assim há peões que optam por efetuar travessias fora do local próprio avaliando intervalos na corrente do tráfego motorizado, o que pode forçar o seu abrandamento ou mesmo a paragem completa do mesmo. O peão tende a efetuar a travessia fora do local próprio por não ter nenhum na sua proximidade, e, claro, com vista a otimizar o tempo de percurso da sua rota.

Pode olhar-se para a passadeira em si como um pólo gerador de um campo de força de atração sobre os peões nas suas proximidades (Godara et al., 2007). Assim, quanto mais próximo estiver o peão do local de atravessamento mais atraído ele se sente para efetuar o atravessamento nesse local, sendo que a partir de uma determinada distância entre o peão e o local de atravessamento, a força de atração se torna nula, sendo portanto irrelevante a existência de tal ponto de atravessamento para esse peão.

Pretto (2011) refere que os peões escolhem o local de atravessamento de maneira a otimizar a sua rota, fazendo o exercício de ponderar os custos/benefícios de atravessar em segurança no local próprio de atravessamento ou não. Verifica-se ainda que realizar o atravessamento na faixa destinada a tal se traduz num custo menor ao utilizador do que o fazer noutros pontos da via, no sentido em que o sentimento de segurança ao efetuar o atravessamento é muito superior.

Relativamente à procura por intervalos na corrente de tráfego durante o percurso da rota, Werberich et al (2012) menciona que alguns peões optam por atravessar a via em intervalos que encontram durante a caminhada, de forma a otimizar o tempo total da sua viagem. Se durante um atravessamento fora da faixa de travessia um veículo se aproxima mais rapidamente do que o peão supôs quando iniciou o atravessamento, o peão tende, naturalmente, a aumentar

a sua velocidade (Velde e Kamp, 2005). Segundo Helbing et al. (2005), quando um peão decide atravessar em determinado ponto da rede aproxima-se em primeiro lugar da berma da estrada e avalia o intervalo entre veículos com o intuito de aproveitar um deles para efetuar o atravessamento. Podem distinguir-se dois casos limite para a seleção deste intervalo aquando da aproximação de veículo(s):

- Peões cautelosos medem o intervalo sem pôr em hipótese o veículo desacelerar;
- Peões ousados medem o intervalo tendo em consideração a potencial desaceleração do veículo que se encontra em aproximação. Este tipo de peão poderá forçar o veículo a abrandar a marcha ou mesmo a parar no meio da via.

2.7. Nível de serviço de travessias pedonais

O conceito de nível de serviço de qualquer infraestrutura de transporte baseia-se numa escala de A a F, sendo o A o ótimo e o F o péssimo, e reflete particularmente a fluidez com que se circula na infraestrutura em questão, sendo portanto um indicador de qualidade da mesma. Embora a sua definição seja de cariz um tanto subjetivo, é algo necessário à qualificação do funcionamento da infraestrutura. No HCM (TRB, 2000) é apresentada a metodologia para a aferição dos níveis de serviço aplicáveis às infraestruturas viárias. No caso dos pontos de travessia, o nível de serviço é definido com base no atraso médio do peão, dado pelo tempo em segundos que o peão tem de esperar para começar o atravessamento da via. De seguida é apresentada a metodologia para o cálculo dos níveis de serviço de travessias semaforizadas.

2.7.1 Níveis de Serviço de Travessias semaforizadas

Como já foi referido, os níveis de serviço das travessias semaforizadas são estabelecidos em função do atraso médio do peão. Segundo o HCM (TRB, 2000), o valor desse atraso é dado pela equação seguinte:

$$d = \frac{0.5(C-g)^2}{c} \quad (5)$$

Onde d representa o atraso médio do peão (segundos); C é a duração do ciclo semafórico (segundos); e g é o tempo de verde útil (segundos) de que o peão dispõe para atravessar a via. Os níveis de serviço são dados em função do atraso médio do peão como se pode consultar no quadro seguinte:

Quadro 2.5: Níveis de Serviço de uma travessia semaforizada

Atraso médio por peão (segundos)	Nível de Serviço da Travessia
≤ 10	A
$>10 - 20$	B
$>20 - 30$	C
$>30 - 40$	D
$>40 - 60$	E
>60	F

É de salientar que acima dos 30 segundos de espera, ou seja a partir do nível C o grau de paciência dos peões começa a diminuir (Seco et al., 2008), tendendo a sua aceitação à exposição ao risco a aumentar.

2.8. Considerações Finais

Após a recolha bibliográfica efetuada, é possível identificar pontos fulcrais ao estudo dos pontos de conflito entre a rede pedonal e a rede viária. Na decisão de formalizar o ponto de atravessamento, bem como a decisão de o regular ou não por ação semaforizada deve pesar uma série de fatores relativos ao tipo de via em causa, bem como aos fluxos de peões e de veículos envolvidos. A ação semaforizada destes pontos de conflito tem sido explorada e inovada de maneira a tornar mais fluido e seguro o funcionamento destes pontos tão essenciais das redes viárias. Medidas como as travessias *Pelican*, ou *Puffin* procuram uma melhor resposta às necessidades pedonais, bem como às necessidades e redução de frustações do trânsito automóvel quando comparado com as travessias semaforizadas a tempos fixos com fase exclusiva de peões.

Nessa linha de ação, este trabalho visa avaliar o desempenho de diversas estratégias de regulação de travessias pedonais semaforizadas, oferecendo diferentes níveis relativos de suporte ao serviços do tráfego automóvel e pedonais, procurando, a partir do seu teste face a cenários diferenciados, contribuir para a identificação dos respetivos campos de aplicação preferencial.

3 CARACTERIZAÇÃO DO COMPORTAMENTO DOS PEÕES EM TRAVESSIAS SEMAFORIZADAS

3.1 Enquadramento

Com vista a avaliar o desempenho potencial de diferentes estratégias de regulação semafórica de atravessamentos pedonais, nomeadamente ao nível da identificação de padrões comportamentais típicos, considerou-se importante realizar uma caracterização detalhada do comportamento dos diferentes tipos de peões face a locais e situações de tráfego reais diferenciadas.

Foi feito um levantamento na cidade de Coimbra recorrendo a filmagens video de dois atravessamentos em locais centrais da cidade. Os locais foram escolhidos por congregarem em si diversos usos do solo que resultam em elevados volumes de tráfego quer de veículos como de peões. O propósito da recolha ser feita por filmagens foi poder-se efetuar a contagem de veículos e peões, bem como proceder a uma análise física e comportamental do tráfego pedonal. Para que a análise fosse consistente, houve o cuidado de verificar as tendências observadas, a partir de testes de significância básicos, de comparação das médias de dois grupos. O teste usado foi o teste t , que torna possível a comparação de duas médias cujas amostras seguem a distribuição normal, mas de variâncias populacionais desconhecidas. Este teste baseia-se na definição de uma hipótese nula (as médias são estatisticamente iguais), para a qual se calcula a probabilidade de que a hipótese contrária à nula aconteça, ou valor- p . Tendo *a priori* definido o intervalo de confiança do teste, em 95%, são de rejeitar as hipóteses nulas sempre que o p -valor obtido para cada teste seja superior a 5%.

O local A (ver fotografia 3.1) situa-se na Avenida Sá da Bandeira, junto à Praça da República, e responde aos atravessamentos gerados e atraídos pela Praça da República, local de interface com os serviços municipais de transportes coletivos, bem como de inúmeros serviços ou locais



Fotografia 3.1 - Local de travessia A



Fotografia 3.2 - Local de travessia B

de lazer. A travessia é semaforizada, dispendo de botoneira e de dispositivos de contagem regressiva que informam os utilizadores de quanto tempo falta para que e regulada a tempos fixos, atravessando três vias com apenas um sentido de tráfego, sendo uma delas reservada a transportes coletivos. O ciclo semaforico soma os 114 segundos, reservando ao peão 14 segundos de verde fixo para efetuar o atravessamento com mais 3 segundos de verde intermitente.

O local B situa-se junto à porta principal da Estação de Coimbra A, congrega para além desse, outros locais de interface com serviços de transporte coletivo. As imediações do local estão servidas de inúmeros serviços, ou pontos de comércio, ou lazer como é o Parque da Cidade. O conjunto das travessias que o local integra e representado na fotografia 3.2, é composto por duas travessias reguladas por sinais luminosos em regime atuado, que permitem atravessar duas vias de trânsito que circula no mesmo sentido, e por outra travessia não semaforizada que permite atravessar apenas uma via de trânsito.

A recolha dos dados foi efetuada no período de pico da tarde, entre as 16h30 e as 19h00, tendo por fim a contagem dos volumes de veículos e de peões, contagens estas efetuadas de 15 em 15 minutos e discriminadas em veículos ligeiros de passageiros, ligeiros de mercadorias, transportes coletivos e veículos de duas rodas com motor. A identificação do intervalo de pico asentou na conversão das diferentes tipologias em unidades de tráfego equivalente recorrendo aos coeficientes de equivalência usados para cada classe de veículos são os sugeridos em Costa et al, 2008. As filmagens recolhidas permitiram ainda efetuar uma análise da composição e do comportamento da amostra de peões em momento de atravessamento, discriminando-os por género, idade, velocidade adotada e por comportamento face ao sistema semaforizado como obedientes e oportunistas, conceitos apresentados no ponto 2.6.1.

3.2 Local de travessia A: Caracterização do comportamento de peões

3.2.1 Débitos de veículos e peões

- O débito de veículos no local A e por quarto de hora é o seguinte:

Quadro 3.1: Débito de veículos por 15 minutos – Local de Atravessamento A;

Débito de veículos	16h30 - 16h45	16h45 - 17h00	17h00 - 17h15	17h15 - 17h30	17h30 - 17h45	17h45 - 18h00	18h00 - 18h15	18h15 - 18h30	18h30 - 18h45	18h45 - 19h00
L	151	127	135	180	155	194	167	162	142	177
LM	7	6	7	17	20	10	7	12	14	3
B	8	8	6	9	8	9	3	10	3	7
M	3	4	3	3	2	7	3	4	2	3
UVE	179	154	159	225	202	230	185	202	170	197
UVE/h	715	614	635	899	807	919	739	806	679	787

LP – Ligeiros de Passageiros; LM – Ligeiros de Mercadorias; TC – Transportes coletivos; M – Motociclos.

Os dados do quadro 3.1 identificam o quarto de hora de ponta em termos de veículos ocorreu entre as 17h45 e as 18h00, com um total de 230 unidades de veículos equivalentes.

➤ Débito de peões: O débito de peões foi contabilizado por sentido de circulação, sendo que se observou um volume muito superior de peões que atravessaram no sentido TAGV – Praça da República, com pico estimado das 17h45 às 18h00.

Quadro 3.2: Débito de peões por 15 minutos – Local de Atravessamento A;

		16h30 - 16h45	16h45 17h00	17h00 17h15	17h15 17h30	17h30 17h45	17h45 18h00	18h00 18h15	18h15 18h30	18h30 18h45	18h45 19h00	Total (nº peões)
Praça - TAGV	Peões/15min	28	37	22	43	64	70	29	31	45	24	393
	Peões/h	112	148	88	172	256	280	116	124	180	96	280
TAGV - Praça	Peões/15min	77	55	50	96	111	125	75	66	57	63	775
	Peões/h	308	220	200	384	444	500	300	264	228	252	500

LP – Ligeiros de Passageiros; LM – Ligeiros de Mercadorias; TC – Transportes coletivos; M - Motociclos.

3.2.2 Caraterização do conjunto de peões e do seu comportamento no atravessamento

De forma a caraterizar os peões e os seus comportamentos em momento de atravessamento, foi definida uma discriminação da amostra por género, escalão etário, dimensão do grupo, velocidades adotadas aquando do atravessamento (qualitativamente), e se o efetuam durante a fase de verde pedonal sendo assim obedientes, ou aproveitando as brechas da corrente de tráfego estando o sinal vermelho sendo assim catalogados como oportunistas, bem como se recorrem ou não ao uso do botão no semáforo. Foram ainda contabilizados os peões que atravessam fora da área de influência da travessia, bem como aqueles que efetuam o atravessamento na diagonal, com vista à optimização do seu percurso.

3.2.2.1 Género

Do universo total de 1168 peões que atravessaram no dito local verifica-se que há uma predominância de pessoas do sexo feminino (F) – cerca de 59% - em relação às do sexo masculino (M) que atravessaram nesse local, totalizando respetivamente 691 e 477.

3.2.2.2 Idade

Discriminando qualitativamente em cinco escalões etários: crianças (C) - até 15 anos -, jovens (J) - dos 15 aos 25 anos -, jovens adultos (JA) - dos 26 aos 35 anos, adultos (A) - dos 36 aos 65 anos e idosos (I) - maiores de 66 anos -, foi analisada a composição da amostra segundo a idade

dos peões. A figura 3.1 evidencia que a amostra é predominantemente jovem, com cerca de 68% dos peões classificados como jovens até aos 25 anos, mais do triplo da massa adulta, (cerca de 19%). O Enquadramento geográfico do local de atravessamento em observação é favorável a este rácio jovens/adultos pela proximidade a inúmeros espaços de serviços e ao ar livre convidativos aos jovens estudantes da Universidade.

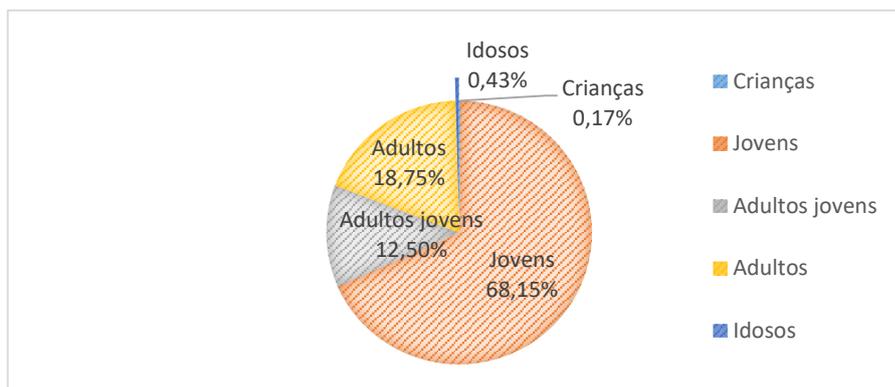


Figura 3.1 - Amostra total de peões por escalão etário

3.2.2.3 Circulação em grupos

Cerca de 50% da amostra de 1168 peões circulavam sozinhos, e os restantes em grupos. Dos 585 peões que circulam em grupos, 57% circulam a pares, e 25% em grupos de três (ver figura 3.2), tendo sido o maior grupo observado um conjunto feminino de 8 jovens. Os grupos exclusivamente femininos são os predominantes dos conjuntos de grupos de 2, 3 ou 4 pessoas, seguidos dos grupos mistos e, por fim, os exclusivamente masculinos. Em média, 50% da composição do total dos grupos são exclusivamente do sexo feminino, 33% dos grupos são mistos, e os restantes 17% de composição exclusivamente masculina (ver figura 3.3).

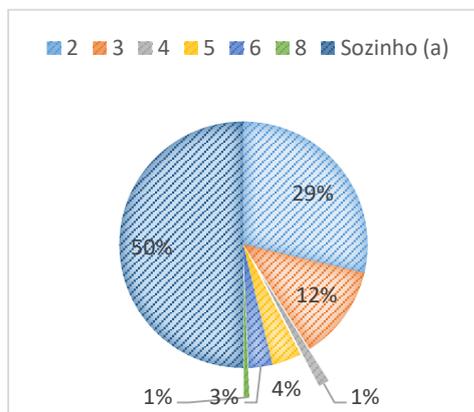


Figura 3.2 - Composição dos grupos de peões por nº de elementos

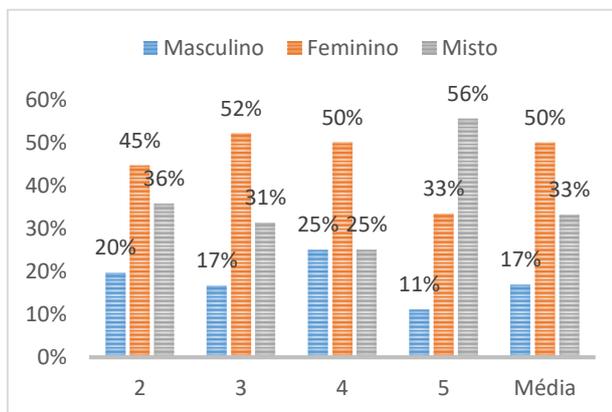


Figura 3.3 - Composição do conjunto dos grupos de peões por dimensão e por género

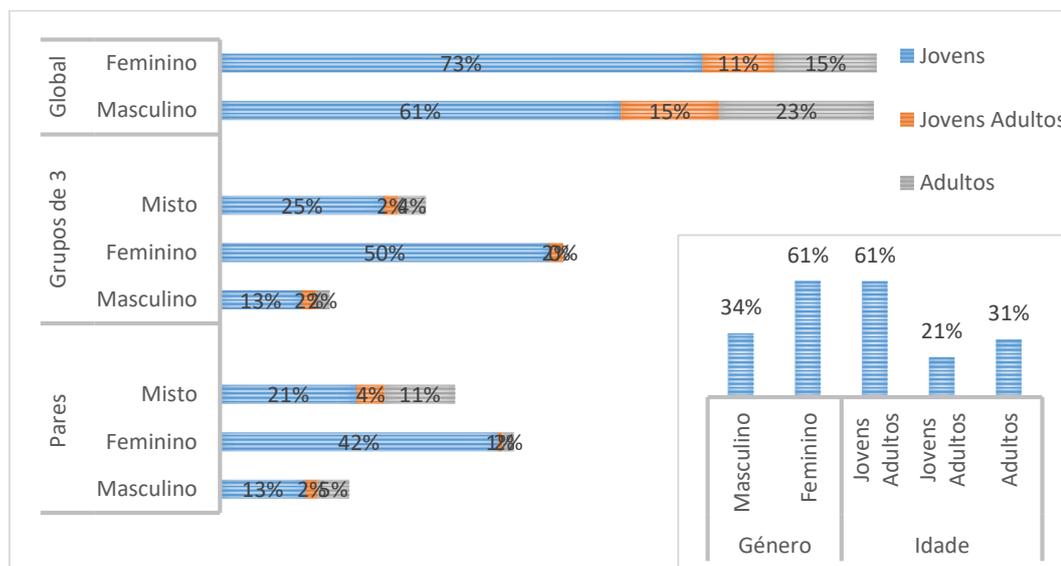


Figura 3.4 - Composição dos pares e grupos de 3 elementos por géneros e idades

Existe maior tendência na população feminina para se movimentar em grupo: 61% da amostra total de mulheres caminham em grupo, *versus* 34% do total de homens que optam pelo mesmo. Também a tendência para que os jovens se insiram em grupos (61%) é muito superior à dos adultos (31%) ou adultos jovens (21%), tendência esta verificada com p -valor < 0.05 . No gráfico da figura 3.4 é possível observar as diferentes incidências por idade na composição dos pares e dos grupos de três peões, sendo de salientar que os grupos de maiores dimensões são integralmente constituídos por jovens. Os grupos de adultos apresentam o seu máximo de incidência nos pares de composição mista.

3.2.2.4 Velocidade

Não tendo sido efetuada uma análise quantitativa das velocidades praticadas escalonaram-se as mesmas em três seções de cariz qualitativo por observação direta (no entanto a aplicação desta escala de situações foi feita de forma sistemática pelo mesmo observador): velocidade lenta, média e acelerada. Observando o gráfico da figura 3.5, constata-se que a maioria da amostra praticou velocidades consideradas médias em momento de atravessamento (cerca de 89%). Verifica-se, ainda, que há mais peões acelerados (8.4%) do que lentos (2.4%).

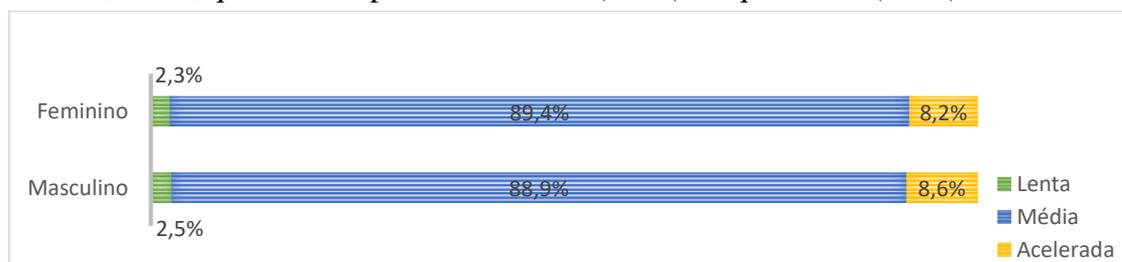


Figura 3.5 - Velocidades praticadas em momento de atravessamento por género

Analisando o conjunto dos peões desviantes à velocidade média, portando os peões lentos e/ou acelerados (ver figura 3.6), verifica-se que 57% do conjunto de 28 peões lentos são do sexo feminino, de resto proporcional à taxa de população feminina na amostra global.

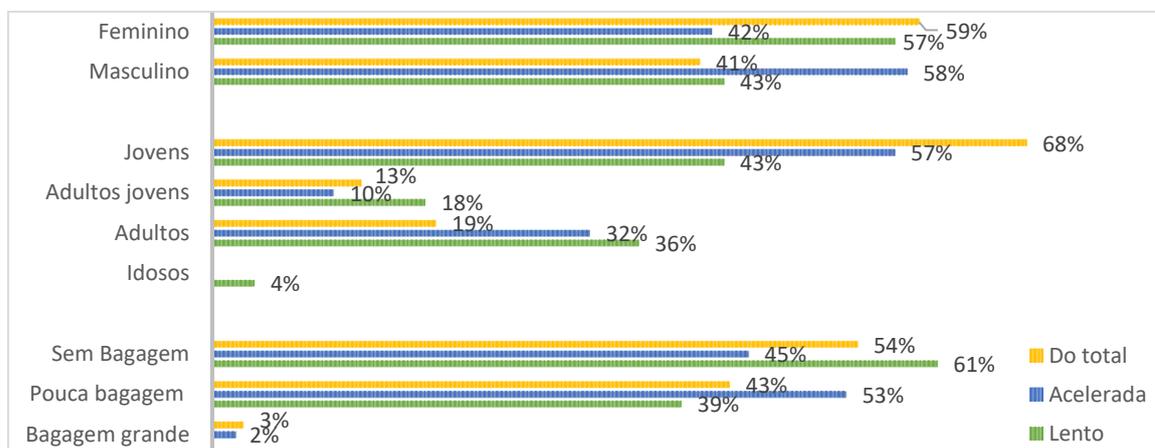


Figura 3.6 - Análise dos peões lentos e/ou acelerados em momento de atravessamento

Constata-se também que o mesmo não se verifica na análise do número de peões acelerados: 58% dos 98 peões acelerados em momento de atravessamento são do sexo masculino, o que pode refletir uma diferença comportamental entre os géneros em momento de atravessamento. De entre as faixas etárias, é de salientar o grupo dos adultos, que supera a média relativa ao global, perfazendo 36% dos peões lentos e 32% dos acelerados. Quanto à existência de bagagem, e à sua relação com as velocidades praticadas, o estudo não permitiu tirar conclusões.

3.2.2.5 Obediência/ Desobediência ao sinal luminoso

Do total da amostra somente 41% peões atravessaram durante o sinal verde. Pode dizer-se que, deste total de peões ditos obedientes, as pessoas do sexo feminino predominam em relação às do sexo masculino: 44% das mulheres optou por atravessar durante o período de verde, enquanto somente 35% dos homens apresentou o mesmo comportamento, com verificação de associação das variáveis (p -valor=0.028, para a hipótese nula). Os comportamentos em relação aos escalões etários são bastante similares, ver figura 3.7. Os idosos são os que apresentam maior diferença de comportamento, mas sendo a respetiva amostra muito reduzida (somente 3 peões idosos masculinos e 2 femininos), não é possível retirar conclusões.

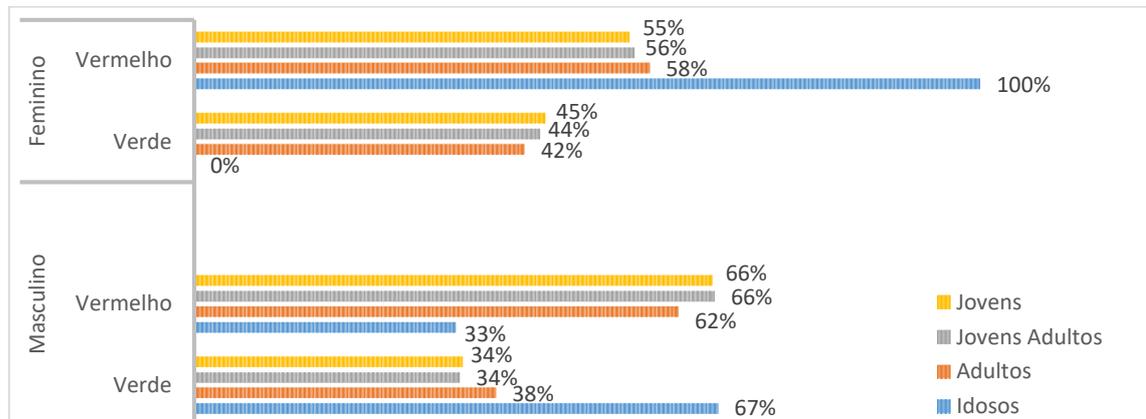


Figura 3.7 - Obediência/ Desobediência aos sinais luminosos por gênero e escalão etário

Aquando do momento de atravessamento as velocidades praticadas são maioritariamente médias quer o peão seja obediente ou não, sendo que se verifica uma tendência para o aumento da velocidade quando o atravessamento é efetuado durante o sinal vermelho: 72% dos peões em marcha acelerada atravessaram durante o sinal vermelho (ver figura 3.8). É de referir ainda que do total de peões que atravessaram durante o verde pedonal, correspondente a 28% dos peões acelerados, a grande maioria o fez durante o verde intermitente, sinal que serve de aviso aos peões de que não deverão iniciar a marcha, totalizado em 74% dos peões acelerados durante a fase verde pedonal, havendo diferença entre os peões acelerados no verde e no verde intermitente (p -valor $\ll 0.05$).

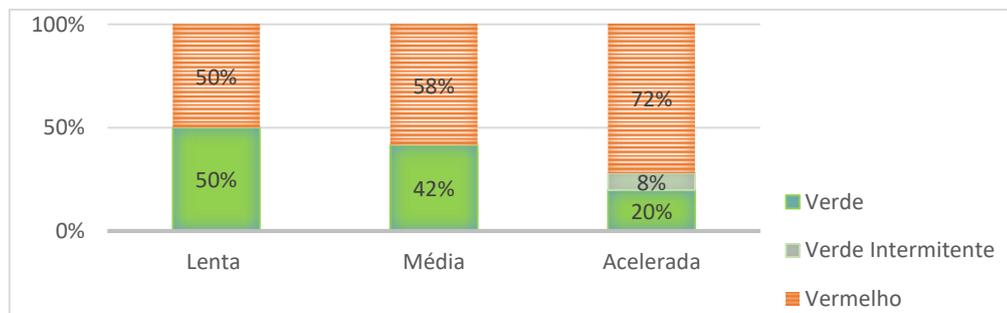


Figura 3.8 - Velocidades praticadas por indicação luminosa

3.2.2.6 Interação com a botoneira

Verificou-se que, embora dispondo de botoneira, o sistema não é atuado, sendo, como já foi dito, de tempos fixos. Assim, e talvez pela familiarização com o sistema da maioria dos peões, o recurso ao botão é mínimo, já que somente 4% da amostra carregou no botão no momento de chegada à travessia, sendo que grande parte dos que a ele recorrem acabam por se revelar oportunistas (73%). Dos peões que não carregam no botão à chegada do ponto de atravessamento, 59% são oportunistas *versus* 41% obedientes, ou oportunistas sem sucesso.

3.2.2.7 Trajetória em diagonal

Foram observados um total de 52 peões que atravessaram a via em trajetória diagonal à faixa de rodagem (correspondente a 4% da amostra total), dos quais 27 do sexo masculino e 25 do sexo feminino.

3.2.2.8 Atravessamentos fora do local de travessia

Contabilizou-se um total de 121 peões que efetuaram o atravessamento fora da travessia (correspondente a 10%), 78 dos quais a montante desta, mais precisamente junto à interseção com a Rua Padre António Vieira, contabilizados por observação direta, e os restantes 43 nas imediações do local próprio, porém fora da sua área de influência.

3.3 Local de travessia B: Caracterização do comportamento de peões

3.3.1 Débitos de veículos e peões

Por congregarem em si um entroncamento, as contagens dos débitos de veículos e peões foram efetuadas por movimentos distintos, como a figura 3.9 ilustra.

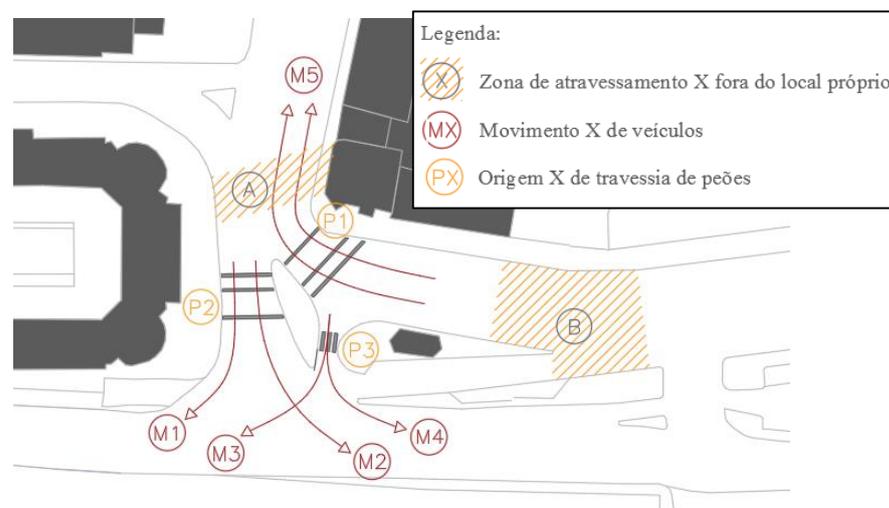


Figura 3.9 - Local da travessia B, movimentos automóveis e zonas de atravessamento

Foram contabilizados os débitos de veículos para cada movimento de tráfego, apresentando-se as contagens para todos os movimentos no quadro 3.3.

Quadro 3.3 - Débito de veículos por movimento e por 15 minutos – local de atravessamento B

Período horário		16h30 - 16h45	16h45 - 17h00	17h00 - 17h15	17h15 - 17h30	17h30 - 17h45	17h45 - 18h00	18h00 - 18h15	18h15 - 18h30	18h30 - 18h45	18h45 - 19h00
Todos os Movimentos	L	306	328	314	322	399	357	410	354	428	360
	LM	32	25	27	43	49	44	40	44	34	32
	B	23	32	28	28	37	29	18	24	23	30
	P	0	0	0	1	1	2	1	0	0	0
	M	12	11	10	11	22	11	10	13	9	6
Veículos		405	434	415	449	558	490	512	473	529	470
Total		1619	1736	1658	1797	2230	1960	2049	1893	2114	1882

O quadro 3.3 identifica o quarto de hora de pico como sendo o período entre as 17h30 e as 17h45, com um tráfego equivalente de 2230 veículos horários. O débito de peões (ver quadro 3.4) foi contabilizado por local de origem na zona de travessia, encontrando-se a sombreado o período de ponta para o conjunto das travessias. Da sua leitura resulta que o período mais carregado em termos de número de peões no conjunto dos locais de atravessamento ocorreu entre as 17h45 e as 18h00.

Quadro 3.4: Débito de peões por 15 minutos _ Local de atravessamento B

Período Horário	16h30 - 16h45	16h45 - 17h00	17h00 - 17h15	17h15 - 17h30	17h30 - 17h45	17h45 - 18h00	18h00 - 18h15	18h15 - 18h30	18h30 - 18h45	18h45 - 19h00
P1	36	39	31	46	60	76	61	68	56	46
P2	38	25	23	59	33	36	33	41	49	20
P3	12	8	9	11	12	13	11	7	10	5
Todas origens	86	72	63	116	105	125	105	116	115	71
Peões/hora	344	288	252	464	420	500	420	464	460	284

3.3.2 Caracterização do conjunto de peões e do seu comportamento no atravessamento

3.3.2.1 Género

Dos 974 peões que atravessaram no local verifica-se uma predominância de pessoas do sexo feminino (cerca de 58%) em relação às do sexo masculino que atravessaram nesse local, totalizando as 562 pessoas do sexo feminino *versus* 412 do sexo masculino.

3.3.2.2 Idade

Considerando a análise por escalões etários já descrita para o local A, pode afirmar-se que a amostra é mais heterogénea, com uma maior parte (36%) de adultos dos 35 aos 65 anos contabilizados em 355 adultos, seguido de 28% de jovens e de 24% de adultos jovens (ver figura 3.10). A proporção de peões idosos assume aqui outro peso: 11% da amostra são peões idosos, contabilizados em 105 peões com mais de 65 anos. Esta composição mais heterogénea relaciona-se com a envolvente da zona em que o conjunto de travessias em estudo se insere. A zona, para além dos vários interfaces de mobilidade que contém, apresenta-se de alta densidade a nível da oferta de serviços, comércio e habitação de longa duração.

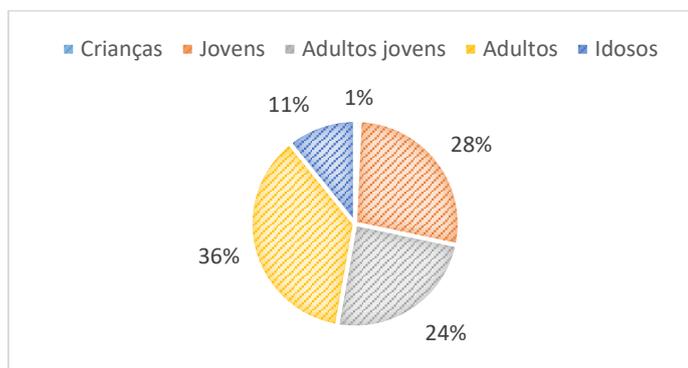


Figura 3.10 - Composição da amostra por escalão etário

3.3.2.3 Circulação em grupos

A maioria (63%) dos peões atravessa isoladamente e os restantes 37% atravessam em grupo. Dos 364 peões que circulam em grupos, 65% fazem-no a pares, 16% em grupos de três e 13% em grupos de quatro (ver Figura 3.11). Em média, 44% dos grupos de peões são exclusivamente do sexo feminino, 36% dos grupos são de composição mista, e os restantes 20% de composição exclusivamente masculina, em detalhe no gráfico da figura 3.12, para os pares e para os grupos de 3 e 4 pessoas.

Também nesta travessia se confirma uma maior tendência no género feminino para caminhar em grupo: 43% da amostra feminina caminha em grupo, contra 29% do sexo masculino. Analisando as faixas etárias, é possível verificar que 62% dos jovens, 37% dos jovens adultos, 31% dos adultos e 11% dos idosos se estabeleceram em grupos aquando dos movimentos de travessia, confirmando uma tendência acrescida para que os jovens se agrupem em momento de caminhada.

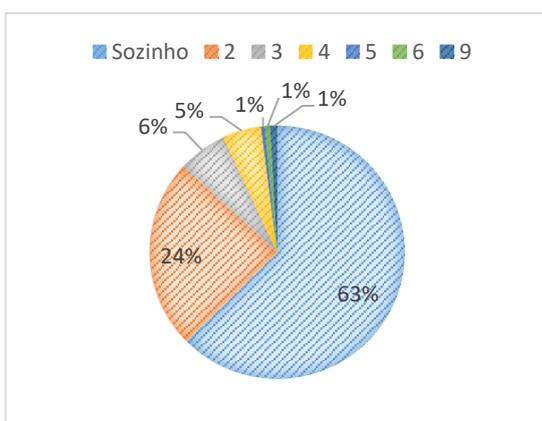


Figura 3.11 - Composição do conjunto dos grupos de peões por nº de elementos

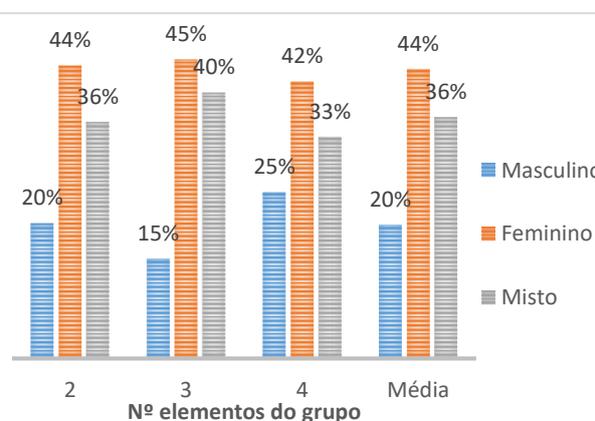


Figura 3.12 - Composição dos diferentes grupos de peões por género

Fazendo a análise por género e por escalão etário para os grupos de dimensões mais incidentes, verifica-se uma distribuição equitativa dos diferentes grupos etários pelos diferentes conjuntos de peões, em relação às médias globais (ver gráfico da figura 3.13).

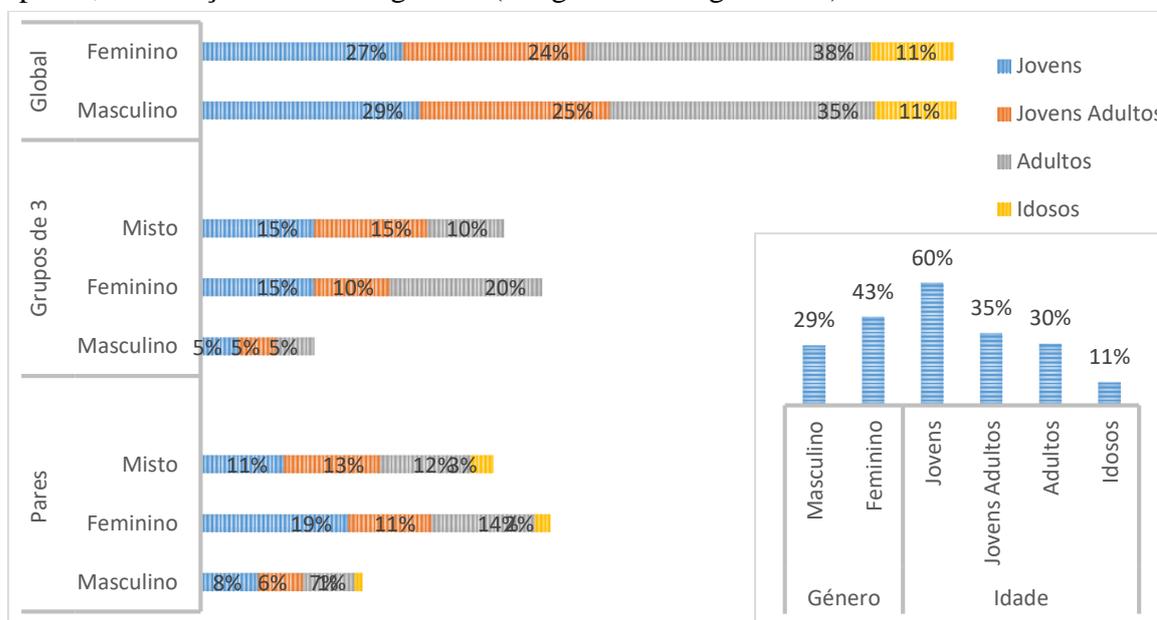


Figura 3.13 - Composição dos pares e grupos de 3 elementos por género e idades

3.3.2.4 Velocidade

Cerca de 72,5% da amostra praticou velocidades consideradas médias em momento de atravessamento totalizando os 706 peões, verifica-se também que há mais peões acelerados (em média 19%) do que lentos (média de 11%). No gráfico da figura 3.14 pode constatar-se uma tendência ligeiramente superior para os elementos do sexo feminino efetuarem o atravessamento em velocidade mais lenta do que para os do sexo masculino, bem como o inverso quanto aos peões que atravessam em marcha acelerada: 21% dos peões homens foram acelerados em momento de atravessamento, versus 15% das mulheres apresentaram o mesmo comportamento.

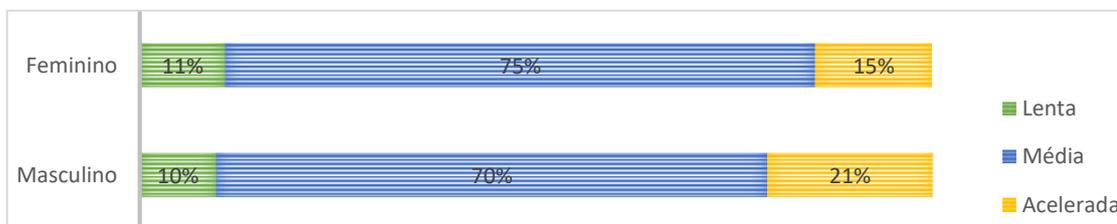


Figura 3.14 - Velocidades praticadas em momento de atravessamento por género

Analisando o conjunto dos peões lentos e acelerados, como se verifica no gráfico da figura 3.15, 60% do conjunto de 101 peões lentos são do sexo feminino, de resto proporcional à taxa de população feminina na amostra global.

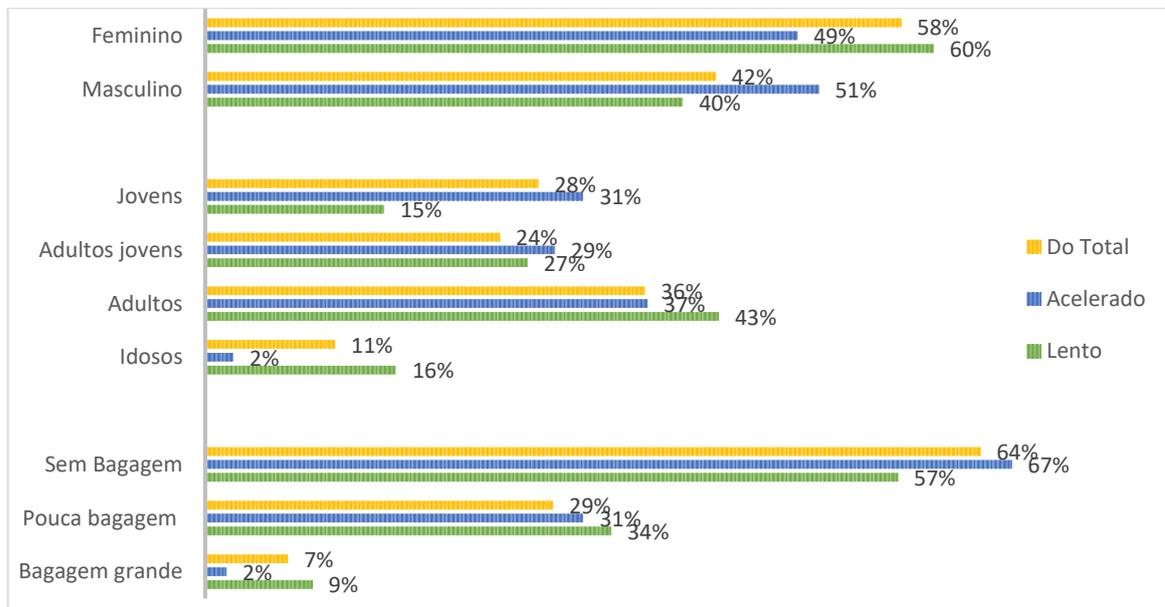


Figura 3.15 - Análise dos peões lentos e/ou acelerados em momento de atravessamento

Constata-se também, e quanto aos peões acelerados, que a diferença é residual na repartição dos géneros: 51% dos peões em marcha acelerada são do sexo masculino, e os restantes 49% são do sexo feminino. No entanto é de salientar a diferença de 9% entre a média de peões masculinos na amostra global (42%) e a média de peões masculinos na amostra de peões acelerados (51%). De entre as faixas etárias, é de salientar o grupo dos adultos, líderes quer na fatia de peões lentos (43%), quer na dos acelerados (37%). A terceira idade é aqui bastante significativa na sua taxa de peões lentos, com uma representatividade de 16%. Os peões com pouca e/ ou muita carga destacam-se com proporções acima das respetivas taxas globais para os peões lentos, o que sugere uma relação entre a existência de carga e as velocidades lentas.

3.3.2.5 Obediência/ Desobediência ao sinal luminoso

Verifica-se neste local de estudo, e comparativamente ao local de travessia A anteriormente exposto, uma maior taxa de obediência global aos sinais luminosos: do total da amostra, 68% das pessoas atravessaram durante o sinal verde, respeitando a fase pedonal, sendo que os restantes 32% adotaram um comportamento oportunista (ver figura 3.16). Os elementos do género feminino mostraram-se mais obedientes que os do género masculino: 69% das mulheres adotaram esse comportamento, *versus* 66% dos homens. Porém a diferença na obediência entre os géneros não se mostrou estatisticamente significativa.

O escalão dos idosos foi o que se mostrou mais obediente, com 85% dos idosos a atravessar durante a fase de verde. Os outros três escalões etários dominantes da amostra mostraram comportamentos de conformidade muito semelhantes face aos sinais luminosos.

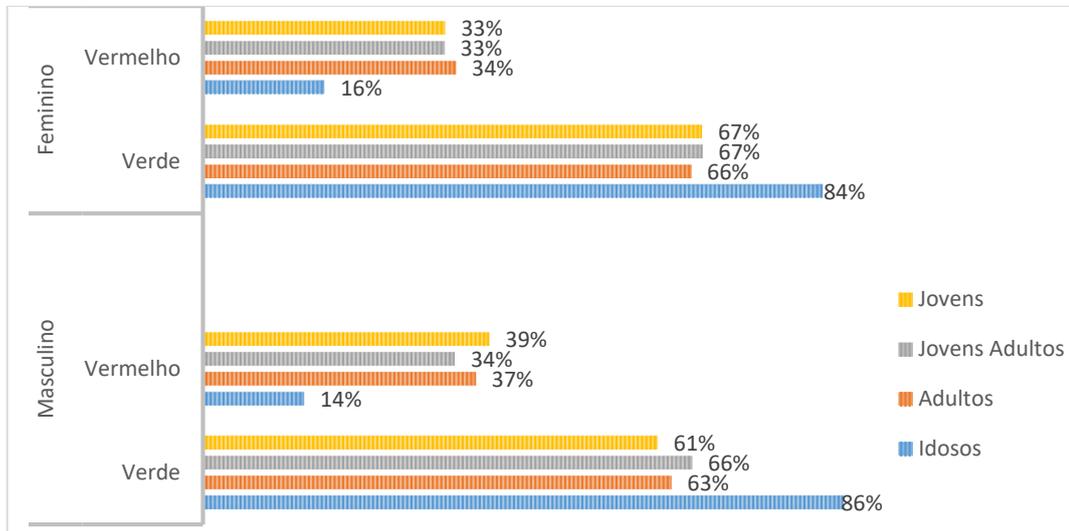


Figura 3.16 - Obediência/ Desobediência ao sinal luminoso por género e idade

Analisando as velocidades praticadas em momento de atravessamento e em relação aos sinais luminosos (ver figura 3.17), é possível verificar que 80% dos peões praticaram velocidades abaixo da média durante a fase de verde pedonal, 72% dos peões que praticaram velocidades médias fizeram-no também durante a fase de peões. Verifica-se também uma maioria de peões desobedientes e acelerados: 60% dos peões acelerados estavam em situação de desobediência face ao sinal luminoso. Dos 68 peões acelerados em verde, 53 estavam perante a cessação da fase de peões, estando o sinal em verde intermitente, o que corresponde a cerca de 78% da amostra em questão. Verificou-se ainda a diferença estatística entre os grupos de peões que atravessaram no verde, e os que o fizeram em verde intermitente em regime acelerado.

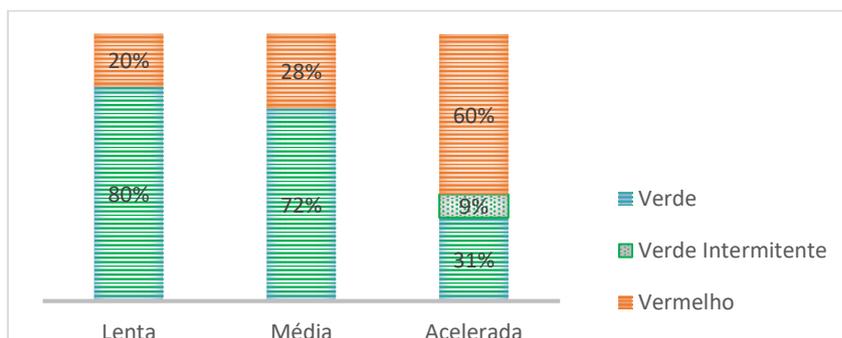


Figura 3.17 - Velocidades praticadas em relação ao sinal luminoso

3.3.2.6 Interação com a botoneira

O local de travessia em estudo apresenta um maior número de peões que recorreram ao sistema atuado: cerca de 18% dos peões utilizaram o botão para chamar a fase pedonal totalizando os 173 peões. Destes 44% foram homens, e 56% mulheres. Os elementos femininos revelaram-se ligeiramente mais pacientes que os masculinos: 90% das mulheres que carregaram no botão atravessaram durante o período de verde pedonal, enquanto 84% dos homens que carregaram no botão apresentaram o mesmo comportamento. No que toca aos peões que não carregaram no botão, 63% mostraram-se obedientes, tendo os restantes desobedecido ao respetivo sinal.

3.3.2.7 Trajetória em diagonal

Foram observados um total de 155 peões que atravessaram a via em trajetória diagonal à faixa de rodagem (cerca de 16% da amostra global), dos quais 81 do sexo masculino e 74 do sexo feminino e em maioria (cerca de 77%) no sentido ilha – P2, sendo que destes, cerca de 69% se dirigiram para a estação ou para a rua António Granjo, e os restantes para a Avenida da Cidade de Aeminium.

3.3.2.8 Atravessamentos fora do local de travessia

Foram contabilizados por observação direta 44 peões que atravessaram fora do local a isso reservado, representado na figura 3.9, na zona A a sombreado, e com o recurso às filmagens 31 peões que incorreram em atravessamentos imprudentes, na zona B a sombreado na mesma imagem.

4 ESTRATÉGIAS DE CONTROLO VS COMPORTAMENTO: METODOLOGIA DE ANÁLISE

4.1 Metodologia base

O estudo apresentado neste capítulo prende-se com a avaliação do desempenho de diferentes estratégias de monitorização e controlo do tráfego pedonal no momento de atravessamento em soluções semaforizadas, no sentido de perceber o impacto potencial de cada uma no desempenho dos intervenientes no ambiente de tráfego implícito à rede em causa.

Considerou-se que entrar numa abordagem complexa estreitaria o cariz generalizável do estudo. Optou-se, assim, pelo desenvolvimento de um estudo de caso virtual, representativo de uma situação de atravessamento semaforizado de um arruamento típico. Trata-se de uma rede elementar permitindo um ponto de vista simples mas intuitivo, modular, moldável e adaptável a contextos mais complexos, permitindo assim o teste de uma metodologia passível de adaptação ao estudo de redes mais complexas.

Idealizou-se, à semelhança do local de travessia A descrito no capítulo 3, uma faixa de rodagem de um só sentido de trânsito, com duas vias que servem o tráfego automóvel mais uma que serve o movimento BUS, em conflito com uma travessia. Como já referido, o ciclo que opera esta travessia A largura de cada via considerada foi de 3,3 metros, totalizando um comprimento de travessia de aproximadamente 10 metros. A intersecção será regulada por sinais luminosos, e existindo apenas um movimento automóvel em conflito com o movimento de atravessamento pedonal, este atravessamento será garantido em fase exclusiva à sua passagem, no plano de regulação semafórico.

O âmbito do estudo passa pela comparação de três estratégias, sendo que a de referência corresponderá aos planos de controlo a tempos fixos, situação mais básica de controlo de atravessamentos pedonais semaforizados. Segue-se a análise de uma estratégia atuada que, por meio de detetores dirigidos à deteção do peão, abre a possibilidade de passagem destes não penalizando o trânsito automóvel em relação à estratégia de base, isto é, cumprindo sempre o tempo de passagem para os veículos assumido para a estratégia de base (a tempos fixos). Segue-se ainda o estudo de uma estratégia também atuada, mas que prevê uma bonificação ao peão, ou seja, reduzindo os tempos de verde automóvel aos seus tempos mínimos admissíveis de modo a não criar situações de congestionamento automóvel, a rapidez de resposta ao sensor pedonal aumenta, e como tal há uma pequena bonificação temporal aos peões. De forma a possibilitar a generalização da avaliação das estratégias em análise foram discretizados vários

cenários, indicativos de um leque de combinações de diferentes volumes de tráfego: automóvel; de transporte coletivo, e de peões quer obedientes como potencialmente inobedientes face ao sinal pedonal indicado pelo semáforo.

O objetivo fundamental é o de identificar as situações/cenários em que será recomendável optar por determinada estratégia de controlo, bem como em quais tal estratégia é desadequada. Para concretizar o teste das diferentes estratégias face aos múltiplos cenários de análise recorreu-se ao *software* da especialidade de simulação de tráfego, o AIMSUN - *Advanced Interactive Microscopic Simulator for Urban and Non-Urban Networks* - adicionado de um *plug in* que trata a simulação do tráfego pedonal – o *Legion* - ambos cedidos pelo Departamento de Engenharia Civil da Universidade de Coimbra.

4.2 Estratégias em análise

4.2.1 Estratégia Base: Tempos Fixos

A estratégia considerada para referência comparativa foi a baseada na aplicação de planos de regulação a tempos fixos. O plano de regulação considerado consiste na definição de duas fases, uma relativa ao movimento do tráfego automóvel, outra afeta ao movimento dos peões que se dirigem à travessia. A duração da fase pedonal é invariável para qualquer cenário de tráfego em ocorrência, e igual a 15 segundos. A duração da fase de veículos dependerá do tempo de ciclo óptimo a servir face a cada taxa de saturação em consideração. Em termos genéricos o ciclo funcionará sob a lógica do fluxograma presente na figura 4.1.

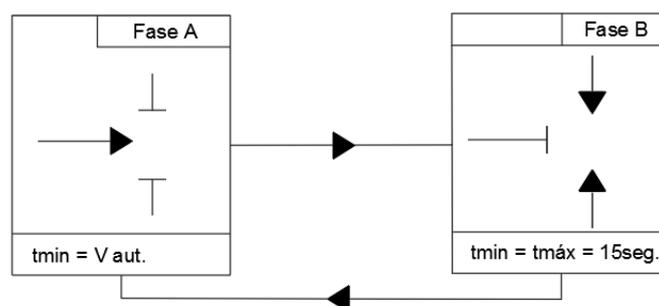


Figura 4.1 - Fluxograma da estratégia base – Tempos fixos

4.2.2 Estratégia Atuada base

Porque é possível dotar as redes de tráfego de interatividade com os intervenientes na sua envolvente, optou-se por testar o desempenho de controlo semafórico com adaptação em tempo real. Assim, recorreu-se a um tipo de controlo atuado que, recorrendo à identificação da presença do peão no local de atravessamento, ativa a fase pedonal apenas quando esta é necessária. Esta estratégia é uma solução atuada que, para cada cenário a testar, garante um tempo mínimo de verde a ceder aos veículos de duração igual ao que lhes é disponibilizado na

estratégia base. Nesta estratégia o tempo de verde real atribuído aos veículos tenderá, em percentagem do tempo total de simulação, a ser superior em relação à estratégia base, por haver ciclos em que a ativação da fase pedonal é atrasada por inexistência de procura. Esta solução garante, em princípio, condições de circulação mais favoráveis aos veículos face à solução a tempos fixos, sem que prejudique de forma relevante as condições oferecidas aos peões, para além de os obrigar a registar a sua chegada ao atravessamento.

O fluxograma da figura 4.2 elucida a lógica de atuação desta estratégia:

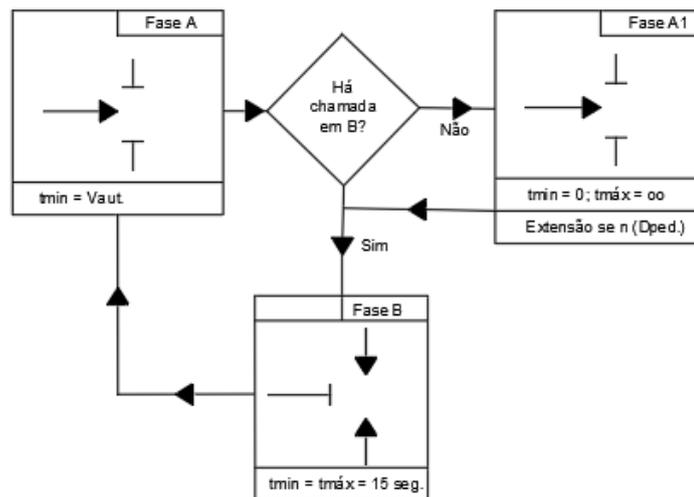


Figura 4.2 - Fluxograma da estratégia atuada base

Esta estratégia será essencialmente testada para cenários em que se pressupõe que todos os peões que se encaminhem para o local de atravessamento accionarão a chamada da fase pedonal, um pouco divergente do que se verifica na realidade relativamente ao uso facultativo da botoneira de semáforo pedonal. Porém, e como é o primeiro peão que chega ao detetor que acciona a fase, para ele e todos os que cheguem à travessia desde então e até que o verde fixo para peões feche, este factor apenas toma valor para essa situação, o que até traduz razoavelmente a realidade pedonal: o peão tende a carregar no botão, se, ao chegar à travessia, não observa ninguém à espera, e que presumivelmente teria já chamado a fase.

A comparação entre esta estratégia e a estratégia base a tempos fixos permitirá a análise das diferenças no desempenho automóvel, que, à partida, sai bonificado do processo, mas também do desempenho pedonal, tentando perceber em que situações o modo sai eventualmente beneficiado ou penalizado.

4.2.3 Estratégia atuada com apoio preferencial aos peões

Esta estratégia, na sua essência, assume uma alocação preferencial do tempo de verde aos peões, garantindo, no entanto, que desde que viável, os movimentos motorizados não entram em saturação.

Modelou-se, assim, um regime também atuado, correspondente a uma estratégia que reduz o tempo de verde reservado aos veículos em cada ciclo estritamente ao tempo de verde mínimo. Este tempo garantirá taxas de saturação automóvel nunca superiores à capacidade prática adoptada, que se estabeleceu em 90% da capacidade teórica da via em causa, assegurando uma fluidez automóvel mínima, sem ocorrência de congestionamento. A lógica de atuação desta estratégia é o apresentado na figura 4.3 que se segue:

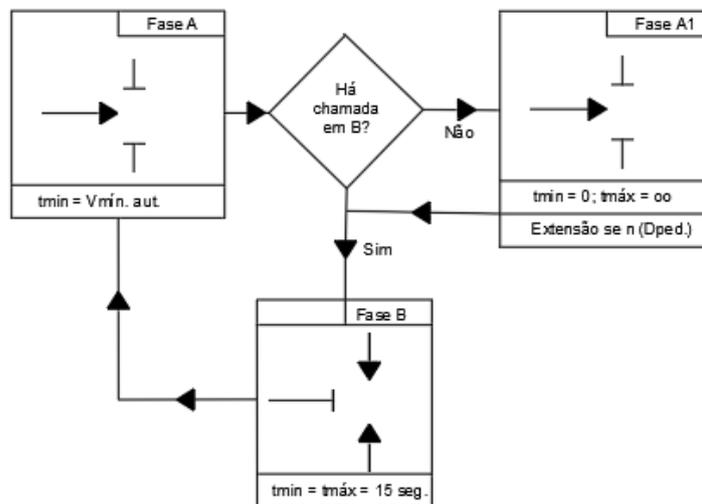


Figura 4.3 - Fluxograma da estratégia atuada com apoio preferencial aos peões

Pretende-se com o estudo desta estratégia analisar as diferenças no desempenho pedonal face às duas estratégias apresentadas anteriormente, e verificar ainda em que situações o desempenho face ao automóvel fica mais ou menos limitado.

4.3 Variabilidade de Cenários

De forma a assegurar a consistência dos resultados houve a necessidade de abrir um leque de diferentes condições de funcionamento do atravessamento pedonal para a análise comparada das três estratégias. Estas condições de tráfego são estabelecidas em função da variação de certos fatores que se expõem de seguida. Cada combinação destas variações constitui um cenário e foram estabelecidos cenários diversos a nível quer da intensidade do tráfego, quer do nível de comportamento cumpridor por parte dos peões.

4.3.1 Taxa de saturação dos veículos

Por se considerar importante perceber a resposta de cada estratégia em teste a diferentes níveis de procura das vias, definiu-se a taxa de saturação como uma variável de relevo a integrar neste estudo.

A taxa de saturação reflete o quociente entre a procura presente na via e a sua capacidade, ou seja é um parâmetro que reflete a carga incidente na via em relação à sua capacidade e, como tal, permite ter uma noção da “folga” existente para servir os múltiplos utilizadores de um qualquer elemento infraestrutural da rede viária.

Para que a via responda com qualidade à procura que a solicita, esta taxa quer-se sempre abaixo da unidade. Taxas superiores à unidade refletem vias em condições de sobressaturação, e à medida que o valor da taxa tende para a unidade, portanto em cenários próximos da capacidade, observa-se progressivamente uma maior dificuldade da via responder com total eficácia às flutuações temporais que a procura possa assumir. Por este motivo há, desejavelmente, que manter uma certa reserva de capacidade, definindo-se o valor da taxa máxima desejável de saturação entre 0,8 e 0,9, a qual se fixou em 0,9.

De forma a agilizar o processo todas as matrizes de procura aplicadas ao modelo eram múltiplas da matriz base, e, como tal, ambos os tráfegos quer de veículos, quer de BUS, foram afetados na mesma proporção. Assim, procedeu-se à análise de quatro situações distintas, de forma a representar o desempenho das vias em funcionamento muito abaixo, abaixo, próximo e no valor máximo da capacidade prática admissível à via em estudo e para a estratégia de referência de temporização fixa. Estabeleceu-se, assim, que os níveis de procura pressupostos em relação às capacidades estimadas sob a estratégia base de tempos fixos e para o ciclo base de 80 segundos corresponderiam a 30%, 50%, 70% e 90% do valor da capacidade teórica. Estas taxas de saturação só serão efetivas para os cenários em teste para a estratégia base de tempos fixos, já que para as estratégias atuadas é, *à priori* impossível determinar a duração do ciclo semaforico que se vai efetivar na realidade. No caso da estratégia atuada base, apresentada no ponto 4.2.2, que procura não penalizar os veículos comparativamente à estratégia base a tempos fixos, o tempo de verde mínimo a cumprir na fase de serviço ao tráfego automóvel (que determina o valor do ciclo mínimo) é fixado tendo como referência o ciclo ótimo, quando tal não excede os 80 segundos definidos como ciclo máximo a tempos fixos. Já no caso da estratégia que oferece um apoio adicional aos peões, presente no ponto 4.2.3, o ciclo mínimo fixa-se para cada cenário no valor do ciclo mínimo prático, garantindo que as taxas de saturação reais não excedem nunca o valor 90% relativo à capacidade teórica.

4.3.2 Débitos pedonais

No que respeita os fluxos pedonais, partindo do débito base de 100 peões por hora e por sentido, e, foram impostos incrementos de uma centena de peões/hora/sentido, até um máximo de 500

peões. É importante analisar as estratégias que melhor e pior desempenho revelam para os diferentes escalões de procura pedonal, principalmente nas estratégias atuadas, onde são os peões que ditam a duração dos ciclos que se efetivam.

4.3.3 Peso relativo dos peões potencialmente desobedientes

Face à heterogeneidade do perfil psicológico, físico e motivacional, não é expectável que todas as pessoas sejam obedientes no atravessamento. Como tal, e embora partindo do cenário de referência de obediência geral, foram introduzidas duas variações: uma em que 25% e outra em que 50% da matriz pedonal admite a desobediência ao sinal, aceitando atravessar durante o vermelho, se tiver oportunidade para tal, constituindo estas percentagens o conjunto dos peões potencialmente desobedientes. A introdução desta variação, procura assim reproduzir situações próximas da realidade urbana. Estes cenários permitirão verificar qual o potencial que as diferentes estratégias de regulação apresentam no controlo do comportamento dos peões tendencialmente oportunistas.

4.3.4 Os cenários

Foram consideradas as três estratégias descritas anteriormente para cada combinação entre cada factor de variação acima descrito, constituindo-se um total de 60 cenários a simular para cada uma das três estratégias em análise, como o esquema seguinte sugere:

- Estratégias: {
Tempos fixos;
Tempos atuados base;
Tempos atuado com prioridade pedonal.

- Variabilidade de Fatores: {
Taxa de saturação das vias automóveis: { 30%; 50%; 70%; 90% };
Débito de peões/hora em cada sentido da travessia: (100 a 500);
Taxa de peões potencialmente desobedientes: (0, 25, 50%).

4.4 Indicadores de desempenho

Para avaliar o desempenho de cada estratégia em estudo fixaram-se determinados indicadores capazes de refletir o desempenho de cada estratégia face a cada cenário. Note-se que os indicadores de desempenho deverão refletir, de forma abrangente e consistente, o desempenho da rede, quer seja relativo aos peões ou aos veículos. De forma a assegurar a fiabilidade dos resultados, os indicadores a analisar devem ser sempre os mesmos, independentemente dos cenários estabelecidos, de modo a não se incorrer em resultados e comparações viciadas.

Assim, estabeleceram-se seis diferentes indicadores, baseados nos valores de *output* quantificados pelo *software* de micro-simulação AIMSUN após cada replicação de determinado modelo.

4.4.1 Caraterização dos peões

4.4.1.1 Tempo parado dos peões

O nível de serviço referente ao desempenho dos peões em momento de atravessamento é, essencialmente, definido pelo atraso médio por peão, como referido no ponto 2.7.1. Assim, definiu-se um indicador adequado traduzido pela média ponderada dos tempos de paragem dos dois tipos de peões em jogo, os obedientes e os potencialmente desobedientes.

O *software* AIMSUN contabiliza os atrasos para os peões tratados como veículos, mas não o faz para os peões tratados pela subrotina *Legion*. Contudo, contabiliza o tempo que ambos os tipos de peões estiveram parados, e portanto foi nesses tempos que se baseou a definição deste indicador. Importa contudo ter presente que o *software* efetua o cálculo dos tempos parados de forma diferente para os dois tipos de peões. Se para os obedientes, portanto tratados pelo *Legion*, é estimado o tempo parado por peão, para os restantes, tratados como veículo, é calculado o tempo parado por distância percorrida para o conjunto dos peões deste tipo que efetuaram o percurso de atravessamento. Neste último caso, é de notar que o Aimsun apenas considera que o peão (veículo automóvel especial, com velocidade reduzida) deixa de estar parado se este adotar uma velocidade de pelo menos 4 m/s (valor pré-definido), pelo que haverá sempre que garantir que na modelação se assume uma velocidade mínima desejada para este tipo de utentes superior ao valor pré-definido.

Assim, o indicador resultante e comum a ambos os tipos de peões definido foi o tempo parado médio (T_{pM}), que é dado pela média ponderada dos atrasos homogeneizados na unidade de segundos perdidos por peão, correspondente à expressão (6):

$$T_{pM} = \frac{T_{pPO} * F_{PO} + T_{pPD} * D_{tpPD}}{F_{PO} + F_{PD}} \quad (6)$$

Onde T_{pPO} é o tempo médio (s) que os peões obedientes passam parados e F_{PO} é o débito dos mesmos; Já T_{pPD} , D_{tpPD} , e F_{PD} são relativos aos peões potencialmente desobedientes, designando, respetivamente, o tempo médio que todos os peões passaram parados por distância percorrida (s/km), a distância total percorrida (km) e o débito (número de peões por hora de simulação) dos mesmos.

4.4.1.2 Percentagem de atravessamentos em vermelho pedonal

Outra análise relevante é a avaliação da percentagem de atravessamentos que realmente são feitos durante o vermelho pedonal. Para tal, na micro-simulação foi necessário inserir detetores virtuais nas vias pedonais a jusante do cruzamento, e registar contagens de segundo a segundo. Essa informação é cruzada com o registo da travessia, podendo-se perceber assim para que instante no curso da simulação se regista a presença de peões potencialmente desobedientes a

atravessar fora do intervalo suposto à fase pedonal. Os intervalos relativos às fases de verde pedonal são retirados ou por cálculo direto (para tempos fixos) ou baseados na observação do registo da travessia, permitindo assim perceber em que instante o primeiro peão foi detetado, calculando a partir daí o início da fase de peões. Porque os detetores se encontram a jusante dos movimentos pedonais, houve a necessidade de ajustar os instantes da deteção e registo dos peões, com o instante presumível de início de fase pedonal. Este ajuste foi definido em 6 segundos, o tempo médio observado durante algumas simulações. Em acréscimo, e porque os peões potencialmente desobedientes tendem a deslocar-se a uma velocidade superior, em relação aos obedientes, registam instantes de deteção anteriores aos instantes de deteção dos peões obedientes. Optou-se assim por ceder uma margem de 1 segundo anterior ao início de fase pedonal. Este indicador é dado pela proporção (em %) dos peões dispostos a aproveitar brechas no movimento de tráfego automóvel (peões oportunistas), que de facto conseguem aproveitá-las, desrespeitando assim o sinal.

Pelo esforço envolvido quer computacional, quer de tratamento dos dados, apenas foram consideradas três replicações para cada cenário, resultando a sua média no indicador aqui em questão.

4.4.2 Caracterização dos veículos

4.4.2.1 Tempo de atraso (veículos ligeiros e BUS)

Sendo o nível de serviço de um cruzamento semaforizado habitualmente definido a partir do atraso médio por veículo foi, obviamente, necessária a análise deste indicador. Para tal, e como o *software* contabiliza este atraso de maneira global e por distância percorrida, houve a necessidade de converter esses valores em atraso por veículo. Saliente-se que a análise foi feita separadamente para veículos ligeiros e para veículos BUS.

4.4.2.2 Filas de espera média (veículos ligeiros)

Complementando a análise relativa ao desempenho da rede no que concerne aos veículos ligeiros foram cumulativamente avaliadas as filas médias de espera desses veículos. Idealmente o cruzamento deveria funcionar abaixo da saturação, ou seja, a fila que se forma durante o período de vermelho deveria extinguir-se antes do novo período de vermelho. O indicador considerado foi, assim, o comprimento das filas médias de espera dos veículos ligeiros por hora de simulação, expressos em número de veículos.

4.5. Definição do ciclo base

Uma vez que as soluções em análise são semaforizadas houve a necessidade de estabelecer o plano de operação dos sinais luminosos intrínsecos às mesmas, e por inerência, o ciclo semafórico. O ciclo semafórico é o conjunto dos tempos a atribuir a cada fase (automóvel ou pedonal) e dos tempos de limpeza entre cada fase, devidamente repartidos ao longo do mesmo.

Se ciclos demasiado longos levam a demoras globais do cruzamento muito elevadas, ciclos muito curtos tendem a gerar congestionamentos indesejados por gerarem capacidades máximas de escoamento de tráfego no cruzamento insuficientes para servir a procura. A definição do ciclo deve, portanto, ser ponderada e adequada à situação em causa, e segundo Costa et al (2008), são admissíveis ciclos de durações de 30 a 120 segundos. Quando se define um ciclo semafórico, há que repartir a sua duração pelas fases presentes no cruzamento. Tal é feito em função do índice de carga que os movimentos críticos colocam sobre o cruzamento global. Como este índice só é adaptável a volumes de tráfego motorizado, e não existe propriamente uma equivalência entre uvl e peões, é habitual que o tempo da fase pedonal seja inserida na soma dos tempos perdidos globais do cruzamento.

Tomando aqui como referência a situação a tempos fixos e mais saturada a nível de tráfego motorizado, considerou-se um ciclo de 80 segundos, por se considerar o tempo máximo mais adequado em zonas onde o estudo pretende ser mais conclusivo: centros das cidades, zonas totalmente consolidadas, de grande afluência pedonal e com níveis de tráfego não negligenciáveis. Assim, tomou-se como limite máximo 80 segundos de duração de ciclo, sendo este ajustável em baixa, quando tal é possível, ao tempo de ciclo óptimo referente a cada cenário de saturação automóvel, tendo, claro, verificado que se cumpre sempre o ciclo mínimo prático. Adicionalmente, e sendo que existe um único movimento motorizado a servir, resta definir os tempos perdidos e subtraí-los aos 80 segundos do ciclo para que se saiba o tempo de verde a atribuir à fase automóvel. O ciclo, em termos genéricos, é o descrito na figura 4.4.

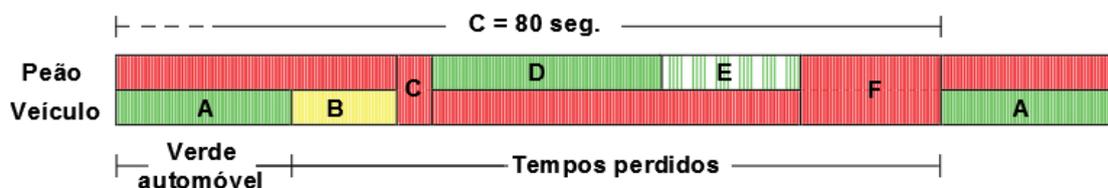


Figura 4.4 - Ciclo semafórico genérico de um sistema atuado com fase exclusiva de peões

4.5.1 Definição dos tempos perdidos

Define-se os tempos perdidos de um ciclo, de uma forma genérica, como o conjunto de tempos do ciclo desaproveitado pelos veículos quer seja no arranque quando o sinal verde se inicia, quer seja na paragem, quando o sinal em amarelo avisa que o mesmo passará a vermelho. De forma simplificada, tende-se a assumir que o tempo perdido no arranque é compensado pelo tempo adicional de passagem (durante o amarelo), resultando grosso modo do somatório dos tempos de amarelo e dos tempos de limpeza entre as fases (Seco et al, 2008). A fase de peões é integrada nos tempos perdidos para o automóvel, pelo que se segue a definição das parcelas tidas nesse somatório:

➤ **Tempo de amarelo**

Como já referido, o tempo de amarelo, luz de aviso aos veículos de que o sinal mudará para vermelho em seguida, deverá ter a duração suficiente para que o condutor tenha tempo de parar em segurança ao avistar o sinal, antes de entrar na intersecção (2008, Costa et al.). Na zona em análise, que é central e urbana as velocidades praticadas são da ordem dos 40 km/h, pelo que se optou por 3 segundos para este tempo, de acordo com as recomendações técnicas.

➤ **Tempos de limpeza**

Há que garantir sempre um tempo mínimo entre o fim de uma fase e o início de outra, que permita a limpeza da intersecção, de maneira a anular os potenciais conflitos entre os movimentos. Assim, houve a necessidade de definir os tempos de limpeza quer entre a fase de veículos e a pedonal, quer vice-versa. Assim, e tomando como base a equação (7), de Costa et al (2008), procedeu-se ao cálculo do tempos necessários à limpeza da intersecção entre os movimentos de veículos e pedonal:

$$tl(T, l) = \frac{d_T + d_v}{v_T} + \frac{D_l}{v_l} \quad (7)$$

Com tal expressão chegou-se a um tempo menor que 1 segundo, pelo que se optou por 1 segundo para esta temporização – habitualmente considerado o mínimo admissível. Já para a determinação do tempo de limpeza entre a fase pedonal e a fase de movimento de tráfego motorizado, tendo por base o DL n.º163/2006, no qual se lê que o sinal relativo aos peões deve estar aberto o tempo suficiente para que o peão consiga efetuar o atravessamento a 0,4 m/s. Atendendo a que tal imposição se torna deveras penalizadora e desnecessária para que o atravessamento dos peões seja confortável e seguro, e com base em Costa et al (2008), optou-se por considerar a velocidade pedonal em 1m/s para o tempo de limpeza em questão, resultando num tempo de limpeza entre as fases de 10 segundos. Sendo que este tempo de limpeza integra o verde intermitente respeitante à fase de peões e o vermelho integral entre as fases pedonal e de veículos, dividiram-se os 10 segundos de tempo de limpeza genérico em 5 segundos para cada um destes períodos.

➤ **Tempo de verde pedonal**

Como já referido, a temporização desta fase baseia-se no DL n.º163 de 2006, que impõe tempos mínimos que deverão ser cumpridos ao nível dos tempos que servem a fase de peões, calculados com base na velocidade a que o peão atravessa a via, velocidade esta que, por se considerar aqui a potencial mobilidade condicionada de certos utilizadores, se fixa em 0,4 m/s. Tal restrição impõe que o sinal esteja aberto 2,5 vezes a largura da via, e pôr em prática esta cláusula compromete todo o plano de optimização, pois estende demasiado o ciclo em questão, impossibilitando a otimização do mesmo (Costa et al, 2008), penalizando todo o desempenho da intersecção. Por tal motivo, e embora preservando a intenção base do referido DL de garantir que um peão possa atravessar a via a 0,4 m/s, usou-se o tempo resultante de tal cláusula, correspondente a 25 s (tendo em atenção os 10m de largura do arruamento), não como tempo

de verde fixo pedonal mas como o somatório das parcelas de verde fixo pedonal + verde intermitente + vermelho integral. Como a parte deste tempo respeitante ao tempo de limpeza, e como referido no ponto anterior se fixa em 10 segundos, o verde pedonal em questão corresponde à diferença, e portanto a 15 segundos.

Assim, chega-se a um total de 29 segundos de tempos perdidos no ciclo, restando 51 segundos úteis ao serviço dos veículos, sendo este portanto o tempo de verde a ceder-lhes, considerando aqui o cenário mais saturado de tráfego motorizado. A figura 4.4 e o quadro 4.1 apresenta o plano de temporização adoptado:

Quadro 4.1 - Temporização do ciclo base

Período	Indicação luminosa	Temporização (seg.)
A	Verde para veículos	51
B	Amarelo para os veículos	3
C	Tempo de limpeza entre fase de veículos e pedonal (vermelho integral)	1
D	Verde fixo para peões	15
E	Verde intermitente para peões	5
F	Tempo de limpeza entre fase de peões e de veículos (vermelho integral)	5

Quanto à definição do ciclo semaforico a usar para cada realidade de tráfego, tomou-se como referência a estratégia de tempos fixos, e houve a necessidade de calcular os ciclos ótimos relativos a cada taxa de saturação em teste. De acordo com o Método de Webster (Webster, 1958 e Costa et al, 2008) o ciclo óptimo (C_o) para certa condição de tráfego é dependente da soma dos tempos perdidos (L) e do índice de carga do cruzamento (Y), e dado pela seguinte expressão:

$$C_o = \frac{1.5*L+5}{1-Y} \quad (8)$$

O índice de carga de determinada fase, dado pelo rácio entre o débito de veículos e o débito de saturação da mesma fase, é o parâmetro que faz variar o ciclo óptimo para cada cenário, já que o somatório dos tempos perdidos se tomou como constante, como apresentado no ponto anterior. O quadro 4.2 elucida os valores a que se chegou para os ciclos ótimos.

Quadro 4.2: Estimativa do ciclo óptimo

Taxa de Saturação	Débito de saturação (2 vias)	Fluxo (2 vias)	Índice de carga	Tempos Perdidos	Ciclo Óptimo	Ciclo adoptado	Verde automóvel adoptado	Ciclo mínimo
x	S (uvl/h)	Qi (uvl/h)	yi	L (s)	C0 (s)	Cadp (s)	Vadp (s)	Cmin (s)
90%	4104	2354	0,57	29	114	80	51	80
70%		1831	0,45		88	80	51	58
50%		1308	0,32		71	71	42	45
30%		785	0,17		59	59	30	40

Como se pode observar, os valores dos ciclos óptimos são superiores ao ciclo base adotado para dois dos cenários a analisar (taxas de saturação de 90% e 70%). Nesses casos, uma vez que se respeita o valor relativo ao ciclo mínimo (presente na última coluna do quadro), que garante inexistência de congestionamento, fixou-se o ciclo em 80 segundos.

A capacidade da via (Q) foi estimada recorrendo a simulações de sobressaturação da interseção, regulada a tempos fixos, com ciclo de 80s, contabilizando o número de veículos que atravessou a interseção durante uma hora de simulação. O débito de saturação (S) presente na segunda coluna do quadro reflete o débito máximo de veículos que pode ser servido para determinada via, em função da duração do ciclo semafórico em questão, e foi calculado com base na expressão 9 seguinte.

$$S = \frac{Q \cdot C}{V_u} \quad (9)$$

Onde Q traduz a capacidade da via, C a duração do ciclo base, e V_u a duração do tempo de verde útil cedido ao movimento dos veículos. Este tempo de verde útil é o tempo realmente aproveitado pelo movimento em causa, isto é, o tempo de verde cedido a determinado movimento, subtraído do tempo perdido pelos veículos no arranque, após a abertura do sinal verde. Os ciclos mínimos a adotar para cada taxa de simulação a testar foram calculados, garantindo a existência de uma capacidade de reserva de 10%, tendo a expressão 10 como base, cujas variáveis já foram apresentadas.

$$C_{min} = \frac{0.9 \cdot L}{0.9 - Y_i} \quad (10)$$

4.6 Simulação em AIMSUN e LEGION

Para poder simular e retirar conclusões sobre o desempenho de cada estratégia sob cada condição de tráfego imposta, recorreu-se como já foi referido a um *software* de simulação de tráfego, o AIMSUN - *Advanced Interactive Microscopic Simulator for Urban and Non-Urban Networks* - adicionado de um *plug in* que trata a simulação do tráfego pedonal – o *Legion*.

O AIMSUN é um simulador que se baseia em sub modelos, e que recria em ambiente virtual, situações do mundo real, permitindo assim o estudo detalhado de cada realidade de tráfego. É

um recurso extremamente útil, no sentido em que permite perceber a adequação de determinada solução viária a determinada condição de tráfego, para posterior implementação real. O modelo de microssimulação trata cada entidade individualmente, seja ela um veículo ou um peão, o que permite expressar o impacto do comportamento de uma entidade noutra que com ela interaja (Tavares et al, 2015).

O *plug-in Legion* permite tratar os movimentos pedonais de uma forma mais aproximada à realidade do que o AIMSUN *per si* permite, na medida em que permite aos peões estabelecerem-se e movimentarem-se em áreas pedonais e não em vias onde circulam peões como o AIMSUN por si só permite, o que se aproxima muito mais do comportamento pedonal, com a liberdade de movimentos que lhe é implícita na realidade. No entanto, o Legion assume que todos os peões são cumpridores, pelo que no presente projeto houve, como se explicará abaixo que recorrer a uma representação menos convencional dos peões desobedientes, com recurso aos procedimentos de modelação oferecidos pelo AIMSUN.

4.6.1 Construção do modelo base

As etapas da construção do modelo concentraram-se em três partes, sendo elas a modelação dos peões, a modelação dos veículos, e a modelação do plano de regulação semafórico.

4.6.1.1 Tratamento dos peões

Querendo representar o mais fielmente a realidade urbana e as diferenças comportamentais do universo de peões houve o cuidado de garantir que o comportamento do conjunto de peões a serem simulados não seria homogéneo. Assim, previu-se a modelação de dois tipos de comportamento pedonal: o de obediência ao sinal luminoso, e o de desobediência potencial face ao mesmo sinal, ou seja, o comportamento dos peões que por algum motivo, renunciam às indicações luminosas para tentar atravessar a via num momento de *gap*, isto é, um intervalo na corrente de tráfego considerado pelo peão suficiente à efetuação do atravessamento.

Para que fosse possível modelar esta diferença comportamental, como já referido acima, foi necessário recorrer a certos artifícios já que a exploração do *Legion* não se mostrou suficiente para a modelação dos dois tipos de peões em causa. Por esse motivo, o tratamento dos peões teve de ser idealizado a dois níveis, modelando o comportamento dos peões obedientes ao sinal que lhes diz respeito através do recurso ao *Legion*, e o comportamento dos peões oportunistas ao mesmo sinal recorrendo ao AIMSUN, o que implica a construção de vias fictícias para suportar o seu movimento.

Recorrendo à modelação em *Legion* é possível criar áreas pedonais onde os peões circularão livremente. Os peões são criados instalando centróides próprios, que, associados a rotas, geram os seus percursos. Assim, criando duas rotas que passam no ponto de atravessamento, e que, portanto, se regerão pelas regras de trânsito implícitas ao atravessamento pedonal, modelaram-se os peões sempre obedientes e respeitadores do código da estrada. De salientar que em planos

de regulação semafóricos atuados o *software* cria automaticamente sensores que reconhecem a presença de peões na entrada da travessia e ativam a chamada da fase pedonal. Como tal, os peões associados a esta modelação baseada no *Legion* são peões que recorrem ao botão e obedientes ao sinal pedonal.

Para modelar o comportamento potencialmente desobediente dos peões, e como já adiantado, o recurso ao *Legion* mostrou-se impraticável, pois o *software* admite sempre prioridade ao peão, e portanto seriam os automóveis a ceder a passagem no momento do cruzamento, o que não vai de encontro à realidade que se quer reproduzir. Assim, para representação da interação entre os veículos e os peões potencialmente não obedientes, construíram-se três vias automóveis fictícias, como forma de representação dos circuitos pedonais em cruzamento com as vias automóveis imediatamente a jusante do local de travessia. Nestas vias com 0,5m de largura, permitindo uma velocidade máxima de 8km/h, é imposto ao peão que ceda passagem aos veículos. Tal é feito seguindo o “*gap-acceptance model*”, ou seja, o sub modelo que rege as situações de cedência de passagem, com base na distância a que o peão se encontra do veículo em aproximação. Se o peão avaliar essa distância em valor superior à distância mínima necessária a que o veículo tem de estar, para que dê tempo para que possa efetuar o atravessamento, ele avança. Caso contrário, espera por futura oportunidade, aproveitando um tempo de intervalo entre veículos superior. Este tempo é, claro, sempre dependente da velocidade a que o veículo circula, e da distância a que se encontra do ponto de conflito com o peão aquando da decisão. Esta distância de visibilidade sobre o movimento automóvel é calibrável e foi definida em 77 metros, sendo esta a que garante que o peão tenha tempo de atravessar a via de 10 metros de largura em segurança a uma velocidade média de 6,5 km/h, quando avista um veículo a uma velocidade média de 37.5 km/h. Complementando esta tomada de decisão, existe ainda um parâmetro de “*maximum give-way time*” que, como o nome indica, é o tempo máximo que o peão está disposto a esperar até que se impacienta, ou seja, fica aberto a aceitar intervalos de tempo entre veículos menores. Este parâmetro foi fixado em 40 segundos.

O *software* permite calibrar este tipo de peões a nível das suas dimensões, velocidade máxima desejada, aceleração máxima, bem como desacelerações, presentes no quadro seguinte.

Quadro 4.3 - Parâmetros de modelação dos peões oportunistas

	Média	Desvio	Mínimo	Máximo
Extensão (m)	0.5	0.0	0.5	0.5
Largura (m)	0.5	0.0	0.5	0.5
Velocidade máxima desejada (km/h)	7.0	1.0	6.0	8.0
Aceleração máxima (m/s ²)	0.5	0.2	0.3	0.7
Desaceleração máxima (m/s ²)	1.2	0.2	0.5	1.6
Desaceleração normal (m/s ²)	1.5	0.2	1.0	2.0

4.6.1.2 Tratamento dos veículos motorizados

As vias dedicadas ao movimento motorizado refletem as condições de circulação tendenciais em ambiente urbano e central, de 3 metros de largura e com velocidade máxima de 50km/h, constituindo assim uma faixa de rodagem de duas vias de trânsito banalizado, incorporando uma terceira via BUS na via mais à direita. Esta é de utilização obrigatória por parte dos veículos de transporte coletivo e interdita ao restante tráfego generalizado. Integrou-se esta adenda no estudo no sentido de espelhar uma realidade frequente em ambiente urbano e central, constituindo-se como uma medida de apoio ao transporte coletivo e que reflete o *layout* da situação real que se tomou como referência.

Quanto à circulação do tráfego generalizado é de referir que o *software* corre a simulação determinando o comportamento de cada veículo, particularmente a velocidade, em função não só das condições e regras de circulação das vias em causa, mas também, e obviamente, do ambiente de tráfego instalado, ou seja do comportamento adotado pelos outros veículos. Tal é conseguido a partir da execução de um sub modelo que se divide a dois tempos: determinação da velocidade máxima a que o veículo pode circular (em função da sua aceleração); e determinação da velocidade a que o veículo circula, em função não só do primeiro passo, como também da velocidade a que o veículo à sua frente circula. Este sub modelo designado de *car following*, e como a faixa congrega em si duas vias comuns ao tráfego generalizado, complementou-se ainda com outro sub modelo, de *lane changing*, que confere aos veículos a possibilidade de mudança de via, desde que o consigam fazer em condições de segurança. Esta ferramenta abre a possibilidade a que os veículos considerem a ultrapassagem do veículo precedente, mas também se posicionem corretamente para seguir por determinado movimento em momento de aproximação a uma interseção.

Finalmente, procedeu-se à modelação dos veículos propriamente ditos. À semelhança dos peões, o *software* também permite calibrar certos aspetos relativos às dimensões, velocidades, acelerações e desacelerações dos veículos motorizados. Adotaram-se, para todas as características as de pré definição do *software*, indicadas no quadro 4.4 sendo de salientar que a velocidade máxima a praticar pelos veículos será sempre de valor inferior ou igual à velocidade limite permitida para a via em que se movimentam.

Quadro 4.4: Parâmetros de modelação dos veículos ligeiros e BUS

	Média		Desvio		Mínimo		Máximo	
	Veículo ligeiro	BUS						
Extensão (m)	4	12	0.5	0	3.5	12	4.5	12
Largura (m)	2	2.5	0.0	0	2	2.5	2	2.5
Velocidade máx desejada (km/h)	110	90	10	10	80	70	150	100
Aceleração máxima (m/s ²)	3	1	0.2	0.3	2.6	0.8	3.4	1.8
Desaceleração máxima (m/s ²)	7	2	2	1	5	1.5	9	4.5
Desaceleração normal (m/s ²)	8	5	0.5	1	7.5	4	8.5	6

4.6.1.3 Representação do modelo base

A representação do modelo que foi utilizado na generalidade das simulações está esquematizada na figura seguinte:

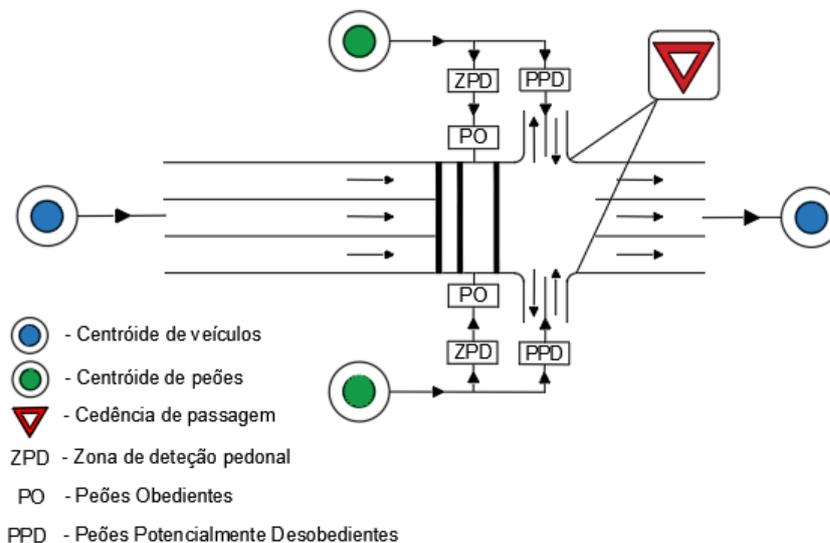


Figura 4.5 – Esquema representativo do modelo de simulação

4.6.2. Um modelo Otimizado

Numa segunda fase dos trabalhos procurou desenvolver-se uma modelação mais otimizada capaz de dar resposta a duas questões entretanto identificadas como potencialmente relevantes: a representação de peões potencialmente desobedientes, mas que primem a botoneira de chamada da fase pedonal, por oposição aos peões desobedientes já considerados na modelação, que não recorrem à botoneira; uma representação mais realista da variabilidade de comportamentos que os peões podem adoptar. Este modelo alternativo apresenta-se não com duas, mas com três variações de comportamento pedonal como se define de seguida:

- Peões Cumpridores: Associados ao *Legion*, estes peões ativam a chamada de verde pedonal e apenas avançam no sinal verde.
- Peões Oportunistas: Modelados através de peão-veículo do AIMSUN, ativam a chamada de verde pedonal, porém, avançam se detetarem intervalos na corrente de tráfego suficientes ao atravessamento.
- Peões não Cumpridores: Modelados através de peão-veículo do AIMSUN, não ativam a chamada de verde pedonal, avançando se detetarem intervalos na corrente de tráfego suficientes ao atravessamento.

Esta modelação não chegou a ser aplicada no processo de teste das estratégias mas considera-se que as novas especificações consideradas apresentam um potencial significativo de aumento do realismo da modelação deste tipo de problemas.

4.6.3 Os cenários de procura

Após a construção da rede e da sua calibração é necessário carregá-la com tráfego para poder iniciar a simulação. Para tal, é necessário definir as matrizes de origem/destino para cada tipo de veículo e peões, e os valores que as constituem são representativos dos volumes de uma entidade integrante no tráfego, seja ela um peão ou um veículo motorizado, para cada par de origem e destino por unidade de tempo.

4.6.3.1 Tratamento dos peões

De forma a perceber as diferenças na operação das diferentes estratégias consoante o nível de procura pedonal, efetuaram-se simulações para diferentes escalões de procura pedonal correspondentes aos cenários acima especificados: do valor base de 100, a 200, 300, 400 e 500 peões por hora e por sentido. Inicialmente todos os peões a serem gerados teriam um comportamento obediente em relação ao sinal, e posteriormente aplicaram-se taxas de desobediência potenciais (peões que não carregam na botoneira e que, se tiverem oportunidade, atravessam no vermelho), ou seja, 25% ou 50% destes peões iniciaria percurso nas vias em cruzamento de cedência de passagem aos veículos.

4.6.3.2 Tratamento dos veículos motorizados

Como foi referido antes, para assegurar a relevância dos resultados deste estudo definiram-se também vários níveis de procura, ou taxas de saturação da via, para a mesma estratégia a testar. Como a via correspondente ao estudo de caso não apresentou volumes de tráfego para os períodos de ponta a níveis próximos da capacidade real das vias, recorreu-se ao AIMSUN para a estimar, sobrecarregando o modelo de forma a extrair o valor do fluxo de veículos simulado representativo dessa mesma capacidade. Com o ciclo semaforico base já definido, sobressaturou-se o modelo para um total de 6000 veículos/hora, o que resultou num fluxo de 2616 veículos que concluíram o percurso numa hora de simulação, sendo essa então a

capacidade considerada para as duas vias de trânsito automóvel para o ciclo semafórico máximo (de 80 segundos) e para os tempos de verde da fase pedonal considerados.

Em relação à taxa de veículos BUS, e retirando das contagens reais a sua percentagem em relação aos veículos ligeiros, percebe-se que este tipo de tráfego corresponde a sensivelmente a 11.3% do global, e portanto será essa a referência (148 BUS/h).

4.6.4 Dados a recolher da microssimulação

Estabeleceram-se como dados a reter para efeitos de quantificação dos relevantes indicadores de desempenho das diferentes estratégias, os que dizem respeito ao atraso de peões e veículos, e ao comprimento das filas de espera dos veículos. Os dados selecionados serão a base do cálculo dos indicadores de desempenho a analisar neste estudo, presentes no ponto 4.4. De forma a conseguir simular cada situação de tráfego com boa aproximação à realidade, o *software* segue determinadas leis probabilísticas para gerar cada simulação. Para que não se incorra no erro de generalizar os resultados a partir de uma só simulação, replicou-se cada condição de tráfego 10 vezes, em simulações independentes. Os resultados analisaram-se com base nos valores das médias de cada conjunto de 10 replicações, para cada cenário de tráfego imposto. Só na análise da percentagem de atravessamentos em vermelho pedonal as replicações analisadas serão reduzidas às três primeiras replicações, do conjunto das 10 já definidas *à priori* para cada cenário em teste, por ser demasiado moroso o processo, quer de simulação (retirando contagens ao segundo), quer de análise das matrizes de deteção das supostas dez simulações em análise.

É ainda de salientar que se recorreu à ferramenta de *warm-up* do *software*, que efetua um pré-carregamento da rede durante um período definido pelo utilizador. Assim, o início da simulação coincidirá com o final desse período estabelecido de aquecimento (ou *warm up*), o que se aproxima mais da realidade evitando que a mesma se inicie sem veículos (ou peões) na rede. Esse período foi estabelecido em 5 minutos.

Após o correr das 10 replicações (ou 3) para cada cenário em análise foram calculadas as médias do conjunto de *outputs* que o *software* tratou.

5 ANÁLISE DOS RESULTADOS DO ESTUDO DE CASO

Como já explicado, a análise do conjunto dos resultados foi baseada na dos valores obtidos para cada um dos cinco indicadores de desempenho já definidos no ponto 4.4. Assim, e quanto ao desempenho relativo ao movimento pedonal serão tidos como referência os tempos médios de espera dos peões, e a percentagem de atravessamentos no vermelho. Em relação ao desempenho implícito ao tráfego automóvel, serão analisadas os tempos de atraso médios e os comprimentos médios das filas de espera no ponto de atravessamento

5.1 Estratégia base a tempos fixos

A estratégia base, porque é de temporização fixa, não regista alterações significativas no seu desempenho para a mesma taxa de saturação seja ele relativo ao trânsito automobilizado, ou ao pedonal. Os indicadores tendem a aproximar-se de uma constante, sendo a variação da procura e do comportamento pedonal no modelo quase irrelevante na variação dos mesmos quando se fala desta estratégia.

De facto, só para elevados valores de procura pedonal (acima dos 400 peões por sentido e por hora) é que se registam flutuações no atraso associados aos veículos (ver quadro 5.1), penalizando-os levemente em relação a níveis de procura inferiores. Tal facto pode dever-se ao atrito que a elevada afluência ao ponto de atravessamento por parte dos peões poderá induzir no desempenho dos movimentos automóveis.

Quadro 5.1 - Indicadores relativos ao desempenho dos veículos - Estratégia Base.

Taxa de saturação	90%	70%	50%	30%
Atraso veic. (s/veic)	17,34	13,81	13,10	13,28
Atraso BUS. (s/BUS)	12,86	11,89	11,86	12,48
Fila Média (veíc.)	7,10	3,95	2,57	1,67

Verifica-se que, estando os valores dos atrasos médios relativos quer aos veículos quer aos veículos BUS sempre entre os 10 e os 20 segundos, o cruzamento se revela do nível de serviço B, isto é o segundo melhor nível de uma escala de 6 níveis, estabelecidos pelo *Highway Capacity Manual* (TRB, 2000). As filas de espera observadas para uma hora de simulação são obviamente decrescentes à medida que a reserva de capacidade aumenta. Nos cenários mais saturados a fila média chega aos 7 veículos por via nos cenários mais carregados (a 90%).

Relativamente ao desempenho pedonal, focando nos tempos de paragem médio dos peões, também a sua variação é muito subtil quando a estratégia em análise é a tempos fixos (ver quadro 5.2), sendo estes tempos principalmente função da temporização do ciclo per si.

Também aqui a variação do volume de peões e do seu comportamento não influencia o indicador em questão (apresentando variações sempre inferiores a 1 segundo). Verificam-se tempos de paragem médios de cerca de 26 segundos para os cenários de maior taxa de saturação (90% e 70%) e de cerca de 21,5 segundos para os cenários mediadamente saturados (a 50%). Estes valores remetem para um desempenho associado ao nível de serviço C, balizado entre 20 e 30 segundos de atraso médio por peão, estabelecido, mais uma vez, pelo HCM 2000. Já para cenários não saturados (a 30%), verifica-se um nível de serviço superior (B), contabilizando-se um tempo de paragem médio de cerca de 15 segundos por peão, justificado pelos ciclos mais curtos que estes cenários praticam.

Quadro 5.2 - Indicadores relativos ao atraso médio por peão - Estratégia Base

Taxa de saturação	90%	70%	50%	30%
Tempo de paragem médio por peão (s/peão)	26,10	25,94	21,53	15,02

Relativamente ao estudo da percentagem de peões efetivamente desobedientes, taxas de saturação automóvel inferiores resultam em maiores oportunidades de atravessamento em desobediência. Além disso, são aqui decisórias as variações dos fatores afetos ao comportamento de potencial desobediência dos peões. Na análise dos cenários em que 25% dos peões admite a desobediência ao sinal (ver figura 5.1) para efetuar o atravessamento contabilizaram-se mais peões (18,5%) que efetivamente desobedeceram para taxas de saturação inferiores (50 e 30%), em relação a taxas de saturação automóvel superiores, onde a média de atravessamentos em desobediência se fixa em 7%.

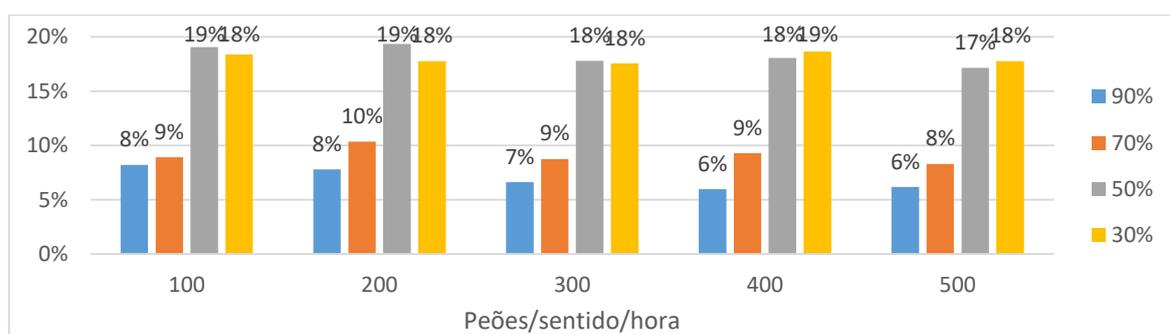


Figura 5.1 - % Peões deobedientes para cenários em que 25% admite a desobediência.

No que toca a cenários em que 50% da matriz pedonal está disposta à desobediência, a análise resulta (ver Figura 5.2) na maior expressão da percentagem de desobediência para cenários saturados abaixo da capacidade, a 50% e 30% da mesma, e para baixos volumes de peões a recorrer ao atravessamento da via. Por outro lado, em cenários saturados as taxas de desobediência variam entre os 10 e 20%, assumindo o mínimo para o fluxo de 400 peões/sentido e na situação mais saturada (90% da capacidade). Verifica-se ainda uma tendência ligeiramente

decrecente do indicador quando há mais peões envolvidos, transversal à variação da saturação das vias.

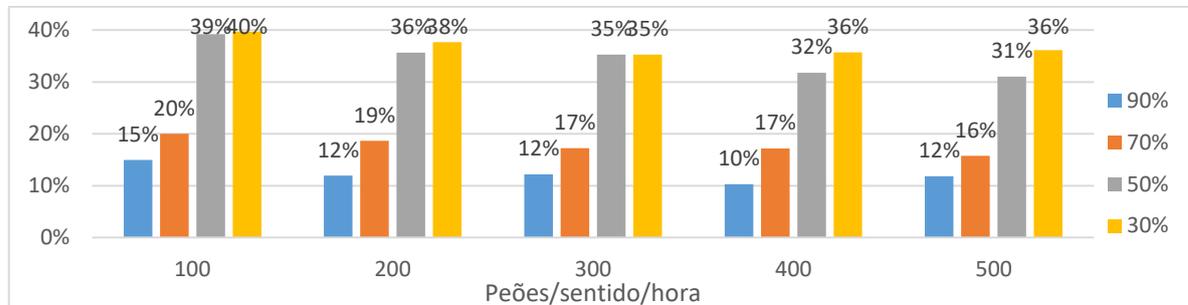


Figura 5.2 - % Peões desobedientes para cenários em que 50% admite a desobediência.

5.2 Análise comparativa das estratégias atuadas

A estratégia de suporte ao peão, cuja operação assenta no funcionamento a tempos atuados, é da todas as estratégias a que quer ser mais amiga do peão, e quis-se analisar para perceber o impacto que tal medida de prioridade tem no ambiente de tráfego global. Para a sua análise, além de ser necessário a observação dos indicadores obtidos nos seus valores absolutos, é também necessário o estudo comparativo entre as demais estratégias. Este será o estudo das diferenças entre as médias dos indicadores obtidos para os três tipos de comportamentos pedonal de cada estratégia. Esta diferença estabelece-se percentualmente em relação aos indicadores obtidos em cenários equivalentes na estratégia com a qual a comparação é feita.

5.2.1 Cenários com taxas de saturação a 90%

A estratégia de prioridade aos peões é-o de maneira indireta, isto é, define-se em dependência da potencial redução dos ciclos, à custa da penalização do tempo da fase de verde a ceder à corrente de tráfego rodoviário. Acontece que em cenários totalmente ou quase saturados, como no caso em análise, os ciclos práticos que ambas as estratégias atuadas operam são exatamente os mesmos para cenários equivalentes, pois o ciclo que opera a estratégia atuada simples é já o ciclo mínimo possível (80 segundos).

De facto, aquando da análise dos indicadores entre as estratégias atuadas para os cenários em que a saturação é próxima da total, e para as mesmas combinações, verifica-se que não há variações entre nenhum dos indicadores de desempenho em análise. Comparativamente à estratégia base a tempos fixos, a semelhança entre os desempenhos das estratégias atuadas já comentada, implica a semelhança das diferenças de desempenho entre ambas as estratégias atuadas e a estratégia base. Por tal motivo, dispensa-se aqui a visualização de gráficos ou tabelas detalhadas.

5.2.2 Cenários com taxas de saturação a 70%

Para cenários saturados a 70% da capacidade viária a estratégia atuada de suporte ao peão opera para o ciclo mínimo adequado ao nível de tráfego em questão, o qual se fixa em 58 segundos, o que representa uma diferença de 22 segundos em relação ao ciclo óptimo inerente às estratégias anteriores. Tal redução no ciclo implica obviamente diferenças significativas entre o desempenho desta estratégia comparativamente às demais.

A figura 5.3 elucida os valores dos indicadores relativos ao desempenho do trânsito motorizado para as três estratégias analisadas ao longo deste estudo (médias entre os três tipos de comportamento pedonal previstos). No que diz respeito aos atrasos médios dos veículos é de concluir que a possibilidade de redução do ciclo, através da redução do tempo de verde atribuído à fase de veículos, gera atrasos largamente superiores aos verificados para as outras estratégias, na generalidade dos cenários. Verifica-se ainda que os tempos médios de atraso tendem a ser superiores para volumes de procura pedonal superiores. Ainda assim, a travessia revela-se de nível B de serviço associado à quase totalidade dos cenários. Para uma procura extrema, com 500 peões/sentido/hora, observam-se tempos de atraso médio por veículo de 20,8 segundos, o que representa uma diferença de cerca de 49% em relação ao mesmo indicador na estratégia atuada, e de 51% quando comparado aos dados da estratégia base.

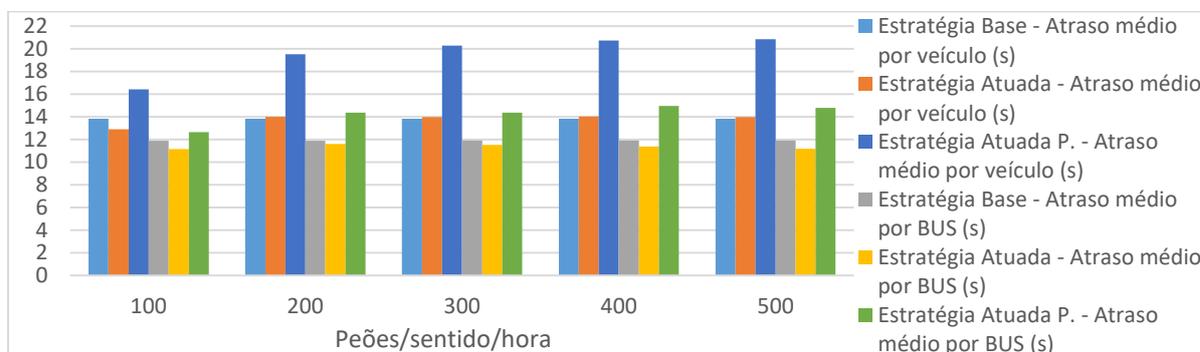


Figura 5.3 – Atrasos médios por veículo e por BUS – Todas as estratégias –70% Sat.

Ao aplicar esta estratégia, as filas médias seguem a tendência dos tempos médios de atraso, verificando-se ligeiros aumentos das mesmas para afluências ao ponto de travessia superiores.

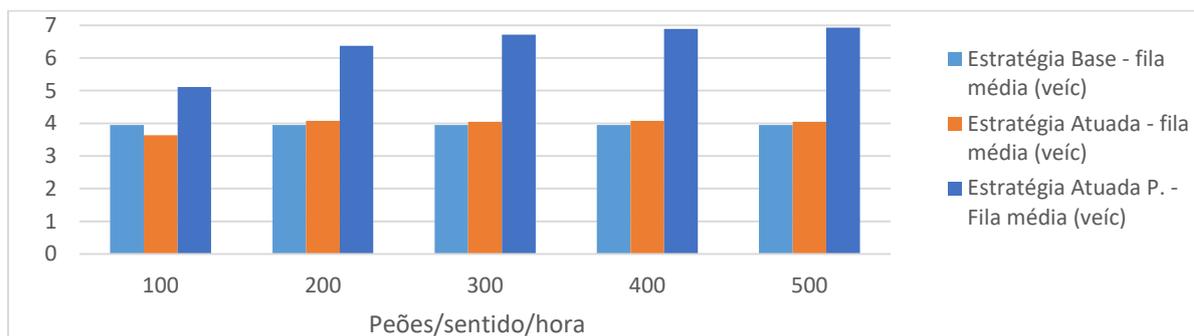


Figura 5.4 – Filas médias dos veículos – Todas as estratégias –70% Sat.

Já no que diz respeito ao desempenho do movimento pedonal esta estratégia beneficia claramente os peões, garantindo tempos de paragem médios bastante inferiores aos observados para as outras estratégias (ver figura 5.4). Este benefício vai tomando expressão até que os volumes pedonais sejam suficientes para que os ciclos em prática se aproximem do definido como mínimo, onde este tempo de paragem tende a oscilar entre os 16 e os 17 segundos por peão.

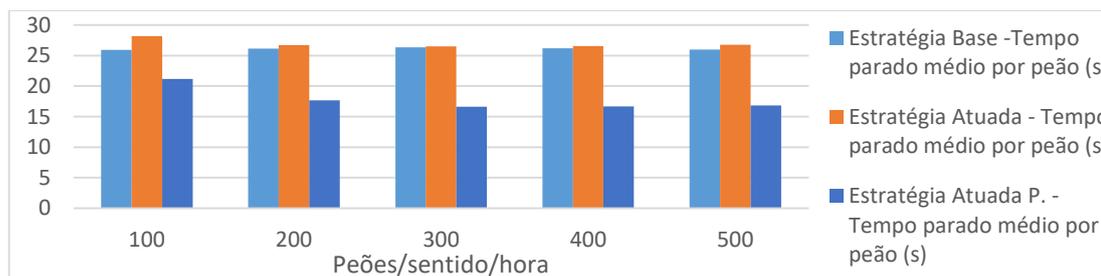


Figura 5.5 – Tempos de paragem médios por peão – Todas as estratégias – 70% Sat.

De uma maneira geral (ver quadro 5.3) a estratégia atuada de suporte aos peões mostra-se satisfatória no seu desempenho relativo ao movimento pedonal, se as condições de tráfego pedonal permitirem o seu funcionamento em pleno, isto é, que induzam a operação de ciclos aproximados ao ciclo mínimo estipulado. Ainda assim, tal é obtido à custa do sacrifício do trânsito viário no seu atraso médio, sendo o mesmo de impacto ligeiramente superior ao benefício nos tempos de paragem pedonais.

Quadro 5.3 - Diferenças percentuais entre a estratégia atuada com suporte ao peão e as demais estratégias – 70% Sat. - Todos os indicadores de desempenho.

Estratégia em comparação	Atuada		Base		Atuada		Base		% Peões Desobedientes (Atuada)		% Peões Desobedientes (Base)	
	Atuada	Base	Atuada	Base	Atuada	Base	Atuada	Base	25% PPD	50% PPD	25% PPD	50% PPD
Nº peões	Atraso médio (s/veíc)		Atraso médio (s/BUS)		Fila média (veíc.)		Tempo parado médio por peão (s)		25% PPD	50% PPD	25% PPD	50% PPD
100	27%	19%	13%	6%	41%	29%	-25%	-18%	-1%	-8%	118%	92%
200	39%	41%	24%	21%	56%	61%	-34%	-33%	-13%	-8%	77%	94%
300	45%	47%	25%	21%	66%	70%	-37%	-37%	-24%	-23%	70%	75%
400	48%	50%	31%	26%	69%	74%	-37%	-36%	-27%	-28%	45%	61%
500	49%	51%	32%	24%	71%	76%	-37%	-35%	-35%	-26%	53%	65%

No geral, e como se verifica pelo quadro 5.3, as diferenças são similares quando se compara a estratégia atuada de suporte pedonal à estratégia atuada simples ou à estratégia base. Tal incorre do facto das diferenças observadas entre as demais estratégias não serem significativas para cenários saturados a 70%.

Na análise da diferença entre o desempenho da estratégia atuada de suporte aos peões e a estratégia atuada base, e no que toca aos atravessamentos em desobediência, é possível constatar pela observação do quadro anterior que a estratégia aqui em análise mostra um desempenho mais satisfatório na medida em que, ao conferir mais fases pedonais ao longo da simulação, há menos peões que atravessam durante o sinal vermelho. Pode ainda constatar-se que a desobediência tende a decrescer para volumes de peões crescentes.

5.2.3 Cenários com taxas de saturação a 50%

Para funcionamento das vias a somente 50% da sua capacidade, e quando comparada a estratégia atuada de apoio ao peão com a atuada simples, verificam-se penalizações que se acentuam, mais uma vez, se a afluência à travessia aumenta. Estas penalizações são, em geral (ver Figura 5.5), mais expressivas que nos cenários mais saturados (a 70%), e no pior dos casos (de saturação pedonal mais extrema), os atrasos médios dos veículos chegam a ser 179% pior nesta estratégia, relativamente à estratégia base, continuando, no entanto, em valor absoluto a ser bastante moderados. No melhor cenário, onde somente 100 peões atravessam a via por sentido, a penalização é a mínima, totalizando os 16 segundos de atraso médio por veículo – 22% pior que a estratégia base, e 34% pior que a estratégia atuada simples. O serviço associado ao desempenho do cruzamento decresce aqui, ao nível C, estabelecido para atrasos médios entre 20 e 35 segundos por veículo, para afluências à travessia superiores a 200 peões por sentido. Também os atrasos médios por veículo BUS tendem a ser superiores se a estratégia prevê a possível redução do ciclo por atuação pedonal, havendo obviamente uma tendência crescente dos mesmos para maiores volumes de procura pedonal.

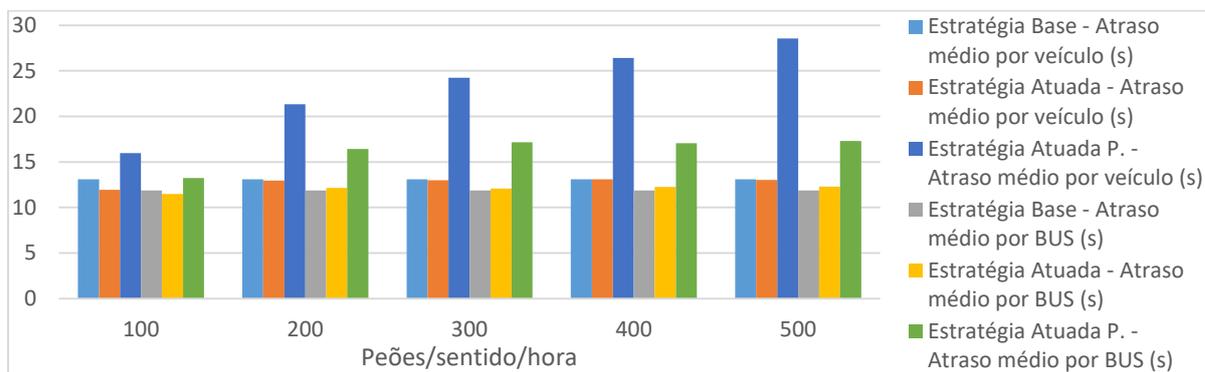


Figura 5.6 – Atrasos médios por veículo e por BUS – Todas as estratégias – 50% Sat.

As filas médias de veículos em espera são sempre superiores para a estratégia atuada de suporte aos peões, registando-se superiores para procuras pedonais também superiores, como se pode retirar da observação da figura 5.7.

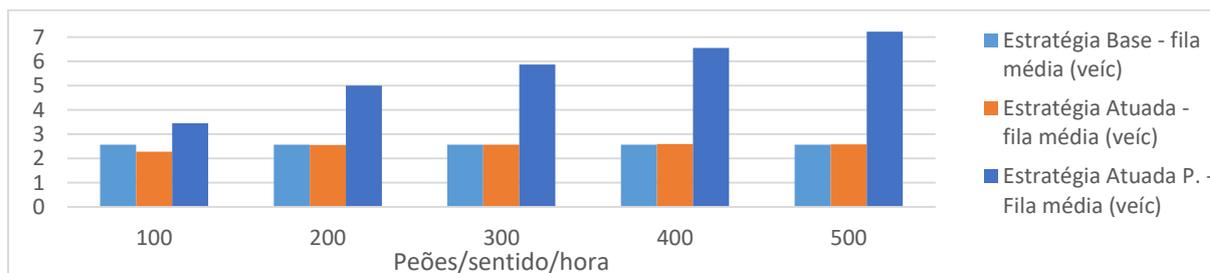


Figura 5.7 – Filas médias dos veículos – Todas as estratégias – 50% Sat.

O desempenho pedonal (ver Figura 5.8) é claramente mais eficiente para a estratégia a tempos atuados e de prioridade ao peão. Verificam-se reduções nos tempos médios de paragem por peão, em comparação às outras estratégias. Os tempos de paragem médios por peão em termos absolutos tendem para os 11 segundos por peão se a procura pedonal estabelecida é suficiente para a operação dos ciclos sob os tempos mínimos, mais uma vez para procuras pedonais acima dos 300 peões por sentido em momento de atravessamento.

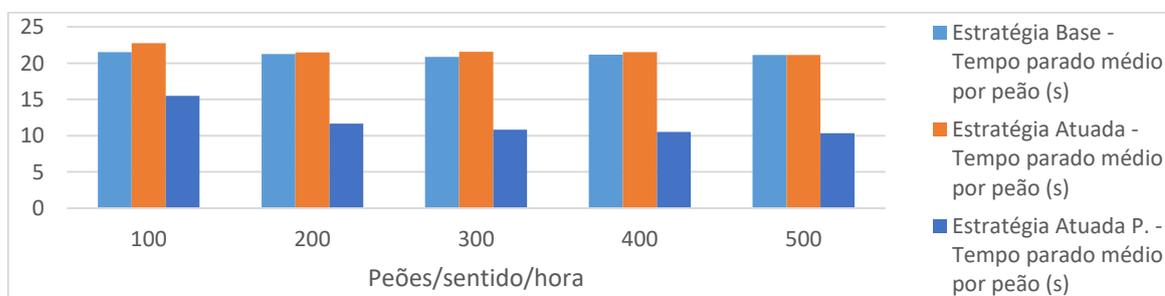


Figura 5.8 – Tempos de paragem médios dos peões – Todas as estratégias – 50% Sat.

É de salientar que para estes cenários a estratégia atuada de suporte ao peão induz uma performance da travessia de nível de serviço B para todos os escalões de procura pedonal. A partir da observação do quadro 5.4 chega-se à conclusão de que esta estratégia consegue benefícios até cerca de 50% nos tempos de paragem médios pedonais. Tais benefícios são tidos à conta da redução dos tempos de verde a ceder aos veículos, que se traduz num aumento de até 119% no atraso médio por veículo e de até 180% da fila média dos mesmos (no pior cenário).

Quadro 5.4 - Diferenças percentuais entre a estratégia atuada com suporte ao peão e as demais estratégias – Cenários 50% Sat. - Todos os indicadores de desempenho.

Estratégia em comparação	Atuada		Base		Atuada		Base		% Peões Desobedientes (Atuada)		% Peões Desobedientes (Base)	
	Atraso médio (s/veíc)	Atraso médio (s/BUS)	Fila média (veíc.)	Tempo parado médio por peão (s)	25% PPD	50% PPD	25% PPD	50% PPD				
Nº peões												
100	34%	22%	15%	12%	51%	34%	-32%	-28%	-6%	-2%	-2%	10%
200	65%	63%	35%	39%	96%	95%	-46%	-45%	-9%	-5%	-13%	-4%
300	87%	85%	42%	45%	128%	129%	-50%	-48%	-17%	-19%	-15%	-15%
400	102%	102%	39%	44%	152%	155%	-51%	-50%	-15%	-14%	-21%	-15%
500	119%	118%	41%	46%	180%	182%	-51%	-51%	-16%	-11%	-20%	-10%

Também para cenários saturados a 50% a estratégia atuada de apoio ao peão se mostra mais satisfatória relativamente à outra estratégia atuada, embora com diferenças no desempenho um pouco inferiores que para a saturação apresentada no ponto anterior. Mais uma vez se verifica a tendência da diminuição da desobediência para volumes superiores de peões envolvidos, não marcando a diferença entre os potenciais comportamentos aqui diferenças de relevo (ver em detalhe o quadro 5.4). Para esta taxa de saturação a estratégia em causa apresenta-se também satisfatória na quase totalidade dos cenários, face à estratégia base, ao contrário do que acontece para taxas de saturação a 70%.

5.2.4 Cenários com taxas de saturação a 30%

Para situações claramente sub saturadas, a somente 30% da capacidade das vias, a estratégia visa a possível redução do ciclo até aos 40 segundos, o que se traduz num verde mínimo a ceder aos veículos de somente 11 segundos.

O desempenho relativo aos veículos é penalizado para a estratégia atuada de suporte aos peões, porém em menor gravidade que para outras taxas de saturação, face às restantes estratégias. Quer os tempos de atraso médios por veículo, quer as filas médias dos veículos sofrem as menores subidas em relação aos mesmos tempos nas outras estratégias. As tendências observadas nos tempos de atraso médio por veículo BUS são similares com as demais taxas de saturação. A figura 5.9 elucida os tempos de atraso médios por veículo BUS para a generalidade

dos cenários de procura pedonal, e a figura 5.10, representa os comprimentos médios das filas de espera dos veículos. O desempenho associado ao cruzamento revela-se aqui beneficiado, ascendendo ao nível de serviço B para qualquer escalão de fluxos pedonais. Esta estratégia revela-se bastante aceitável do ponto de vista do desempenho do cruzamento para os veículos motorizados.

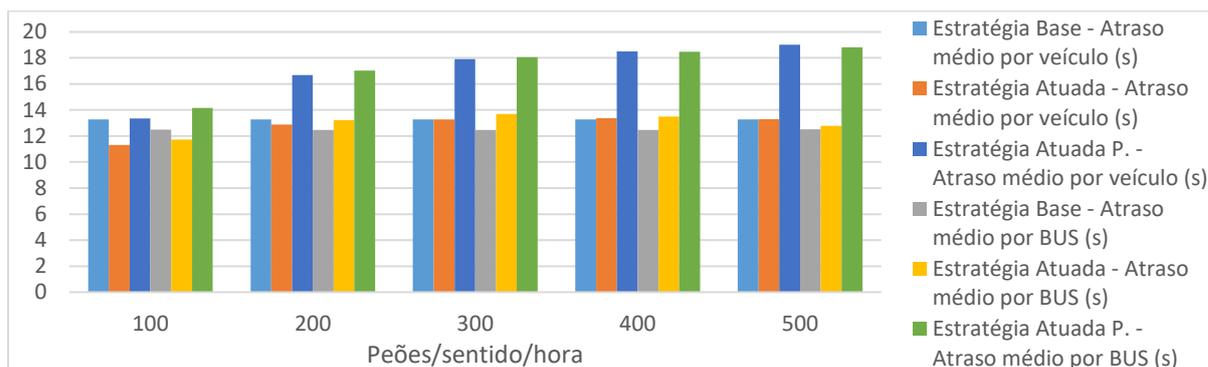


Figura 5.9 – Atrazos médios por veículo e por BUS – Todas as estratégias – 30% Sat.

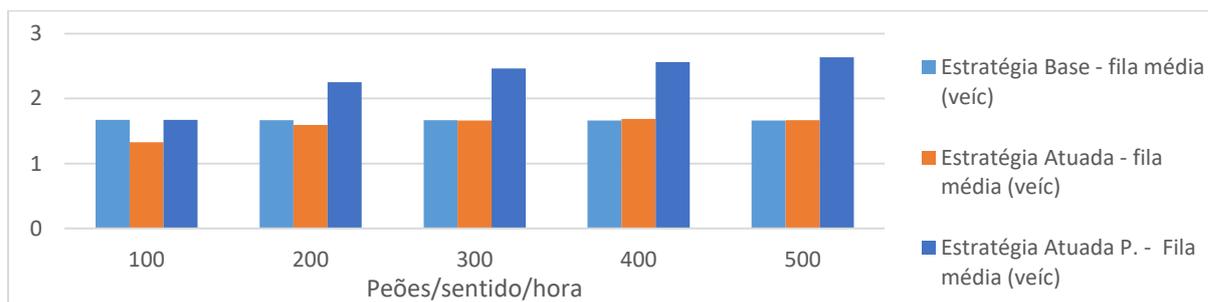


Figura 5.10 – Filas médias de espera dos veículos – Todas as estratégias – 30% Sat.

Para intensidades de tráfego muito abaixo da capacidade máxima potencial (correspondente ao ciclo máximo admissível), como nos cenários aqui em análise, a estratégia atuada com suporte ao movimento pedonal, revela o seu melhor desempenho, subindo ao nível de serviço A (com tempos de paragem médios entre os 8 e os cerca de 9 segundos por peão) para cenários com procura pedonal acima dos 100 peões por sentido de travessia (ver Figura 5.11).

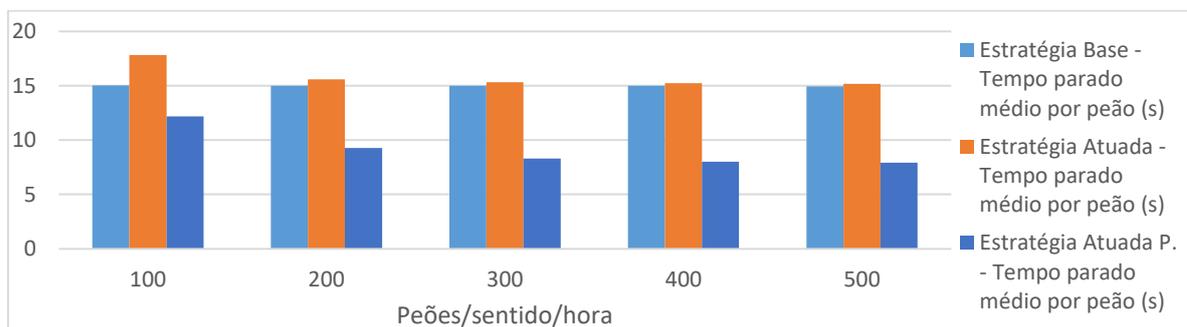


Figura 5.11 – Tempos de paragem médios por peão – Todas as estratégias – 30% Sat.

Em conclusão, para cenários de funcionamento a somente 30% da capacidade esta estratégia mostra-se claramente interessante do ponto de vista do desempenho global do cruzamento. O quadro 5.5 ilustra as diferenças entre as estratégias para os diversos indicadores de desempenho.

Quadro 5.5 - Diferenças percentuais entre a estratégia atuada com suporte ao peão e as demais estratégias – 30% Sat.- Todos os indicadores de desempenho.

Estratègia em comparação	Atuada		Base		Atuada		Base		% Peões Desobedientes (Atuada)		% Peões Desobedientes (Base)	
	Atuada	Base	Atuada	Base	Atuada	Base	Atuada	Base	25% PPD	50% PPD	25% PPD	50% PPD
Nº peões	Atraso médio (s/veíc)		Atraso médio (s/BUS)		Fila média (veíc.)		Tempo parado médio por peão (s)		25% PPD	50% PPD	25% PPD	50% PPD
100	18%	1%	21%	13%	26%	0%	-32%	-19%	0%	3%	6%	3%
200	29%	26%	29%	37%	41%	35%	-40%	-38%	-19%	-11%	-5%	-7%
300	35%	35%	32%	45%	48%	48%	-46%	-45%	-25%	-25%	-24%	-24%
400	38%	40%	37%	48%	52%	54%	-47%	-47%	-27%	-27%	-32%	-32%
500	43%	43%	47%	50%	58%	59%	-48%	-47%	-18%	-18%	-22%	-22%

Para volumes de procura até 100 peões por sentido de atravessamento esta estratégia mostra beneficiar o trânsito pedonal em 32%, o que advém do aumento do atraso automóvel em 18%, relativamente à estratégia atuada. Em relação à estratégia de referência a tempos fixos, o suporte ao peão que esta estratégia prevê, penaliza os tempos de atraso por veículo em somente 1%, e verifica um decréscimo de 19% no que diz respeito ao tempo de paragem médio do peão.

A percentagem de atravessamentos inadequados na estratégia atuada de suporte pedonal revela-se mais uma vez inferior para a maioria dos cenários estudados, em relação às demais estratégias. As reduções para este indicador revelam-se aqui mais expressivas, não sendo aqui de realçar nenhuma relação entre o volume de peões e as percentagens de atravessamentos indevidos.

6 CONCLUSÕES E TRABALHOS FUTUROS

Este trabalho centrou-se na avaliação de diferentes estratégias de controlo dos movimentos pedonais numa travessia semaforizada, e dos seus impactos no desempenho viário e pedonal. A revisão bibliográfica permitiu identificar e analisar variadas políticas de prioridade já idealizadas, e alternativas à clássica operação de travessias a tempos fixos, estratégia de referência tida neste estudo.

As medidas de controlo do estilo *Pelican* permitem ao peão chamar a fase de verde pedonal, e o sistema semaforizado ceder-lhe-á, mal se cumpra o verde mínimo aos veículos, pré definido em função da intensidade de tráfego esperada, de maneira a não sobressaturar a intersecção. Assim, um peão que chegue no início do ciclo, isto é, do verde automóvel, terá de aguardar até que se cumpra o verde mínimo dos veículos, o que pode originar frustrações, e induzir a atravessar durante esse tempo.

Do capítulo 3 pode concluir-se que as soluções a tempos fixos (local A), se associadas a ciclos demasiado longos, podem induzir elevados índices de desobediência pedonal como é o caso em que 59% dos peões é desobediente para com o sinal que lhes diz respeito. O local B, que incorpora duas soluções do estilo *Pelican*, já se denota mais fiel nesse sentido, apresentando uma taxa de desobediência de 32%, ainda assim longe do ideal.

Como ferramenta base de trabalho recorreu-se à aplicação do modelo de microsimulação AIMSUN, em conjunto com a ferramenta LEGION, que, apesar de serem *software* de referência internacional, apresentaram um conjunto de limitações que obrigaram à aplicação de um conjunto de adaptações relevantes.

São de salientar, nomeadamente, os artifícios implementados para que se conseguisse reproduzir o cariz de desobediência potencial por parte dos peões, que o LEGION não modela por si, bem como a acção facultativa do botão que o *software* também não prevê, dado que recorre a detetores de presença, portanto, de acção não facultativa.

Salienta-se ainda o modelo presente no ponto 4.6.2, um modelo mais otimizado e realista, prevendo três tipos de comportamento por parte dos peões, sendo eles os cumpridores na totalidade, os que sendo reconhecidos pelos detetores podem não atender ao sinal semaforizado para o atravessamento, e os que nem são detetados pelo sistema, podendo também infringir a sinalização que lhes diz respeito, como uma abordagem pertinente para um futuro trabalho.

Em termos práticos, e pelas limitações já referidas do *software*, as estratégias testadas não foram todas as que se poderiam perspetivar, mas apesar disso são relevantes alternativas para testar as condicionantes e vantagens relativas associadas aos interesses conflitantes entre o tráfego motorizado e o tráfego pedonal.

Na tentativa de reproduzir uma estratégia com algum nível de prioridade ao peão optou-se pela operação de uma travessia atuada mas que cede menos tempo mínimo de verde ao trânsito automóvel, do que na estratégia atuada simples ou na estratégia base a tempos fixos.

Em geral, a estratégia atuada base considerada mostra um desempenho muito similar ao da estratégia base a tempos fixos. As maiores diferenças ocorrem para cenários que envolvem baixos volumes de chamada da fase pedonal, onde o ciclo se poderá então estender além do ciclo usado na estratégia a tempo fixos. Ainda se salientam os atravessamentos em desobediência que são bastante superiores em percentagem se o regime for atuado, principalmente em cenários de elevada saturação viária.

Avaliando o desempenho da estratégia atuada com suporte ao peão percebe-se que esta tende, no geral, a cumprir o seu propósito de beneficiar o peão, à custa duma perda suportável no desempenho automóvel. Dado que a estratégia prevê a redução do ciclo ao seu valor mínimo possível do ponto de vista do tráfego motorizado (para cada taxa de saturação), através da redução do tempo de verde a ceder à fase automóvel, são constatáveis aumentos quer dos atrasos médios, quer do comprimento das filas dos veículos. Observa-se, para cenários totalmente saturados, e como era espectável devido à semelhança entre os ciclos usados em ambas as estratégias atuadas, que não existem diferenças de desempenho entre as estratégias em análise.

Em cenários com reserva de capacidade um pouco superior, saturados a 70%, a estratégia atuada com suporte ao peão já revela um desempenho bastante diferente das outras duas. Os atrasos médios dos veículos são superiores, principalmente para afluências acima dos 300 peões por sentido de travessia, onde o atraso médio sobe cerca de 50% por veículo. As maiores penalizações em relação às demais estratégias e no que toca ao trânsito motorizado ocorre para cenários de taxas de saturação de 50%. Para reservas de capacidade ainda maior verificam-se as menores penalizações nos atrasos médios dos veículos, bem como nas filas médias, o que, na situação menos saturada faz o nível de serviço do cruzamento subir ao nível B.

Olhando para os tempos de paragem médios pedonais verificam-se decréscimos nos mesmos quando a medida de prioridade pedonal é aplicada. Estes acentuam-se para taxas de saturação viária inferior e para procuras pedonais superiores, podendo atingir decréscimos de 47% em relação aos obtidos para as outras estratégias. A percentagem de atravessamentos fora da fase pedonal também se mostra aqui até 35% inferior à mesma percentagem obtida para a operação

a tempos atuados, para a generalidade das situações analisadas. O facto de esta estratégia permitir mais atribuições de fases pedonais, gera mais tempo total de verde pedonal durante o período da simulação, o que incorre no decréscimo observado da percentagem de peões desobedientes.

Em geral, conclui-se que esta estratégia se mostra satisfatória se os volumes de peões forem reduzidos, e que é para taxas de saturação viária mais extremas que a sua imposição leva a menores penalizações do ponto de vista automóvel.

Relativamente a trabalhos futuros, abre-se aqui espaço para o teste mais sistemático e mais abrangente de estratégias de regulação semaforizado de atravessamentos pedonais. Para tal haverá a oportunidade de testar estas e outras estratégias de regulação, como as do tipo *Pufin*, com recurso eventual ao modelo de representação otimizado, mais realista, que foi apresentado no capítulo 4. Será também interessante aumentar o número de vias pedonais que servem os peões que admitem a obediência em modelação, de forma a que mais peões possam iniciar o atravessamento em simultâneo, se o puderem fazer. Justifica-se ainda alargar os testes a diferentes *layouts*, nomeadamente a atravessamentos de arruamentos com dois sentidos de tráfego e a gamas diferentes de cenários de trabalho.

7 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ANSR, (2012). "Relatório Anual de Sinistralidade Rodoviária". Observatório de Segurança Rodoviária, Portugal.

ANSR, (2013). "Relatório Anual de Sinistralidade Rodoviária". Observatório de Segurança Rodoviária, Portugal.

ANSR, (2014). "Relatório Anual de Sinistralidade Rodoviária". Observatório de Segurança Rodoviária, Portugal.

ANSR, (2015). "Relatório Anual de Sinistralidade Rodoviária". Observatório de Segurança Rodoviária, Portugal.

ANSR, (2016). "Relatório Anual de Sinistralidade Rodoviária". Observatório de Segurança Rodoviária, Portugal.

ANSR, (2017). "Relatório Anual de Sinistralidade Rodoviária". Observatório de Segurança Rodoviária, Portugal.

ANSR, (2018). "Relatório Anual de Sinistralidade Rodoviária". Observatório de Segurança Rodoviária, Portugal.

Ariotti, P. (2006). "Análise do Padrão de Comportamento de Pedestre em Travessias Semaforizadas". Dissertação de Mestrado, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Rio Grande do Sul.

Austroroads, (1988). "Guide to Traffic Engineering Practise. Part 13, Pedestrians". Austroroads, Sydney.

Bastos, A., Vasconcelos, A., Correia, G., e Santos, S. (2013). "Velocidade Pedonal em Atravessamentos Formais". 7º Congresso Rodoviário Português, Lisboa, pp. 10-12

Costa, A. Seco, A., Vasconcelos, A. (2008). "Manual do Planeamento de Acessibilidades e Transportes". Vol. 7 - Sinais Luminosos. pp. 1-115. CCDRN. Portugal

Dias, J. M., e Paula, H. (2006). "Análise da Sinistralidade Pedonal em Portugal e o Papel da Via na sua Redução", 4º Congresso Rodoviário Português, Estoril .

Flórez, J. (1998). "Urban development patterns and their relationships with travel behaviour". Policy, Planning and Sustainability. European Transport Conference, AET, England, pp. 14-18

- Godara, A., Lassarre, A., e Banos, A. (2007). "Simulating Pedestrian-Vehicle Interaction in an Urban Network Using Cellular Automata and Multi-Agent Model". Traffic and Granular Flow'05. Springer, Berlin, Heidelberg.
- Hakkert, A. S., Gitelman, V., e Ben-Shabat, E. (2002). "An evaluation of crosswalk warning systems effects on pedestrian and vehicle behaviour". Transportation Research, Part F, Vol. 5, Issue 4, pp. 276-277.
- Helbing, D., Jiang, R., e Treiber, R. J. (2005). "Analytical investigation of oscillations in intersecting flows of pedestrian and vehicle traffic". APS, Physical Review E, Vol.72, Issue 4
- HMSO, (1987). "Roads and Traffic in Urban Areas", Institution of Highways and Transportation, Londres.
- Jacobsen, A. C. (2011). "Microssimulação da Travessia de Pedestres", Dissertação de Mestrado, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre.
- Liu, R., Silva, J. P., e Seco, A. J. (2000). "A Bi-Modal Microssimulation Tool for the Assessment of Pedestrian Delays and Traffic Management". 9th International Association of Travel Behaviour Research Conference. Gold Coast.
- Magalhães, L. A. (2010). "Melhorar a Acessibilidade Pedonal em Cidades de Orografia Desfavorável". Dissertação de Mestrado, Instituto Superior Técnico, Lisboa.
- Meschini, L., e Gentile, G. (2009). "Simulating car-pedestrian interactions during mass events with DTA models: the case of Vancouver Winter Olympic Games". Proceedings of the XVI International Conference. Università di Roma "La Sapienza", Roma
- NZTA, (2009). "Pedestrian planning and design guide". New Zealand Transport Agency, Wellington.
- Pita, F. V. (2003). "Estratégias e Planeamento da Mobilidade e Segurança de Peões". Dissertação de Mestrado, Instituto Superior Técnico, Lisboa.
- Pretto, C. O. (2011). "Desenvolvimento de Um Simulador de Pedestres considerando a Interação entre Pedestres e Veículos". Tese de Doutoramento, Universidade Federal de Rio Grande do Sul, Porto Alegre.
- Queirós, F. (2007). "Reabilitação de Centros Históricos". Dissertação de Mestrado, Universidade de Coimbra, Coimbra

Rodrigue, J. P., Comtois, C., e Slack, B. (2006). "The geography of transport systems". Routledge, New York.

Seco, Á. J., Macedo, J. M., e Costa, A. H. (2008). "Manual de Planeamento de Acessibilidades e Transportes", Vol. 8: Peões". CCDRN, Portugal

Sisiopiku, V. P., e Akin, D. (2003). "Pedestrian behaviors at and perceptions towards various pedestrian facilities: an examination based on observation and survey data". Transportation Research Part F, Vol. 6, Issue 4, pp. 249-274.

Tavares, J. (2015). "Modelos de Simulação e Previsão de Tráfego". Dissertação de Mestrado, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, Porto.

TRB. (2000). "Highway Capacity Manual" .Transportation Research Board, National Academy of Sciences, Washington DC.

Velde, A. F., e Kamp, J. (2005). "Visual timing and adaptive behavior in a road-crossing simulation study". Accident Analysis & Prevention, Vol. 37, Issue 3, pp. 399-406.

Webster, F. V. (1958). "Traffic Signal Settings". HMSO Road Research Laboratory, Paper nº39, London.

Werberich, B., Pretto, C., e Cybis, H. (2012). "Análise e Simulação de Comportamento de Pedestres em Momento de Travessia", Universidade Federal de Rio Grande do Sul, Porto Alegre

Wheeler, S. (2004). "Planning for sustainability: creating livable, equitable, and ecological communities". Routledge, New York.

Yang, J., Deng, J., Wang, Q., e Li, Z. W. (2006). "Modeling Pedestrians Road Crossing Behaviour in Traffic System Micro-simulation in China". Transportation Research Part A, Vol. 40, Issue 3, pp. 280-290.

Zheng, Y., Elefteriadou, L., Chase, T., Schroeder, B., e Sisiopiku, V. (2016). "Pedestrian Traffic Operations in Urban Networks". Transportation Research Procedia, Vol. 15, pp. 137-149.

Decreto Lei nº163/2006 de 8 de Agosto. Diário da República nº152 – 1 Série A. Ministério do Trabalho e da Solidariedade Social Anexo "Normas técnicas para a melhoria da acessibilidade das pessoas com mobilidade condicionada". Capítulo 1. Secção 1.6.4 – 2).

PENSE 2020 - Plano Estratégico Nacional de Segurança Rodoviária. Objetivo Operacional nº6. Acção nº14. Aprovado pela Resolução do Conselho de Ministros nº 85/2017 de 19 de Julho. Diário da República nº116/2017 – 1 Série A. Ministério da Administração Interna

