

Carina Fernandes Chaves

Avaliação do desempenho de medidas de acalmia de tráfego através de microssimulação de tráfego

Tese de Mestrado

Mestrado em Engenharia de Construção e Reabilitação

Professor Doutor António Luís Pimentel Vasconcelos



Ao meu mano,

RESUMO

Os espaços públicos das cidades portuguesas são predominantemente dominados pelo fluxo de veículos motorizados. Os modos suaves (peões e ciclistas) são relegados para segundo plano, afetando o uso social das vias públicas. Existe uma preocupação crescente sobre como esta situação afeta negativamente a qualidade de vida dos cidadãos, e muitas cidades têm vindo a promover políticas de mobilidade sustentável, com ênfase nos modos suaves. Um instrumento fundamental para a prossecução desta política é a hierarquização da estrutura viária, associada a medidas de acalmia do tráfego.

Os impactos das medidas de acalmia do tráfego na rede rodoviária e no seu meio envolvente são complexos e difíceis de estimar. Os modelos de simulação microscópica são ótimas opções para esta tarefa, uma vez que podem simultaneamente ter em conta pequenos efeitos como variações de velocidade ao longo das estradas e grandes efeitos relacionados com a reafecção de tráfego.

Deste modo, o objetivo deste trabalho foi compreender os efeitos da implementação de medidas de acalmia de tráfego e de uma zona 30 km/h no bairro da Quinta do Galo, em Viseu. A análise foi baseada no *software* de microssimulação Aimsun e focada em atrasos para os condutores, emissões de poluentes e indicadores de segurança.

Uma parte especial deste trabalho abordou a calibração dos modelos de escolha de trajeto. Após um estudo dos modelos utilizados pelo Aimsun (em particular os modelos Logit e C-logit), foram realizados inquéritos para compreender como os alunos e funcionários da ESTGV ponderam diferentes alternativas para uma determinada viagem.

Concluiu-se que a implementação de medidas de acalmia de tráfego e de uma zona 30 km/h contribui para transferir a maior parte do tráfego de atravessamento e conflitos para as estradas estruturais que circundam o bairro. Esta intervenção provoca um ligeiro aumento de atrasos globais, das emissões e dos conflitos, mas cria condições para melhorar a qualidade de vida no bairro da Quinta do Galo/Jugueiros.

Palavras-chave:

Acalmia de tráfego, Aimsun, Microssimulação, Calibração, Escolha de Trajeto, Modelos Logit e C-Logit, SSAM

ABSTRACT

The public spaces of Portuguese cities are mostly dominated by motorized vehicle flow. Soft modes (pedestrian and cyclists) are relegated to the background, affecting the use of public streets as spaces of socialization. There is a growing concern about how this situation affects negatively the quality of life, and many city councils are now promoting sustainable mobility policies, with an emphasis on the soft modes. A fundamental instrument to pursue these policies is the hierarchization of the road structure, coupled with traffic calming measures.

The impacts of the traffic calming measures in the road network and in the environment are complex and difficult to estimate. Microscopic simulation models are natural options for this task since they can simultaneously account for small effects, such as speed variations along the roads, and large effects, related to traffic reassignment.

This way, the main objective of this work was to understand the effects of implementing as traffic calming measures and a 30 km/h zone in the Quinta do Galo neighborhood, in Viseu. The analysis was based on the Aimsun microsimulation software and focused on delays to drivers, pollutant emissions and safety measures.

A special part of this work addressed the calibration of the route choice model. Following a study of the models used by Aimsun (particularly Logit and C-Logit), surveys were carried out to understand how ESTGV students and staff behave when they have different alternatives for a given trip.

It was concluded that the implementation of the traffic calming measures and the 30 km/h zone contributes to transfer most of the through traffic and conflicts to the structural roads that surround the neighborhood. This intervention causes a slight increase of global delays, emissions and conflicts, but creates conditions to improve the quality of life in the Quinta do Galo / Jogueiros neighborhoods.

Keywords:

Traffic calming, Aimsun, Microsimulation, Calibration, Path selection, Logit and C-Logit models, SSAM

AGRADECIMENTOS

A elaboração de uma dissertação de mestrado é uma tarefa que exige muita dedicação individual, mas que seria por certo impossível concluir sem a ajuda e apoio de outras pessoas e é por isso que quero aqui expressar a minha gratidão a todos, que de uma forma ou outra, contribuíram para realização deste projeto.

Ao Professor Doutor Luís Vasconcelos, o meu sincero agradecimento pelo apoio e orientação recebida durante toda a preparação deste trabalho. A sua visão do tema e os seus conselhos contribuíram significativamente para atingir os objetivos definidos.

A toda a minha família mas principalmente aos meus pais, um agradecimento muito especial pelo apoio e incentivo incondicional ao longo de toda a minha vida, pois se cheguei até aqui a eles o devo.

À minha irmã, amiga, companheira, parceira de risos e brigas, obrigada por continuares ao meu lado ao longo da minha vida pessoal e académica. E a ti Paulo Amílcar, obrigada pela ajuda que me deste nesta fase final da minha dissertação e ainda pelos momentos de distração e risos que os dois me proporcionaram.

À minha avó, minha confidente, estou muito grata pela preocupação constante, por todas as palavras de incentivo e pelo carinho que sempre me transmitiu espontaneamente ao longo de toda a minha vida.

Ao meu namorado, Ricardo Cardoso, agradeço por compreender a minha agenda, por me perdoar quando tive de dizer que não, e por me dar tempo e espaço necessário para que pudesse cumprir com os meus prazos. Agradeço-te ainda pela tua crença em mim, pela tua paciência ao longo destes últimos tempos e acima de tudo pelo teu amor incondicional.

Aos meus amigos, Ricardo Santos, André Jorge, Carlos Gomes, e muitos outros, pela amizade, coragem e apoio demonstrado em todos os momentos, desde os mais sérios aos mais divertidos, muito obrigada.

Por fim, estendo os meus agradecimentos a todas as pessoas, colegas e professores do Departamento de Engenharia Civil que, de alguma forma, me apoiaram durante o meu percurso académico e a execução deste trabalho.

ÍNDICE

1	INTRODUÇÃO	1
1.1	Enquadramento do tema	1
1.2	Objetivos e metodologia do estudo.....	3
1.3	Estrutura do texto.....	4
2	MEDIDAS DE ACALMIA DE TRÁFEGO	7
2.1	Definição de acalmia de tráfego	7
2.2	Objetivos de acalmia de tráfego.....	8
2.3	Classificação das medidas de acalmia de tráfego	10
2.3.1	Alterações nos alinhamentos horizontais	10
2.3.2	Alterações nos alinhamentos verticais.....	14
2.3.3	Outras medidas	18
2.3.4	Soluções integradas	19
2.4	Síntese.....	21
3	PROGRAMA DE MICROSIMULAÇÃO DE TRÁFEGO AIMSUN	23
3.1	Introdução	23
3.2	Princípios básicos da modelação	23
3.3	Principais submodelos	24
3.3.1	Seguimento	24
3.3.2	Aceitação de intervalos.....	26
3.3.3	Mudança de via.....	27
3.3.4	Escolha de trajetos	28
3.4	Resultados da simulação	28
3.5	Síntese.....	28
4	MODELOS DE ESCOLHA DE TRAJETOS.....	31
4.1	Introdução	31
4.2	Custo generalizado de deslocação	31
4.3	Modelos de escolha discreta	32
4.3.1	Modelo Logit	33
4.3.2	Modelo C-logit	35
4.4	Afetação de tráfego à rede	36
4.5	Análise dos inquéritos realizados	37
4.5.1	Caracterização dos participantes	38
4.5.2	Tempos de percurso.....	38
4.5.3	Escolha de trajeto.....	40
4.5.4	Calibração do parâmetro de escala θ do modelo Logit	42
4.6	Síntese.....	43
5	ESTUDO DE CASO – REQUALIFICAÇÃO DA REDE VIÁRIA DE UMA ZONA RESIDENCIAL	45
5.1	Identificação e justificação da zona em estudo.....	45

5.2	Processo de implementação de soluções de acalmia de tráfego.....	46
5.3	Diagnóstico da situação existente.....	47
5.3.2	Volumes e velocidades de tráfego	49
5.3.3	Caracterização do transporte público	51
5.3.4	Sinistralidade rodoviária	51
5.3.5	Planos previstos para a zona em estudo	52
5.3.6	Apreciação do diagnóstico e definição de objetivos.....	53
5.4	Proposta de soluções	54
5.4.1	Zona 30 km/h	55
5.4.2	Rotunda	56
5.4.3	Interseções elevadas	57
5.4.4	Travessias pedonais elevadas.....	58
5.4.5	Redução do número de vias	58
5.5	Modelo de microssimulação.....	59
5.5.1	Construção do modelo Aimsun.....	59
5.5.2	Introdução da procura	60
5.5.3	Definição dos cenários	61
5.5.4	Calibração e validação do modelo	63
5.6	Apresentação e análise dos resultados.....	63
5.6.1	Tempos de trajeto e volumes de tráfego	64
5.6.2	Emissões ambientais	68
5.6.3	Indicadores de segurança	69
5.7	Síntese	70
6	CONCLUSÕES E DESENVOLVIMENTOS FUTUROS	73
6.1	Síntese e conclusões gerais.....	73
6.2	Desenvolvimentos futuros.....	75
	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	77
	APÊNDICES.....	83
	Apêndice A – Inquérito realizado para compreender melhor o processo de escolha de trajetos em automóvel nas deslocações urbanas	83
	Apêndice B – Matrizes de tempos médios de deslocação global e individual por veículo, por cada par O/D.....	91

SIMBOLOGIA

Letras romanas

a_n	aceleração máxima do veículo n (m/s^2)
a_1	valor do tempo para os utilizadores
a_2	valor do tempo adicional, normalmente assumido como $2a_1$
a_3^k	valor do quilómetro percorrido
B_k	penalidade modal do modo k
c_i	custo do trajeto, i (s)
c_{ij}^k	custo generalizado de deslocação da zona i para a zona j , através do modo k
CF_k	fator de sobreposição (<i>commonality factor</i>)
d_{ij}^k	distância percorrida no veículo
d_n	desaceleração mais severa que o veículo n está disposto à aplicar (m/s^2)
d'_{n-1}	estimativa da desaceleração da desaceleração anterior (m/s^2)
e_{ij}^k	tempo adicional de deslocação, fora do veículo
L_k	custos do trajeto k
L_l	custos do trajeto l
L_{lk}	comprimento comum entre os trajetos l e k
n	veículo seguidor
p_j^k	custos associados ao fim da viagem
P_k	probabilidade de um condutor escolher um determinado trajeto alternativo k
P_1	probabilidade de ser escolhido o trajeto 1
P_2	probabilidade de ser escolhido o trajeto 2
P_3	probabilidade de ser escolhido o trajeto 3
P_{25}	percentil 25
P_{75}	percentil 75
S_{n-1}	comprimento efetivo do veículo $n-1$
t	duração de um intervalo; instante (s)
t_{ij}^k	tempo de deslocação, dentro do veículo

t_{VP1}	tempo que o veículo prioritário demora a alcançar a zona de conflito
t_{VNP1}	tempo que o veículo não prioritário demora a alcançar a zona de conflito
t_{VP2}	tempo que o veículo prioritário demora a ultrapassar a zona de conflito
t_{VNP2}	tempo que o veículo não prioritário demora a ultrapassar a zona de conflito
U_k^i	utilidade de um trajeto k para o par O/D i
$x_n(t)$	posição longitudinal do veículo n no instante t (m)
$x_{n-1}(t)$	posição longitudinal do veículo $n-1$ no instante t (m)
V_i	utilidade (determinística) de cada caminho alternativo i (horas)
V_k^i	componente determinística da utilidade
V_n^d	velocidade desejada do veículo n (m/s)
$V_n(t)$	velocidade do veículo n no instante de tempo t (m/s)
$V_n(t, t + \tau)$	velocidade final do veículo n (m/s)
$V_{n-1}(t)$	velocidade do veículo $n-1$ no instante t (m/s)

Letras gregas

α	ângulo de conflito
β	parâmetro do modelo C-Logit
ε_k^i	termo aleatório
θ	margem de segurança associada ao tempo de reação (s) – modelo de Gipps
θ	fator de forma ou de escala – modelo Logit e C-Logit
τ	tempo de reação (s)
γ	parâmetro do modelo C-Logit

Siglas e Acrónimos

AIMSUN	Advanced Interactive Microscopic Simulator for Urban and Non-urban networks
ANSR	Autoridade Nacional de Segurança Rodoviária
CCDRN	Comissão de Coordenação e Desenvolvimento Regional do Norte
CMV	Câmara Municipal de Viseu

CO	monóxido de carbono
CO ₂	dióxido de carbono
ESTGV	Escola Superior de Tecnologia e Gestão de Viseu
EUA	Estados Unidos
IEM	Instantaneous emission Model (modelo de emissão instantânea)
IMTT	Instituto da Mobilidade e dos Transportes Terrestres
InIR	Instituto de Infraestruturas Rodoviárias
IPV	Instituto Politécnico de Viseu
ITE	Institute of Transportation Engineers (instituto de engenheiros de transporte)
ITS	Intelligent Transport Systems (sistema inteligente de transporte)
MUV	Mobilidade Urbana de Viseu
NO _x	óxidos de azoto
O/D	origem / destino
PCT	ponto de colisão teórico
PM	partículas finas
PSP	Polícia de Segurança Pública
PVP	próximo veículo prioritário
RCEP	Royal Commission on Environmental Pollution
SSAM	Surrogate Safety Assessment Module (modelo de avaliação de segurança)
STUV	Sociedade de Transportes Urbanos de Viseu
TSS	Transport Simulation Systems
VOC	compostos orgânicos voláteis
VNP	veículo não prioritário
VP	veículo prioritário

1 Introdução

1.1 Enquadramento do tema

O deslocamento de pessoas e movimentação de bens através das redes viárias é uma necessidade básica das nossas sociedades. Para além da mobilidade através da circulação rodoviária motorizada, as redes viárias urbanas dão resposta a um conjunto variado de funções, desde a garantia da sua acessibilidade aos diferentes espaços, ao suporte de deslocamentos pedonais ou outras não motorizadas, até às funções sociais e de lazer próprias da normal vivência urbana (Ewing, 1999).

Hoje em dia, o crescimento da mobilidade assenta, cada vez mais, na capacidade de deslocação em transporte individual, o que se tem traduzido num aumento dos volumes de tráfego e, conseqüentemente, das demoras e dos níveis de poluição visual, sonora e atmosférica. Estima-se que as perdas económicas associadas ao congestionamento nas cidades europeias representem cerca de 1% do produto interno bruto da União Europeia, e que a circulação urbana seja responsável por cerca de 40% das emissões de CO₂ e de 70% das emissões de outros poluentes resultantes do tráfego rodoviário (CE, 2007).

Durante um largo período de tempo foi considerado que a oferta de novas redes viárias e de alta qualidade compunha um pré-requisito para o desenvolvimento económico, num modelo de promoção do aumento da mobilidade e do consumo de transporte. No entanto, reconhece-se atualmente que é impraticável resolver os problemas de congestionamento exclusivamente à custa de novas infraestruturas rodoviárias, pois existe procura latente, isto é condutores que atualmente não utilizam uma certa via porque está congestionada mas que a passariam a utilizar se tivesse pouco tráfego.

Desta maneira, a gestão do tráfego em áreas urbanas passa pela necessidade de promover uma política que conduza ao desenvolvimento de um modelo mais sustentável e que consista na

redução do número de deslocamentos e na alteração da repartição modal no sentido da redução da utilização do transporte individual a favor da utilização do transporte público ou mesmo ciclável, ao mesmo tempo que se procura contrariar a tendência para a expansão e dispersão territorial e para o desenvolvimento de territórios urbanos onde as condições de acessibilidade dependem, cada vez mais, da capacidade de se desenvolverem deslocamentos motorizados (Hanson, 1995).

Uma das principais abordagens que se enquadra nesta política consiste na definição de uma correta hierarquização das redes viárias urbanas, em que se definem claramente as funções que cada via deve assegurar (mobilidade / acessibilidade) e se ajustam as características geométricas das vias e a topologia da rede para satisfazer essas funções. É neste contexto que se justifica a construção de circulares para reduzir o tráfego de atravessamento dos centros urbanos. No entanto, a disponibilização de novos e mais rápidos trajetos não garante que os utilizadores das vias os prefiram, sendo assim necessário adotar estratégias que minimizem as situações de invasão e o respetivo impacto sobre os espaços locais, do tipo residencial ou histórico.

Estas estratégias passam pela implementação de medidas, isoladas ou combinadas, que consistem em alterações físicas ou de trajeto impostos aos eixos viários, ou ainda em alterações à forma de regulação do acesso e utilização das mesmas pelos diferentes utentes. A Figura 1.1 ilustra o seguinte conjunto de estratégias básicas (CCDRN, 2008b):

- a) eliminação da possibilidade de atravessamento do espaço a proteger;
- b) aumento do tempo de trajeto de atravessamento por aumento da sinuosidade do traçado;
- c) proteção total da zona através do desnivelamento do(s) eixo(s) que servem o tráfego de atravessamento;
- d) aumento do tempo de trajeto pela introdução de elementos de redução de velocidade;
- e) aumento do custo generalizado de deslocação no centro pela introdução de portagens.

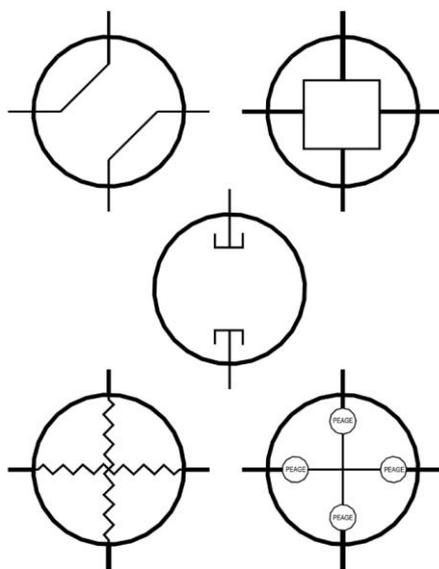


Figura 1.1 – Tipos de estratégias de proteção de espaços centrais (CCDRN, 2008b)

Em conjunto com estas estratégias, surgem também as medidas de acalmia de tráfego, as quais têm um papel importante na redução do tráfego de atravessamento, e também na redução das velocidades praticadas pelos condutores.

A acalmia de tráfego aposta essencialmente na compatibilização das condições de circulação entre os diferentes modos de deslocação e transporte, promovendo o respeito pela presença dos utilizadores mais vulneráveis (particularmente os peões e os ciclistas) e aumentando a sua segurança real e percebida. Caracteriza-se pela implementação de um conjunto coerente de medidas que, alterando adequadamente a geometria convencional das vias, força os condutores dos veículos automóveis a ajustarem o seu comportamento às funções e características físicas dos arruamentos e dos espaços envolventes (InIR, 2011).

As medidas de acalmia de tráfego têm como objetivo criar um melhor ambiente urbano para a sociedade, à custa da alteração dos comportamentos naturais dos condutores. Como tal, a seleção e aplicação destas medidas deve passar por um processo de análise que permita identificar e quantificar os impactos sobre os diferentes utentes dos espaços envolvidos, os quais deverão ser ponderados em função das características específicas do local em análise e dos resultados pretendidos.

Os efeitos das medidas de acalmia de tráfego são tradicionalmente subtis e de difícil quantificação. O método tradicional, baseado em estudos do tipo antes-e-depois, tem algumas limitações, já que implica um longo período de observação e análise durante o qual podem variar alguns fatores não explicitamente considerados no estudo (condições climatéricas, enquadramento legal, níveis de fiscalização, etc.). John *et al.* (2015) referem diversas técnicas que permitem controlar e minimizar o efeito das variáveis externas, incluindo a utilização de grupos de controlo e o recurso a métodos de inferência bayesiana.

Como alternativa aos estudos antes-e-depois, os modelos de microssimulação de tráfego têm vindo a afirmar-se como importantes instrumentos de análise de sistemas de transporte, e especialmente de redes viárias urbanas, permitindo testar, avaliar e comparar diversas alternativas, em ambiente controlado, antes de as mesmas serem implementadas no mundo real. Contudo, a aplicação destes modelos não é trivial, sendo necessário resolver um conjunto significativo de questões, nomeadamente a definição da área de estudo, a recolha de dados, a calibração e validação do modelo, os resultados finais.

1.2 Objetivos e metodologia do estudo

O trabalho a desenvolver consiste em identificar os problemas de segurança viária e pedonal numa zona de Viseu (Quinta do Galo e espaços envolventes), desenvolver uma proposta de otimização da infraestrutura viária com ênfase nas mais recentes técnicas de acalmia de tráfego, construir, calibrar e validar modelos de simulação Aimsun para as diferentes alternativas em análise e avaliar os impactos das intervenções a diversos níveis (demoras, segurança e emissões).

Para cumprir os objetivos gerais atrás enunciados, foram definidos os seguintes objetivos parcelares:

- Efetuar uma revisão da literatura sobre as técnicas de acalmia de tráfego, com ênfase naquelas que terão mais aplicabilidade ao caso concreto em estudo;
- Efetuar uma revisão da literatura sobre as metodologias de avaliação do desempenho operacional de redes viárias urbanas, através de microsimulação de tráfego, nomeadamente com a aplicação Aimsun;
- Tendo por base um conjunto de dados obtidos através de inquéritos, analisar e compreender o processo de escolha de trajetos em meio urbano;
- Efetuar uma recolha de dados de campo (fluxos de tráfego e tempos de trajeto) que permita calibrar e validar o modelo da situação existente para a zona em estudo;
- Aplicar uma proposta de solução com as técnicas de acalmia de tráfego, analisando os seus impactos através da modelagem no Aimsun.

1.3 Estrutura do texto

O texto encontra-se estruturado em seis capítulos, constituindo a presente *Introdução* o Capítulo 1 onde é apresentado de forma sucinta o enquadramento do problema assim como os objetivos e a estrutura da dissertação.

No Capítulo 2 – *Medidas de acalmia de tráfego* – analisa-se o conceito de acalmia de tráfego, e faz-se uma descrição dos diferentes tipos de medidas de acalmia de tráfego incluindo os seus objetivos, vantagens/desvantagens e impactos na velocidade dos veículos, no volume de tráfego e na sinistralidade.

No Capítulo 3 – *Programa de microsimulação de tráfego Aimsun* – apresenta-se uma breve descrição do modelo de referência, desenvolvido para a modelação de tráfego desenvolvido pela *TSS - Transport Simulation Systems*, que compreende o modo de funcionamento e capacidades do programa.

No Capítulo 4 – *Modelos de escolha de trajetos* – são descritos os modelos de escolha de trajeto (Logit e C-Logit) usados no Aimsun e analisam-se os resultados obtidos nos inquéritos realizados na Escola Superior de Tecnologia e Gestão de Viseu (ESTGV) com o objetivo de melhor compreender este processo de decisão.

No Capítulo 5 – *Estudo de caso – requalificação da rede viária de uma zona residencial* – apresenta-se uma proposta de intervenção para a zona da “Quinta do Galo”, em Viseu, e efetua-se uma análise comparativa com a situação existente, tendo por referência um modelo de microsimulação de tráfego desenvolvido com a aplicação Aimsun. Os impactos da intervenção são avaliados a diferentes níveis: demoras, segurança e emissões.

No Capítulo 6 – *Conclusões e desenvolvimentos futuros* – apresentam-se os resultados mais significativos que decorrem das várias análises realizadas com base no estudo dos inquéritos realizados para a modelação de trajetos e as conclusões da aplicação das medidas de acalmia de tráfego ao caso de estudo. São também incluídas considerações sobre a continuação e aprofundamento de algumas matérias desenvolvidas no presente trabalho.

2 Medidas de Acalmia de Tráfego

2.1 Definição de acalmia de tráfego

O conceito “acalmia de tráfego” surgiu na Holanda, nos anos 60, com o objetivo de reduzir a velocidade dos veículos e o tráfego de atravessamento em zonas residenciais. Os moradores, irritados com o comportamento dos condutores que atravessavam a população a grandes velocidades a altas horas da noite, foram para a rua e criaram uma rota em serpentina com grandes pedras (Figura 2.1). Verificou-se que os condutores circulavam a velocidades significativamente menores. Surgiu, assim, o primeiro projeto de acalmia de tráfego (Almeida, 2004).



Figura 2.1 - Rota em serpentina com grandes pedras (Fonte: <https://www.pps.org>)

Os especialistas alemães adotaram o conceito nos anos 70 e no fim da década a acalmia de tráfego era uma política aceite e com sucesso. O conceito espalhou-se rapidamente a muitos países como Dinamarca, Suíça, Grã-Bretanha, Canada, Japão, Austrália, Nova Zelândia e os Estados Unidos.

Em Portugal não existe ainda uma definição formal de acalmia de tráfego. No entanto, na bibliografia científica internacional associada a este assunto, é possível encontrar referência a um conjunto alargado e diferenciado de definições de acalmia de tráfego, cuja base comum se prende com a necessidade de compatibilização das condições de uso e de circulação entre os diferentes utilizadores que partilham um espaço comum.

A definição mais consensual para acalmia de tráfego é a *“Implementação de um conjunto coerente de técnicas que, alterando adequadamente a geometria convencional das vias induz os condutores dos veículos automóveis a alterarem o seu comportamento, contribuindo para um aumento da segurança real e induzida dos utilizadores mais vulneráveis da via, contribuindo ainda para uma requalificação do espaço urbanos quer em termos paisagísticos quer ambientais.”* (InIR, 2011)

A acalmia de tráfego baseia-se na política dos três E’s: *Education* – educação, *Enforcement* – cumprimento da lei e *Engineering* – engenharia (<http://trafficcalming.org/>). A educação é o processo de chamar a atenção dos condutores para a velocidade a que circulam tendo em consideração o nível hierárquico da via. Nas zonas residenciais os moradores devem reduzir a sua própria velocidade e incentivar os seus familiares a fazerem o mesmo. Este processo promove o diálogo entre a vizinhança e implica a mudança de atitudes e comportamentos, sendo um processo tradicionalmente moroso.

O cumprimento da lei é a ação por parte das forças policiais, de forma a fazer cumprir os limites de velocidade estabelecidos por lei. Não sendo possível fiscalizar todos os locais, as forças policiais selecionam locais e períodos específicos para fazer operações que apanham os condutores desprevenidos. As velocidades reduzem rapidamente quando está presente um agente policial, voltando aos valores iniciais quando este muda para outra área. Esta abordagem pode ficar cara e tem conotações negativas.

A engenharia é aqui entendida como o estudo e execução de mudanças físicas de forma a forçar a redução de velocidade e a deter tráfego desnecessário. Estas mudanças físicas fundem-se com as medidas de acalmia de tráfego e podem ser tão simples como estacionamento na via, plantação de árvores, construção de desvios de forma a forçar o tráfego a ir por determinado caminho, estrangulamentos, lombas, gincanas, mini-rotundas, sinalização vertical, marcações no pavimento, etc.

2.2 Objetivos de acalmia de tráfego

A implementação das medidas de acalmia de tráfego tem como finalidade reduzir as velocidades praticadas pelos transportes motorizados e reduzir os volumes de tráfego, permitindo assim o descongestionamento das vias e protegendo os utilizadores mais vulneráveis como os peões e os ciclistas.

De um modo geral, as medidas de acalmia de tráfego, em conjunto com iniciativas de incentivo ao uso dos sistemas de transportes públicos, policiamento, restrição ao estacionamento, gestão

da mobilidade, planeamento do uso do solo, procuram assim atingir os seguintes objetivos (Esteves, 2003):

- melhorar as condições de segurança e conforto para os usuários mais vulneráveis do ambiente viário, incluindo pedestres, ciclistas, pessoas com mobilidade reduzida, reduzindo a ocorrência e a gravidade dos acidentes;
- desencorajar o uso não essencial da via, principalmente pelo tráfego de atravessamento de veículos motorizados;
- melhorar as condições ambientais do espaço viário, proporcionando possibilidades de implantação de projetos urbanísticos e paisagísticos;
- desencorajar o uso de transporte individual, reduzindo a poluição sonora e ambiental.

Em consequência destes objetivos, é devolvido ao cidadão o espaço público das cidades, possibilitando o melhor desenvolvimento de uma identidade urbana e uma sensação de bem-estar para os residentes, peões e outros utentes das vias, encorajando as relações sociais e as vivências urbanas pela interação harmoniosa de diferentes modos de transporte (Hass-Klau, 1990).

Normalmente, o alcance dos objetivos descritos nem sempre é possível com recurso a uma única medida de acalmia de tráfego, sendo assim necessário a adoção de um conjunto integrado de medidas podendo ser completadas ao nível do desenho com outro tipo de medidas tais como o uso sistemático e cuidado de elementos de mobiliário (Vejdirektoratet, 1991; Herrstedt, 1992; Ewing, 1999). No entanto, a aplicação de forma isolada ou mesmo combinada nem sempre permite atingir os objetivos, podendo mesmo, ter alguns efeitos negativos tais como possíveis prejuízos dos serviços de emergência e transporte públicos, impacto na vida dos moradores (nomeadamente, no possível aumento da duração das suas deslocações), problemas de ruído e de vibração nas habitações, e desgaste e danos nos veículos.

É assim importante estabelecer os objetivos a atingir numa base de prioridades hierárquica, sendo ainda indispensável a análise dos efeitos da implementação das medidas na zona que se pretende reformular bem como na sua envolvente.

Este tipo de técnicas está tradicionalmente associado ao meio urbano. Contudo, as soluções de acalmia de tráfego também podem ser implementadas em secções de redes rodoviárias fora das áreas urbanas, sem que seja necessário qualquer nova hierarquização das estradas em questão (Almeida, 2004).

É importante ainda salientar as dificuldades de aceitação por parte dos cidadãos, o que implica o envolvimento da população na implementação das soluções, dando a conhecer os estudos desenvolvidos, os critérios subjacentes e as condicionantes a respeitar, de modo a evitar tanto quanto possível a posterior contestação, que em caso extremo poderá motivar recuos ou alterações com custos que poderiam ter sido evitados (Pereira, 2013)

2.3 Classificação das medidas de acalmia de tráfego

As medidas de acalmia de tráfego têm vindo a afirmar-se como importantes instrumentos da gestão viária, encontrando-se na bibliografia da especialidade uma alargada variedade de medidas com domínios de aplicação diversificados (Ewing, 1999; Ewing e Brown, 2010).

De acordo com o Manual de Medidas Moderadoras de Tráfego elaborado pela BHTRANS (2008) e outros autores (Almeida, 2004; InIR, 2011; Pereira, 2013), as medidas de acalmia de tráfego são divididas em dois grupos distintos consoante os objetivos que se pretendem atingir:

- medidas de controlo de volume de tráfego – em que o tráfego de atravessamento é desviado ou removido;
- medidas de controlo de velocidade – em que se considera aceitável manter os volumes de tráfego e se procura limitar as velocidades, de forma a respeitar a segurança e o ambiente.

Por outro lado, as medidas de acalmia de tráfego podem ser caracterizadas pelas alterações impostas nos alinhamentos, dividindo-se assim em três grupos (Ribeiro, 1996; Schlabbach, 1997; Ewing, 1999; Silva 2010):

- alterações nos alinhamentos horizontais, as quais obrigam os veículos automóveis a desvios forçados da sua trajetória por imposição de graus de sinuosidade mais ou menos acentuados;
- alterações nos alinhamentos verticais as quais implicam a alteração da cota do pavimento num comprimento limitado de estrada de dimensão, obrigando os condutores a reduzirem a sua velocidade sob pena de danos materiais nos veículos;
- medidas complementares (portões, plantação de vegetação, iluminação, ...), desde que aplicadas de forma integrada com as restantes medidas, permitem reforçar o carácter obstrutivo de algumas medidas contribuindo ainda para a requalificação urbana e para a marcação da alteração ao ambiente rodoviário.

Os subcapítulos seguintes apresentam a descrição das várias medidas de acalmia de tráfego compilando informações relevantes dos autores referidos, do Manual de Planeamento de Acessibilidades e Transportes (2008a) e das disposições normativas do InIR (2011).

2.3.1 Alterações nos alinhamentos horizontais

2.3.1.1 Estrangulamentos

Estas medidas consistem na redução da faixa disponível para circulação, através da construção ou alargamento dos separadores centrais ou de estreitamentos laterais da faixa de rodagem (alargamento de passeios, construção de estacionamento e/ou espaços verdes).



Figura 2.2 - Estrangulamento a partir do separador central em Coimbra (Fonte: InIR, 2011)

A implementação de estrangulamentos tem com principal finalidade a redução da velocidade de circulação, no entanto quando associado a passagens de peões, pode também reduzir a distância de atravessamento e por consequência garantir maior segurança aos peões. Os estrangulamentos a partir do ilhéu central (ver Figura 2.2) separam os dois sentidos das correntes de tráfego, impedindo assim manobras de ultrapassagem e contribuindo para a diminuição de embates frontais.

Na sua forma mais comum, estes estrangulamentos são materializados pelo alargamento dos passeios, ou pela criação de separadores centrais, podendo ou não integrar vias de viragem à esquerda. Nas soluções mais extremas como por exemplo na Figura 2.3, os estrangulamentos podem levar à redução do número de vias e à definição de prioridades relativas entre movimentos de veículos (Ewing, 1999).



Figura 2.3 - Redução do número de vias com definição das prioridades no Reino Unido (Fonte: International Transport Forum, 2006)

Segundo estudos americanos, a redução do número de vias nos estrangulamentos pode atingir 14% de redução das velocidades e 4% no caso de estreitamentos que mantêm o número de vias. Em termos absolutos é habitual encontrar referências a reduções médias de 8 km/h na velocidade, com variações possíveis entre os 1,6 e os 3,2 km/h (PennDOT, 2001).

Quanto a contribuição para a redução dos volumes de tráfego, estudos realizados pelo Instituto de Engenheiros de Transporte (ITE) demonstram que a redução da intensidade de tráfego pode atingir os 20%, embora a restante bibliografia da especialidade apresente valores menos ambiciosos na ordem dos 10% (InIR,2011). Importa notar que o potencial de redução dos volumes de tráfego depende naturalmente da existência de alternativas viárias para realizar os movimentos de atravessamento.

2.3.1.2 Gincanas

As gincanas (Figura 2.4) são conseguidas através da implementação de forma alternada e sucessiva de obstáculos nas laterais da faixa de rodagem, tais como estacionamento, implantação de canteiros para a vegetação ou outras soluções que obriguem os veículos a ter que contorna-los.

Estas visam assim impedir fisicamente a prática de velocidade de circulação indesejadas mediante a imposição de curvas e contracurvas de raios compatíveis com a velocidade desejada no local.



Figura 2.4 - Implementação de gincanas (Fonte: Alexandre, 2010)

De acordo com Ewing e Brown (2010), nos EUA, a deflexão acentuada na trajetória dos veículos provocada pela implementação destas medidas, obrigam a diminuição da velocidade dos veículos em cerca de 8 a 20 km/h na gincana e 1,6 a 9,7 km/h nas suas proximidades.

Já segundo Sousa Marques (2005), um estudo sueco demonstrou que a redução da velocidade é superior à conseguida pela implementação de uma lomba, embora apresente alguns inconvenientes para os veículos pesados e de emergência.

Quanto à redução dos volumes de tráfego, há registos onde a redução atingiu cerca de 20% (InIR, 2011).

2.3.1.3 Estreitamento junto às entradas de interseções

As restrições de largura à entrada de um cruzamento ou entroncamento consistem em alargamentos dos passeios de forma a reduzir o raio de viragem dos veículos e,

consequentemente induzir o condutor a reduzir a velocidade a que circula. Ao diminuir a largura da faixa de rodagem, é também possível minimizar o estacionamento ilegal junto dessas interseções.

Ao serem associadas as travessias de peões (Figura 2.5), estas medidas resultam na diminuição da distância de atravessamentos e no aumento da visibilidade por parte dos peões e dos condutores, proporcionando assim melhores níveis de segurança.

Podem ainda ser complementadas com o cultivo de vegetação ou com o uso de mobiliário urbano, com o objetivo de melhorar a aparência da intersecção e de criar a sensação no condutor de que vai entrar numa zona diferente daquela em que circula.



Figura 2.5 – Estreitamento junto ao cruzamento (Fonte: <http://www.cyclingweekly.co.uk>)

Com aplicação desta medida é possível observar uma redução da velocidade dos veículos, principalmente os que efetuam uma mudança de direção, de aproximadamente 5km/h (Vieira, 2008) e prevenir o estacionamento ilegal junto da intersecção. No entanto tem de se ter em atenção a possibilidade de provocar atrasos para os veículos de emergência e eventuais problemas na execução de manobras de veículos pesados.

2.3.1.4 Rotundas e mini-rotundas

Outra medida com grande potencial de acalmia de tráfego são as rotundas (Ewing, 1999; Bastos Silva e Seco, 2001). Por vezes também chamadas de intersecções giratórias, estas caracterizam-se pela convergência de diversos ramos de sentido único ou duplo, numa praça central de forma geralmente circular, em torno da qual é estabelecido um sentido único de circulação e na qual os veículos que se encontram no interior têm prioridade em relação aos que querem entrar (Bastos Silva *et al.*, 2004).

A adoção de rotundas tem como principal objetivo o controlo do comportamento do condutor mediante a imposição de deflexões às trajetórias, que o incentivem de forma natural a optar por velocidades de circulação moderadas. Segundo Bastos Silva (2004) a implantação de uma rotunda pode justificar reduções de velocidade superiores a 50% relativamente à velocidade de aproximação. Paralelamente, a sua implantação resulta numa diminuição significativa do

número de pontos de conflito e na eliminação dos conflitos secantes, pelo que subjacente à sua implantação estarão sempre inerentes objetivos de melhoria dos níveis de segurança.

A substituição de intersecções convencionais por rotundas resultou na redução de colisões em 39% e de 76% nos acidentes globais e com feridos, respetivamente. A redução de acidentes com fatalidades ultrapassou os 90% (InIR, 2011).

É ainda uma solução que garante níveis elevados de capacidade, mesmo quando aplicada com dimensões reduzidas e com uma única via de circulação, pelo que é indicada para locais onde se pretenda assegurar necessidades de segurança e fluidez.

No entanto, são mais eficazes sempre que os ramos de entrada apresentem importâncias funcionais e fluxos de tráfego semelhantes (DfT, 1993; SETRA, 1998; Bastos Silva, 2004)



Figura 2.6 – a) Rotunda no Rossio (Viséu, 2014); Mini-rotunda em Cantanhede (Fonte: InIR, 2011)

As mini-rotundas (Figura 2.6 b), à semelhança das rotundas, mas de diâmetro reduzido, são constituídas por materiais de cor contrastante e através da utilização de pavimentos que apresentem texturas irregulares e desconfortáveis para se revelarem suficientemente desincentivadoras à sua utilização por parte dos veículos ligeiros. No entanto, por se tratar de uma solução visualmente pouco notória, estas revelam-se menos eficazes que as rotundas normais (Bastos Silva *et al.*, 2004). Por essa razão a sua implementação deve ser limitada a locais centrais e residenciais, nas quais são praticadas velocidades inferiores a 40 km/h e onde os veículos pesados são pouco significativos (DfT, 1993; FHWA, 2000a).

2.3.2 Alterações nos alinhamentos verticais

2.3.2.1 Pré-avisos

Os pré-avisos (Figura 2.7) são repetições de linhas transversais à via de circulação que procuram, através do efeito visual e sonoro provocado na transposição desta medida, avisar o condutor que se está a aproximar de uma zona conflituosa e de risco e que é necessário moderar a sua velocidade de circulação.

Existem dois tipos de pré-avisos: as bandas cromáticas, mais usualmente utilizadas, caracterizaram-se por uma pequena espessura de tinta com cerca de poucos milímetros, e as

bandas sonoras, que são compostas por elementos com maior impacto podendo atingir até três cm de altura.

Para além da aplicação transversal, as bandas sonoras têm também vindo a ser colocadas longitudinalmente, como guias delimitadoras, com o intuito de alertar os condutores que poderão estar a sair da sua faixa de rodagem.

Com este tipo de medida pretende-se alertar os condutores que estão a entrar numa zona de conflitos e será necessário adaptar o seu comportamento às novas condições de circulação, reduzindo a sua velocidade (Ribeiro, 1996).

Os efeitos práticos dos pré-avisos são bastante limitados. De facto, verifica-se que com a habituação dos condutores a estas medidas, a redução da velocidade verificada imediatamente após a implementação tende a estabilizar, observando-se uma redução até 12% do percentil 85 da distribuição das velocidades (Ewing, 1999).



Figura 2.7 - Pré-avisos na rua Pedras Alçada, em Viseu (2016)

2.3.2.2 Lombas

Este tipo de medida consiste no aumento localizado da cota do pavimento, com a finalidade de produzir um efeito visual e físico nos condutores e induzir a redução de velocidades. A sua eficiência resulta do incómodo que é sentido pelo condutor ao transpor a lomba a velocidades superiores àquelas para que foi projetada (Watts, 1973; Ewing e Brown, 2010; Silva, 2010)

As lombas curtas e altas – *bumps*, *seep bumps* ou *speed thump* foram as primeiras a surgir, com elevações entre 5 e 15 cm e comprimentos entre 0,3 e 1,0 m (Silva 2010). Este tipo de lomba tem grandes desvantagens: o ruído provocado e o risco elevado de danos nos veículos quando transpostas a altas velocidades.

Para fazer face a esses problemas, começaram a ser utilizadas lombas mais alongadas – *humps* ou *speed humps* (Figura 2.8), com um perfil longitudinal entre 5 e 12 cm e comprimentos de 3 a 12 m podendo ter diversas tipologias de perfil desde circulares, parabólicas ate trapezoidais.



Figura 2.8 – Lomba alongada trapezoidal em Coimbra (Fonte: Silva, 2010)

Dentro deste tipo de lombas, o perfil mais utilizado é o perfil circular com cerca de 3,7 m de comprimento e 75 a 100 mm de altura. Segundo Watts (1973), este perfil é compatível com a prática de velocidades da ordem dos 25 a 30 km/h (Silva, 2010).

Contudo, o desenvolvimento das mais variadas configurações (desde comprimento, altura e tipologia do perfil) através de trabalhos de investigação alargou a utilização das lombas a velocidades até 50 km/h (Ewing e Brown, 2010).

A implementação de lombas pode ainda trazer alguns inconvenientes a quem não seja destinado este tipo de medidas, tais como os transportes coletivos e os veículos de emergência (Bunte Jr, 2000; Ewing e Brown, 2010). Para que tal não aconteça é possível utilizar três tipos de lombas:

- lombas alongadas com comprimentos compreendidos entre os 9 m e os 12 m, particularmente recomendadas para vias sujeitas à presença deste tipo de veículos (Alduán, 1996) – Figura 2.9 a);
- lombas combinadas que se caracterizam por uma lomba alongada destinada a veículos longos e outra mais agressiva dirigida aos automóveis (Steen e Hageback, 1999; Bastos Silva e Seco, 2006) – Figura 2.9 b);
- lombas (*speed cushion*), onde a elevação se limita à zona central da via permitindo que os veículos com maiores distâncias entre rodados a transponham sem a galgar (Ewing e Brown, 2010) – Figura 2.9 c).

Existem ainda problemas associados aos ciclistas que facilmente podem ser resolvidos criando canais sem lombas a uma distância de 1,2 m da berma e poderá ser implementada a segregação física entre a ciclovia e a faixa de rodagem (Figura 2.9d) para que os veículos automóveis não tenham tendência em circular com apenas uma roda sobre a lomba (Ewing e Brown, 2010).



Figura 2.9 – Lomba: a) alongada (Esteves, 2003); b) combinada (InIR, 2011); c) "Speed Cushion" (BHTRANS, 2008); d) com canal destinado a ciclistas (Esteves, 2003)

Segundo Silva (2010), verificou-se que a redução da velocidade de circulação entre lombas pode atingir os 50%, embora esse efeito dependa significativamente das características físicas da lomba (comprimento e altura).

Quanto à redução dos volumes de tráfego automóvel, apesar de algumas fontes apontarem para cerca de 30%, habitualmente será mais moderada à volta dos 18% (PennDOT, 2001).

2.3.2.3 Plataformas, travessias pedonais e interseções elevadas

As plataformas elevadas são lombas alongadas em que a parte superior é plana. Uma forma particular deste tipo de solução é a travessia pedonal elevada (Figura 2.10a) que se caracteriza por uma plataforma de perfil trapezoidal associada a uma passagem de peões. Muitas vezes, também é utilizada em conjunto com estrangulamentos a partir dos lados, de maneira a reduzir o comprimento do atravessamento pedonal.

Estas plataformas são também utilizadas na forma de interseção elevada (Figura 2.10b), abrangendo todo o interior dos cruzamentos/entroncamentos e eventualmente os ramos afluentes no troço de aproximação, que ficam a um nível muito próximo do passeio.



Figura 2.10 – a) Travessia pedonal elevada; b) Interseção elevada (BHTRANS, 2008)

O desnível inicial encontrado pelos veículos motorizados e o material aplicado diferente das restantes secções da via, para além de implicar uma redução de velocidade no local entre os 10% a 18% (InIR, 2011), também permite criar a ideia nos automobilistas de que estão a entrar numa zona em que é necessário adotar uma atitude diferente (Ewing, 1999).

2.3.3 Outras medidas

2.3.3.1 Semáforos de controlo de velocidade

O semáforo de controlo de velocidade (Figura 2.11) consiste num sistema que deteta a velocidade dos veículos, controlando as velocidades praticadas num determinado trecho e desincentivando velocidades superiores ao limite estabelecido. Nesta categoria existem dois tipos de conceções diferentes, designadas nos manuais americanos por “rest on red” e “rest on green”.

A primeira destas soluções funciona em manter o sinal vermelho até que um veículo se aproxime com velocidade inferior ao valor limite programado, passando assim a verde. A outra solução, mais utilizada em Portugal, consiste em manter o sinal verde até que um veículo se aproxime a velocidade superior à pré-estabelecida pelo sistema, passando assim a vermelho (Ewing, 1999).



Figura 2.11 - Semáforos de controlo de velocidade (Viseu, 2016)

É ainda de salientar que com a experiência adquirida ao longo dos anos, foi possível verificar que este tipo de solução é apenas eficaz em reduzir localmente a velocidade pois existe uma tendência em acelerar após a passagem do sinal (Bastos Silva *et al.* 2004)

2.3.3.2 Portões virtuais

Os portões virtuais ou de entrada consistem na introdução ou alteração de um conjunto de infraestruturas de forma a alertar os utilizadores da via para uma mudança de ambiente rodoviário no qual devem moderar a velocidade.

Para procurar evidenciar esta mudança de ambiente rodoviário, este tipo de solução é complementado com outro tipo de medidas de acalmia de tráfego como estrangulamentos da faixa de rodagem, pré-avisos, plantio de vegetação ou elementos arquitetónicos/paisagísticos (Figura 2.12). Quando implementados no início de povoações são geralmente associados à imposição de velocidade e colocação de sinais verticais de entrada nas localidades.



Figura 2.12 – Portão de entrada na Figueira da Foz (Silva, 2010)

2.3.4 Soluções integradas

Para além das medidas apresentadas nos pontos anteriores, e que tendencialmente são aplicadas isoladamente ou ao longo de corredores, existem soluções que visam a diminuição sistemática dos volumes de tráfego e das velocidades em áreas bem delimitadas, como bairros residenciais ou centros históricos.

2.3.4.1 Zona pátio ou “Woonerf zone”

As zonas “pátio” ou espaços de coexistência resultam da eliminação da segregação dos espaços atribuídos aos diversos modos de circulação e nos quais os peões tem prioridade face aos veículos motorizados (De Wit e Talens, 2001). De acordo com o Código da Estrada (ANSR, Lei n.º 72/2013, de 3 de setembro), uma zona de coexistência é uma zona da via pública especialmente concebida para utilização partilhada por peões e veículos, onde vigoram as seguintes regras de trânsito:

- a) Os utilizadores vulneráveis¹ podem utilizar toda a largura da via pública;
- b) É permitida a realização de jogos na via pública;
- c) Os condutores não devem comprometer a segurança ou a comodidade dos demais utentes da via pública, devendo parar se necessário;
- d) Os utilizadores vulneráveis devem abster-se de atos que impeçam ou embaracem desnecessariamente o trânsito de veículos;
- e) É proibido o estacionamento, salvo nos locais onde tal for autorizado por sinalização;
- f) O condutor que saia de uma zona residencial ou de coexistência deve ceder passagem aos restantes veículos.

¹ peões e velocípedes, em particular, crianças, idosos, grávidas, pessoas com mobilidade reduzida ou pessoas com deficiência

Pressupõe-se assim que exista uma coexistência dos diferentes utilizadores num único espaço, implicando uma melhor qualidade de vida urbana, a promoção dos modos suaves de deslocação, a melhoria das condições de segurança dos utilizadores mais vulneráveis e uma redução de velocidade de circulação por parte dos veículos motorizados.



Figura 2.13 - Praça Dom Duarte em Viseu (espaço passível de ser convertido em zona de coexistência)

Neste tipo de soluções, em Portugal, o limite de velocidade estabelecido no Código da Estrada corresponde a 20 km/h. De maneira a forçar esta redução e para tornar os espaços urbanos mais harmoniosos, é geralmente implementado no interior destas zonas mobiliário urbano com bancos, floreiras, canteiros, pequenos recreios para as crianças e/ou lugares de estacionamento (Hass-Klau *et al.*, 1992). Estas recomendações encontram-se refletidas no Código da Estrada, que preconiza o respeito por “*regras fundamentais de desenho urbano da via pública a aplicar nas referidas zonas, tendo por base os princípios do desenho inclusivo, considerando as necessidades dos utilizadores vulneráveis, inclusive com a definição de uma plataforma única, onde não existam separações físicas de nível entre os espaços destinados aos diferentes modos de deslocação*”.

Estas intervenções não se aplicam apenas ao interior da zonas mas também às suas entradas e saídas, que devem ser identificadas através de sinalização vertical complementada com alterações do desenho do espaço (cores, textura, contraste, ...), elevação das interseções e/ou criação de portões de maneira a indicar claramente a transição para um espaço diferente no qual é necessário praticar velocidades reduzidas.

2.3.4.2 Zonas 30

As zonas com velocidades inferiores a 30 km/h servem os objetivos de reduzir os volumes de tráfego motorizados e de melhorar a segurança dos utilizadores vulneráveis, impondo uma velocidade limite de circulação de 30 km/h (CCDRN, 2008a) e medidas no desenho urbano. A redução da velocidade pretende atingir progressivamente uma alteração no comportamento dos condutores de forma a atingir práticas de circulação mais seguras e menos poluentes.

Tal como nos espaços de coexistência, as zonas 30 pretendem induzir uma velocidade compatível com a vivência dos restantes utilizadores, visando favorecer a prática de modos suaves e devolver o espaço público às pessoas (Da Silva e Custódio, 2013). No entanto, nestas zonas aplicam-se as regras gerais do Código da Estrada (os peões cedem prioridade aos veículos motorizados) e não existe necessariamente a eliminação da separação física entre a via e o passeio, sendo neste caso ainda mais importante a identificação das entradas e saídas com sinalização vertical e o recurso a elementos ao nível do desenho urbano, nomeadamente a diferenciação do pavimento, a implementação de vegetação, a criação de elementos de referência, entre outros, de maneira a obrigar os condutores a mudar de comportamento e por consequência reduzirem a sua velocidade para o limite estabelecido.



Figura 2.14 – Exemplo de aplicação de uma Zona 20 no Satão (2010 - 2014)

Ao longo dos anos, estudos referentes a várias experiências implementadas na Europa mostram resultados que vão ao encontro dos objetivos das medidas de acalmia de tráfego, especificamente quanto as reduções de velocidades de circulação. Paralelamente a este efeito foi também verificado uma redução do número de acidentes e, principalmente, da sua gravidade (Da Silva, 2014).

A título de exemplo, estudos realizados pelo British Transport Research Laboratory verificaram que a implementação destas zonas no Reino Unido reduziu os acidentes em cerca de 60% e diminuiu os volumes de tráfego cerca de 27% (IMTT, 2011). Também num estudo realizado pela Universidade Politécnica de Madrid (Schettino e Echávarri, 2008) sobre acidentes referente às cidades de Holanda que implementaram o modelo de espaço partilhado é referido que se observou uma clara redução dos acidentes com feridos.

2.4 Síntese

As medidas de acalmia de tráfego visam compatibilizar os diferentes modos de movimentação (motorizados e não motorizados), tentando alcançar o respeito e a segurança dos utilizadores mais frágeis. De maneira a tal acontecer, é principalmente necessário diminuir as velocidades dos veículos motorizados, aproximando-as tanto quanto possível dos não motorizados.

A compatibilização dos diferentes modos de circulação passa assim pela redução das velocidades por parte dos veículos motorizados, e também pela diminuição dos volumes de

tráfego em determinadas zonas. Desta maneira, a montante da definição de intervenções pontuais, deve-se considerar reestruturar a rede viária, garantido que o tráfego de atravessamento recorra tendencialmente pelas vias estruturantes.

Geralmente, as medidas de acalmia de tráfego estão associadas à criação de alterações nos alinhamentos horizontais (estrangulamentos, gincanas, estreitamentos junto às interseções, rotundas e mini-rotundas) e verticais (pré-aviso, lombas, plataformas, travessias pedonais e interseções elevadas), de forma a induzir fisicamente e psicologicamente a adoção de comportamentos adequados ao local. Realça-se que estas se baseiam na imposição física que obrigam os condutores a reduzir as suas velocidades e não apenas na simples implementação de sinalização, embora também deva ser utilizada em complemento com as medidas de acalmia de tráfego de modo a reforçar o seu efeito.

Este tipo de solução está estreitamente associado às estratégias de planeamento sustentável, particularmente no que respeita às questões ambientais e económicas, de maneira a diminuir as consequências negativas do crescimento automóvel, mas assegurando no entanto a mobilidade dos todos os utilizadores. Estas medidas constituem ainda numa oportunidade de requalificação urbana através de colocação de vegetação, elementos arquitetónico, diferentes texturas e cores nos pavimentos, iluminação e mesmo através da integração de elementos das redes viárias como estacionamentos.

3 Programa de microssimulação de tráfego Aimsun

3.1 Introdução

O Aimsun (*Advanced Interactive Microscopic Simulator for Urban and Non-urban networks*) é um simulador microscópico de tráfego que modela o comportamento individual de cada veículo da rede durante o período de simulação de acordo com vários submodelos de comportamento dos veículos. O programa foi desenvolvido nos anos 90 pela empresa *Transport Simulation Systems* (TSS) com sede em Barcelona (Espanha) e implementado como uma ferramenta de apoio aos engenheiros de tráfego de modo a poderem analisar problemas complexos. Esta aplicação tem-se revelado muito útil no teste de novos sistemas de controlo de tráfego e na gestão de políticas baseadas nas tecnologias tradicionais ou na implementação de Sistemas Inteligentes de Transporte (*ITS - Intelligent Transport Systems*), permitindo ainda estimar o impacto ambiental das emissões de poluição atmosférica e a energia consumida pelos veículos (Aimsun, 2012).

3.2 Princípios básicos da modelação

Este modelo de microssimulação combina a escala temporal contínua com a discreta, isto é, existem elementos, por exemplo os veículos ou os detetores, cujo estado se altera continuamente durante a simulação e existem outros elementos como os sinais luminosos ou pontos de entrada na rede que mudam o seu estado apenas em instantes específicos.

O sistema possui um elevado nível de detalhe. As infraestruturas viárias são simbolicamente representadas por arcos e nós que definem, respetivamente, as faixas de rodagem e as interseções. A cada um destes elementos está associado um conjunto alargado de parâmetros

(orientação, número e largura de vias, tipo de via, definição de vias reservadas, velocidade máxima permitida, capacidade máxima, traçado, marcação rodoviária, ...) que podem ser definidos pelo utilizador. Ao nível das intersecções é possível definir os movimentos de viragem e especificar o tipo de controlo através de sinalização vertical (cedência de passagem ou paragem obrigatória) ou de sinais luminosos. O Aimsun permite representar outros tipos de equipamentos de tráfego existente no sistema real, tal como painéis de mensagem variável ou detetores de tráfego e implementar estratégias de gestão de tráfego como é o caso da atribuição de prioridades aos transportes públicos, detetando a sua presença e antecipando assim a fase que lhes dá passagem sem terem de parar (Vilarinho, 2008).

O Aimsun permite simular e calibrar diferentes tipos de utilizadores das redes viárias, desde os peões aos vários tipos de veículos (ligeiros, pesados, autocarros, ...). A procura do tráfego pode ser definida de duas formas distintas, através de matrizes origem/destino ou da definição de fluxos de tráfego de entrada repartidos direccionalmente em cada nó, sendo que nos dois casos, os veículos são introduzidos na rede através de centróides.

Toda a informação da simulação é organizada em cenários, experiências e replicações. O Aimsun pode definir mais de um cenário e para cada um, pode ser criada mais do que uma experiência. As experiências são constituídas pelas replicações e no caso de existirem mais do que uma pode ser criada uma média das replicações. Existe ainda a possibilidade de gravar, executar a diferentes velocidades e interromper a uma determinada hora as simulações interativas. No entanto para ser mais rápido, é possível simular sem animação.

3.3 Principais submodelos

Os modelos microscópicos procuram reproduzir a dinâmica de cada veículo na rede, com base em características dos condutores e dos veículos. A simulação dos veículos assenta assim num conjunto de submodelos, em que se destacam os de seguimento, de aceitação de intervalos, de mudança de via e de escolha de trajeto.

3.3.1 Seguimento

O submodelo de “seguimento” (*car-following*) é fulcral aos modelos microscópicos e tem como objetivo gerar a resposta de um condutor relativamente ao veículo que segue à sua frente. O Aimsun utiliza o modelo de Gipps (1981b), que consiste em duas componentes: aceleração e desaceleração, descritas empiricamente pelas expressões (3.1) e (3.2), as quais são definidas com base em variáveis que podem ser medidas.

A primeira componente caracteriza a intenção de um veículo alcançar uma determinada velocidade desejada e a segunda componente retrata as limitações impostas pelo veículo que segue à frente quando o de trás tenta atingir a velocidade desejada.

Assim a velocidade máxima que um veículo n (seguidor) pode atingir, em aceleração, durante um período de tempo $(t, t+\tau)$ é dada por:

$$V_n^{ace}(t + \tau) = V_n(t) + 2,5 a_n \tau \left(1 - \frac{V_n(t)}{V_n^d} \right) \sqrt{0,025 + \frac{V_n(t)}{V_n^d}} \quad (3.1)$$

Onde:

a_n é a aceleração máxima do veículo n [m/s^2];

τ é o tempo de reação [s];

$V_n(t)$ é a velocidade do veículo n no instante de tempo t [m/s];

V_n^d é a velocidade desejada do veículo n [m/s].

Já em desaceleração, isto é, de acordo com as características físicas e limitações impostas pelo veículo $n-1$ que circula a sua frente, o veículo n consegue atingir durante o mesmo intervalo de tempo uma velocidade máxima dada pela expressão seguinte:

$$V_n^{des}(t + \tau) = -d_n \left(\frac{\tau}{2} + \theta \right) + \sqrt{d_n^2 \left(\frac{\tau}{2} + \theta \right)^2 + d_n \left\{ 2[x_{n-1}(t) - x_n(t) - S_{n-1}] - \tau V_n(t) + \frac{V_{n-1}^2(t)}{d'_{n-1}} \right\}} \quad (3.2)$$

Onde:

d_n é a desaceleração mais severa que o veículo n está disposto a aplicar [m/s^2];

d'_{n-1} é a estimativa da desaceleração dessa mesma desaceleração [m/s^2];

S_{n-1} é o comprimento efetivo do veículo $n-1$ [m];

$V_{n-1}(t)$ é a velocidade do veículo $n-1$ no instante t [m/s];

$x_n(t)$ é a posição longitudinal do veículo n no instante t [m];

$x_{n-1}(t)$ é a posição longitudinal do veículo $n-1$ no instante t [m];

θ é uma margem de segurança associada ao tempo de reação [s].

Na dedução da expressão assumiu-se que a desaceleração do veículo $n-1$ é d'_{n-1} e que o seguidor começa a travagem com um atraso de τ . É ainda assumido que os condutores têm em consideração uma margem de segurança θ para evitar desacelerar sempre à taxa máxima. Gipps (1981b) fixou o parâmetro através da relação $\theta = \tau / 2$ numa fase inicial do seu trabalho e normalmente esta igualdade encontra-se subentendida nas equações respeitantes às componentes de aceleração e desaceleração. Por último, o comprimento efetivo do veículo $n-1$ corresponde ao comprimento real do veículo adicionado ao espaçamento mínimo entre veículos imobilizados (para-choques dianteiro – para-choques traseiro) (Vasconcelos, 2014).

Por sua vez a velocidade final do veículo n ($V_n(t, t + \tau)$) durante o intervalo de tempo $(t, t + \tau)$ é dada pelo mínimo das duas expressões antes definidas e a posição do veículo n na via em que se encontra pode ser atualizada, tendo em conta esta velocidade final e fixando o intervalo de simulação igual ao tempo de reação τ na seguinte equação de movimento:

$$x_n(t + \tau) = x_n(t) + V_n(t + \tau)\tau \quad (3.3)$$

Quando o intervalo entre veículos é muito grande então a velocidade mínima é dada pela expressão (3.1) e o veículo acelera livremente de acordo com uma lei derivada de dados empíricos, tendendo assintoticamente para a velocidade desejada V_n^d . Caso contrário a velocidade é dada por (3.2), sendo que esta expressão indica a velocidade máxima que permite

a imobilização do veículo, recorrendo à sua máxima desaceleração d_n , tal que no fim da manobra resulte o espaçamento mínimo entre veículos parados S_{n-1} (Vasconcelos, 2014).

3.3.2 Aceitação de intervalos

Enquanto na realidade os sinais verticais regulam cada segmento da intersecção, no Aimsun nenhum movimento é estabelecido por predefinição como prioritário, pelo que é necessário definir para cada movimento individualmente o seu nível de prioridade.

Em qualquer um dos tipos de sinais, a decisão de atravessar ou de aguardar é o resultado do modelo de aceitação de intervalos (*gap acceptance*), que modela o comportamento dos veículos na aproximação e atravessamento de uma intersecção em que seja necessário ceder prioridade, determinando se o veículo não prioritário tem condições ou não de efetuar a manobra.

Este submodelo consiste na determinação do tempo necessário para o condutor atravessar a intersecção em segurança e depende das distâncias dos veículos prioritários e não prioritários a um ponto de colisão teórico (PCT), das suas velocidades e das taxas de aceleração praticadas pelos condutores dos veículos.

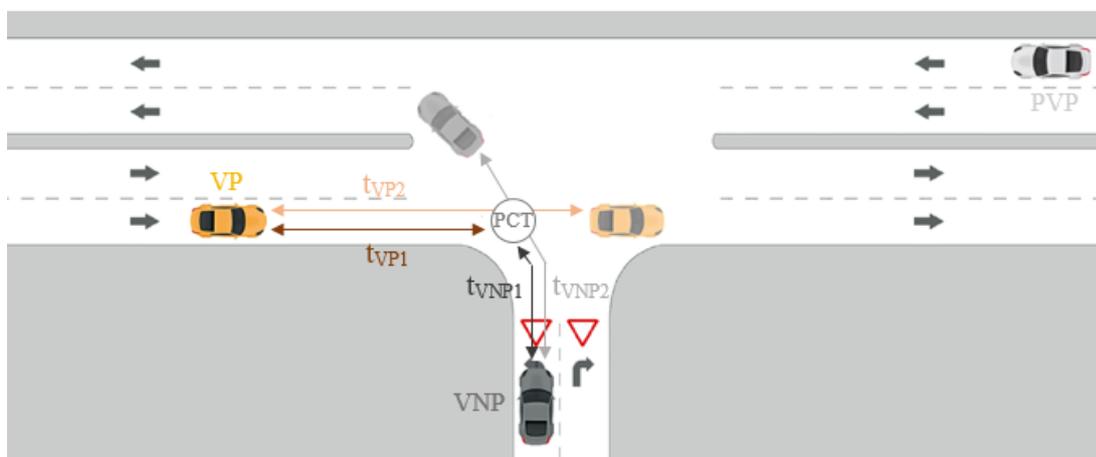


Figura 3.1 – Modelo de aceitação de intervalos, adaptado de Oliveira (2016)

A inserção do veículo não prioritário (VNP) é efetuada em segurança caso o tempo (t_{VNP2}) que este demore a ultrapassar a zona de conflito, adicionado da margem de segurança inerente ao comportamento do condutor, seja inferior ao tempo que o veículo prioritário (VP) demore a alcançar a zona de conflito (t_{VP1}).

Se esta situação não se verificar, e caso o tempo que o veículo prioritário demora a ultrapassar a zona de conflito (t_{VP2}) seja inferior ao tempo que o veículo não prioritário demora a alcançar a zona de conflito (t_{VNP1}), o veículo prioritário considerado já terá libertado a intersecção e é identificado um novo veículo prioritário que possa impedir a manobra, voltando a análise ao início. O veículo não prioritário aguarda pela sua oportunidade de inserção, desacelerando ou mesmo imobilizando o veículo até estarem reunidas as condições de segurança (Oliveira, 2016).

Para tal determinação é ainda tido em conta a distância de visibilidade dos condutores que queiram atravessar a interseção, considerando que apenas são considerados como possíveis veículos conflitantes os veículos que se encontrem total ou parcialmente a essa distância.

3.3.3 Mudança de via

Podendo ser considerado um desenvolvimento do modelo “seguinte” de Gipps (1986a), este submodelo simula o comportamento de um condutor caso este necessite ou deseje mudar de via e existam condições favoráveis para executar a manobra.

Os condutores podem ser obrigados a efetuar essa mudança devido por exemplo a via terminar, podem antecipar uma situação de congestionamento ou então simplesmente mudarem de via por opção para poderem seguir em melhores condições de circulação (Dowling *et al.*, 2004).

A relação entre os benefícios desejados e o risco associado a mudança de via determina a oportunidade de efetuar a manobra (Barceló, 2010) e são definidos três níveis de motivação para efetuar a manobra correspondentes a três zonas distintas, identificadas na figura seguinte, de modo a chegar a uma representação do comportamento durante este processo.

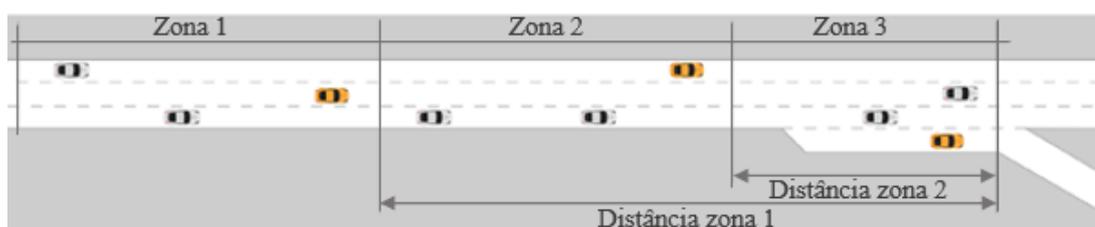


Figura 3.2 - Zonas de mudança de via (Oliveira, 2016)

A zona 1 (ver Figura 3.2) representa a parte mais distante de uma possível saída. As decisões de mudança de via são condicionadas pelas condições de tráfego nas vias adjacentes. A possibilidade de o condutor efetuar uma mudança de via para se inserir numa via mais adequada ao seu destino ainda não é tida em consideração. A velocidade de circulação desejada pelo condutor, a velocidade do veículo da frente, a velocidade do futuro veículo da frente caso seja efetuada a mudança de via e as respetivas distâncias são parâmetros que são analisados de forma a medir as melhorias associadas às condições de circulação após a execução da manobra.

A zona 2 (ver Figura 3.2) corresponde a uma zona intermédia, representando a tentativa de o veículo alcançar a via mais adequada ao seu destino. Ao longo desta zona os condutores avaliam os espaços disponíveis nas vias de tráfego adjacentes de maneira a puderem deslocar-se para a via pretendida sem perturbar os restantes utilizadores da rede viária.

A zona 3 (ver Figura 3.2) é a mais próxima de uma saída, na qual os veículos são obrigados a mudar de via caso queiram sair sendo necessária uma redução de velocidade ou mesmo paragem. Os veículos que circulam nas vias adjacentes também podem ser afetados, alterando o seu comportamento de forma a dar espaço suficiente para realização da manobra.

Estas zonas são definidas por dois parâmetros, a distância à zona 1 e à zona 2 (ver Figura 3.2), podendo ser contabilizadas em unidade de tempo (s) ou distância (m). A perceção destas

distâncias pode variar, possibilitando, por exemplo, que os veículos pesados se apercebam antes dos veículos ligeiros da necessidade de mudar de via (Aimsun, 2015). Nesta ótica, o processo de mudança de via implica assim a definição de intervalos de aceitação, analisada anteriormente.

3.3.4 Escolha de trajetos

O objetivo deste submodelo é identificar, para cada um dos veículos gerados para a rede, o trajeto completo, desde a origem até ao destino. Este é um processo complexo porque é necessário identificar o conjunto de trajetos viáveis, calcular os respetivos custos de deslocação e calcular a proporção de condutores que adotam cada uma das alternativas. Note-se que este é um processo dinâmico, já que os custos de deslocação podem variar no decorrer da simulação, em função dos níveis de congestionamento, e que os condutores poderão ser obrigados a mudar de trajeto a meio do seu percurso. Este submodelo é estudado em detalhe no próximo capítulo.

3.4 Resultados da simulação

Os resultados da simulação são vastos e referentes a níveis de análise distintos (rede, secção, via, nó, movimento de viragem, matrizes O/D, trajeto), podendo ser apresentadas numa escala temporal global recolhidos desde o início até o fim da simulação ou periódica definida pelo utilizador (Oliveira, 2016)

O Aimsun permite obter estes dados com os mais variados formatos pré-definidos pelo utilizador, podendo-se afirmar que o programa é valorizado pelas suas competências gráficas (Vilarinho, 2008). Ao longo da simulação, a duas ou três dimensões, é possível gerar diferentes tipos de animação de maneira a evidenciar os objetivos da modelação.

Os arcos, os detetores e os nós permitem retirar informação estatística distinta como por exemplo a densidade, a velocidade, o nível de serviço, o número de veículos, o tempo de viagem, o comprimento da fila de espera máxima e média entre outros, o estado dos sinais luminosos dependendo do elemento.

É possível também obter informação detalhada sobre um veículo individualmente (velocidade, aceleração, desaceleração, tempos de reação, características físicas, ...), sendo possível visualizar o seu percurso durante a simulação.

O programa permite ainda comparar valores médios de junções de iterações (experiências) através de gráficos ou tabelas.

3.5 Síntese

A simulação de tráfego busca reproduzir com precisão as condições reais de tráfego existentes nas redes viárias para um computador. Os modelos microscópicos são constituídos por duas componentes, uma que descreve com precisão os elementos da geometria das infraestruturas

viárias tais como semáforos, painéis de mensagens variáveis, entre outros, e outra que modela detalhadamente os movimentos individuais do tráfego o que torna estes modelos bastante precisos sem ao mesmo tempo deixarem de ser o suficientemente flexível para se adaptarem às mais variadas realidades.

O Aimsun baseia-se na representação contínua de cada veículo individualmente ao longo de toda a simulação de acordo com os vários modelos que descrevem os diferentes comportamentos dos condutores: seguimento, a mudança de via e os intervalos de aceitação, de maneira a assegurar que os veículos não entrem em colisão. Isto justifica-se pelo facto de que cada veículo deseja viajar a sua velocidade máxima, no entanto fatores como os outros veículos, as regras de circulação e o ambiente rodoviário o impedem e condicionam o seu comportamento.

No modelo, a rede é representada com elevado nível de detalhe. O sistema faz a distinção entre os variados tipos de veículos e suas características físicas, permite modelar secções com diferentes configurações e diferentes tipos de intersecções, possibilitando ainda a simulação do equipamento de tráfego existente na rede viária. A procura de tráfego pode ser introduzida através de um dos dois métodos: matrizes origem/destino ou definição dos fluxos de tráfego de entrada.

Por último, os dados de simulação são organizados em cenários, experiências e replicações e os resultados podem ser visualizados ao longo da simulação ou então no final sobre forma de quadros ou gráficos.

4 Modelos de escolha de trajetos

4.1 Introdução

Num modelo convencional de atribuição e simulação de tráfego, os principais *inputs* são a matriz Origem/Destino (O/D) das viagens, a rede viária com informação topológica e um conjunto de equações e respetivos parâmetros que traduzem o processo de interação entre condutores e entre estes e a rede. São identificados os caminhos alternativos entre cada par O/D e, posteriormente, as viagens geradas/atraídas entre esse par são distribuídas pelo conjunto de caminhos. Os principais *outputs* são os fluxos de tráfego nos diferentes arcos da rede e os custos de viagem entre as zonas (Bastos Silva *et al.*, 2013).

O processo de escolha de trajetos é o tema central do presente capítulo. Numa primeira parte apresentam-se os princípios básicos subjacentes a este tipo de submodelos. A segunda parte incide sobre o comportamento real dos condutores, tendo por base um inquérito realizado à população da ESTGV.

4.2 Custo generalizado de deslocação

Um primeiro conceito que se encontra subjacente a todos os modelos de atribuição de tráfego é o do custo de deslocação. Caso um utilizador disponha de mais que uma alternativa para efetuar uma viagem, vai naturalmente ponderar uma série de fatores para decidir o percurso a seguir.

Torna-se assim útil utilizar o conceito de *custo generalizado de deslocação*, como sendo uma função dos fatores envolvidos na decisão. Alguns destes fatores, como o conforto, os aspetos cénicos ou a perigosidade do percurso, são dificilmente quantificáveis e geralmente não são levados em conta nos processos de modelação (Vasconcelos, 2004). A expressão (4.1), adotada

frequentemente no Reino Unido para comparar diferentes modos de transporte, traduz o custo generalizado de deslocação da zona i para a zona j , através do modo k . Caso não esteja em causa a possibilidade de transferência modal no decorrer da viagem, é possível adotar a expressão simplificada (4.2), com a qual se admite que os condutores apenas valorizam o tempo de viagem e a distância percorrida (Thomas, 1991). Importa referir que no caso específico dos modelos de escolha de trajetos, o tempo de viagem é muitas vezes o único fator considerado.

$$c_{ij}^k = a_1 t_{ij}^k + a_2 e_{ij}^k + a_3^k d_{ij}^k + p_j^k + B^k \quad (4.1)$$

$$c_{ij}^k = a_1 t_{ij}^k + a_3^k d_{ij}^k + T_{ij}^k \quad (4.2)$$

onde:

c_{ij}^k é o custo generalizado de deslocação da zona i para a zona j , através do modo k , em *pence*;

t_{ij}^k é o tempo de deslocação, dentro do veículo;

e_{ij}^k é o tempo adicional de deslocação, fora do veículo (deslocações a pé e esperas pelos transportes coletivos);

d_{ij}^k é a distância percorrida no veículo;

p_j^k é os custos associados ao fim da viagem (tarifas de estacionamento, no caso de transporte individual);

B^k é a penalidade modal (representa a desutilidade percebida do modo k);

a_1 é o valor do tempo para os utilizadores, em *pence* por minuto

a_2 é o valor do tempo adicional, normalmente assumido como $2a_1$

a_3^k é o valor do quilómetro percorrido (custo do combustível no caso do transporte individual e das tarifas no caso de transporte públicos).

4.3 Modelos de escolha discreta

Independentemente da função de custo considerada, é importante notar que, na realidade, os condutores não são todos iguais. Alguns valorizam mais o tempo, outros a distância percorrida. Para além desta variabilidade, há ainda que se notar o facto de que se um condutor em um determinado dia escolher um trajeto, nada garante que venha a repetir a opção no outro dia, mesmo em igualdade de circunstâncias.

Os modelos de escolha discreta fundamentam-se na hipótese básica de que a probabilidade de um indivíduo escolher determinada alternativa é função da atratividade da alternativa escolhida em relação à atratividade das outras alternativas disponíveis (Ortúzar & Willumsem, 1994).

Para representar a atratividade de uma alternativa parte-se do conceito de custo de deslocação, apresentado no ponto anterior.

A teoria da escolha discreta prevê que o decisor pondere os atributos de cada alternativa para escolher uma na qual o seu benefício seja o maior possível. Esse critério de decisão implica matematicamente que a atratividade de uma alternativa, expressa por um vetor de valores de atributos, seja redutível a um índice. O índice de atratividade de uma alternativa em relação às demais dentro de um mesmo conjunto de escolha pode ser definido como utilidade.

De uma forma geral, a utilidade de um trajeto k para o par O/D i é dada por:

$$U_k^i = V_k^i + \varepsilon_k^i \quad (4.3)$$

onde:

V_k^i é a componente determinística da utilidade correspondente ao conjunto de fatores considerados explicitamente pelo modelo;

ε_k^i é um termo aleatório que representa os fatores que afetam a utilidade da viagem mas que não estão incorporados na componente determinística. Assim, se a componente determinística fosse composta pelo tempo e pela extensão, este termo representaria a influência do estado do pavimento, do número de paragens, etc. (Aimsun, 2012).

Um condutor escolherá de entre o conjunto das k alternativas disponíveis, aquela que maximize a sua utilidade, na qual se inclui a componente aleatória ε . Diferentes tipos de modelos de escolha discreta são obtidos em função da distribuição admitida para a componente aleatória. Os modelos mais utilizados são os do tipo Logit e C-logit (Cascetta *et al.*, 1996).

4.3.1 Modelo Logit

O modelo Logit determina a probabilidade P_k de um condutor escolher um determinado trajeto alternativo k relativamente a todos os outros caminhos alternativos l , a qual pode ser expressa como uma função de diferença entre as utilidades medidas de todos os outros caminhos alternativos. Considerando que a utilidade determinística tem como único atributo o tempo de deslocação, esta probabilidade é dada pela expressão seguinte:

$$P_k = \frac{e^{v_k \theta}}{\sum_{l \in K_i} e^{v_l \theta}} \quad (4.4)$$

Onde:

V_i é a utilidade (determinística) de cada caminho alternativo i [horas];

θ é o fator de forma ou de escala.

É tido em conta que $V_i = -c_i/3600$ sendo a função c_i o custo do trajeto i , medido em segundos (Aimsun, 2012).

O fator de forma ou de escala é um parâmetro definido pelo utilizador que pode, portanto, ser usado para refletir o efeito que pequenas mudanças nos tempos de viagem têm sobre as decisões dos condutores. Para ilustrar o comportamento do modelo, considere-se a Figura 4.1 que representa uma rede simples com dois trajetos alternativos entre os pontos A e B.

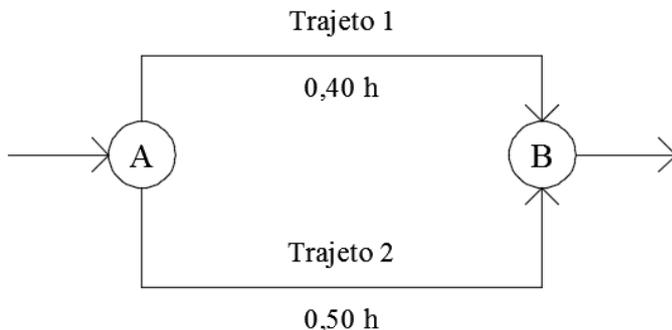


Figura 4.1 – Rede viária com dois trajetos alternativos

Neste caso, para uma diferença de tempos de viagem de 6 minutos, aplicando o modelo Logit é possível verificar que para $\theta = 5$, a probabilidade de escolha dos trajetos mais rápido e mais lento é de 62,2% e 37,8%, respetivamente. Estas diferenças de probabilidades acentuam-se à medida que aumenta a diferença de tempos de percurso (ver a Figura 4.2, painel esquerdo). Por outro lado, pode verificar-se na Figura 4.2, painel direito, que o parâmetro θ influencia estas probabilidades, isto é, a probabilidade de o percurso mais rápido ser selecionado tende para 100% à medida que θ aumenta. Sendo assim é possível concluir que valores mais altos do fator de escala θ devem ser utilizados em redes onde os condutores valorizam mais o tempo de viagem e valores mais baixos em redes nas quais se reconhece que, de entre os inúmeros fatores que efetivamente influenciam a escolha de trajetos, o tempo de viagem é pouco significativo para os condutores.

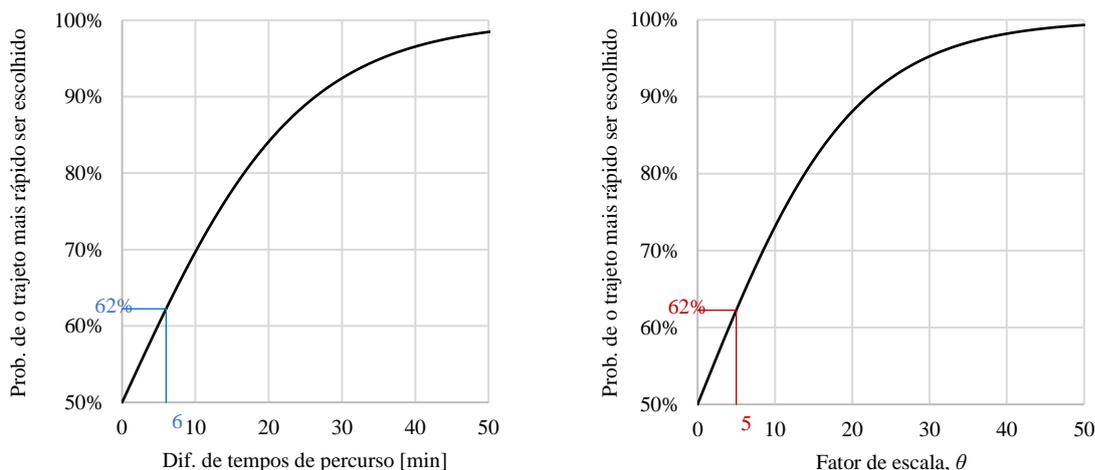


Figura 4.2 – Painel esquerdo: probabilidade de o trajeto mais rápido ser escolhido em função da diferença de tempos de trajeto, para $\theta = 5$; Painel direito: probabilidade de o trajeto mais rápido ser escolhido em função de θ para uma diferença de tempos de viagem fixa (6 minutos).

O modelo Logit tem um comportamento adequado e previsível quando os trajetos alternativos são consideravelmente diferentes entre si, isto é, quando têm pouca ou nenhuma sobreposição. O desempenho deste modelo tende a piorar em redes complexas, em que se torna relevante a incapacidade do modelo Logit distinguir entre duas alternativas no caso de existir um elevado grau de sobreposição. O modelo C-Logit, descrito de seguida, procura resolver este inconveniente.

4.3.2 Modelo C-logit

Para evidenciar as limitações do modelo Logit, considere-se a Figura 4.3, que representa uma variação da rede referida no ponto anterior.

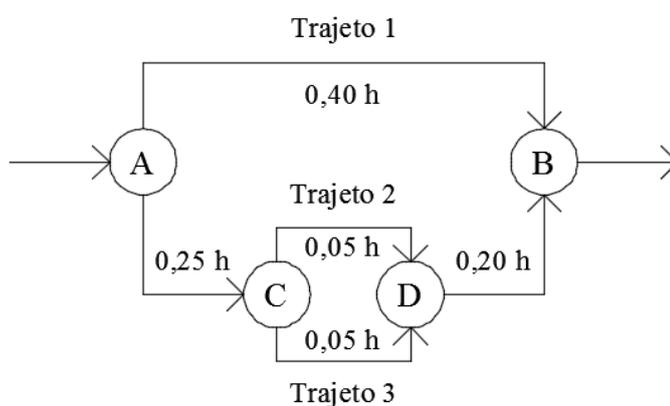


Figura 4.3 – Rede viária com três trajetos alternativos com sobreposição parcial

Esta rede é idêntica à apresentada anteriormente a menos da bifurcação entre C e D, havendo assim três trajetos alternativos entre a origem A e o destino B. Aplicando o modelo Logit simples (Equação 4.4), com $\theta = 5$, obtêm-se as seguintes probabilidades: $P_1 = 45,2\%$, $P_2 = 27,4\%$ e $P_3 = 27,4\%$ (ver Tabela 4.1). Comparando estes resultados com os obtidos anteriormente, verifica-se que o simples facto de se considerar a bifurcação entre C e D altera a probabilidade de escolha do trajeto 1 (de 62,2% para 45,2%), o que não faz sentido, já que seria expectável obter uma probabilidade de escolha do trajeto 1 igual a 62,2% e 37,8% para os restantes (18,9% para cada um dos trajetos).

O uso do modelo C-Logit pretende restabelecer o realismo ao processo de escolha de trajetos, reconhecendo neste caso que a existência da bifurcação entre o ponto C e D não origina um aumento da probabilidade de escolha para o conjunto de percursos 2 e 3. Neste modelo, a probabilidade de escolher o trajeto k de entre os vários caminhos alternativos l é expressa como:

$$P_k = \frac{e^{\theta(V_k - CF_k)}}{\sum_{l \in K_i} e^{\theta(V_l - CF_l)}} \quad (4.7)$$

Onde:

V_i é a utilidade de cada caminho alternativo i (expressa em horas);

θ é o fator de forma ou de escala, tal como no modelo Logit;

CF_k é o fator de sobreposição.

O termo CF_k , denominado de “fator de sobreposição” (*commonality factor*), é diretamente proporcional ao grau de sobreposição do trajeto k com os outros trajetos alternativos. Assim, os trajetos com elevado grau de sobreposição têm um maior fator CF e, portanto, uma utilidade menor em relação aos trajetos alternativos. O CF_k é calculado da seguinte maneira:

$$CF_k = \beta \ln \sum_{l \in K_i} \left(\frac{L_{lk}}{L_l^{1/2} L_k^{1/2}} \right)^\gamma \quad (4.8)$$

Onde:

L_{lk} é o comprimento comum entre os trajetos l e k ;

L_l e L_k são os custos dos trajetos l e k , respetivamente em horas.

Os parâmetros β e γ determinam o peso dado ao fator de sobreposição. Como principio básico, é sugerido que o fator β esteja compreendido entre t_{\min} e t_{\max} , em horas (Aimsun, 2012). Tendo por base resultados experimentais Bert et al., (2005) fixam geralmente estes valores em 0,15 e 1,00, respetivamente.

A aplicação do modelo C-Logit com os valores β e γ propostos por Bert *et al.* resulta numa repartição mais equilibrada. A solução ótima (correspondente a $P_1 = 62,2\%$) foi obtida por ajustes sucessivos do parâmetro β , mantendo constantes os parâmetros θ e γ .

Rede	Modelo	θ	β	γ	P_1	P_2	P_3
1	Logit	5	--	--	62,2%	37,8%	--
2	Logit	5	--	--	45,2%	27,4%	27,4%
2	C-Logit	5	0,150	1,00	57,2%	21,4%	21,4%
2	C-Logit	5	0,215	1,00	62,2%	18,9%	18,9%

Tabela 4.1 – Probabilidade de escolha resultante dos modelos Logit e C-Logit

É ainda de salientar que caso se adote $\beta = 0$ obtém-se o modelo “Logit Puro”, isto é, todos os percursos origem-destino são tratados como alternativas completamente independentes.

4.4 Afetação de tráfego à rede

Os mecanismos de escolha de trajetos referidos anteriormente são especialmente importantes em modelos de nível macroscópico, nos quais os tempos de trajeto se consideram constantes. No entanto, em redes urbanas, é irrealista considerar que os tempos de trajeto, e consequentemente os custos associados às funções de escolha de trajetos, são constantes. Com efeito, os condutores procuram minimizar o seu tempo de deslocação, optando sempre que possível pelas alternativas mais rápidas, o que por sua vez aumenta o tempo de trajeto nessas vias. Este processo conduz ao designado equilíbrio de Wardrop (1952) que se divide em dois princípios de escolha de trajetos:

- Equilíbrio do Utilizador: “*Em redes congestionadas, o tráfego distribui-se de modo a que os custos de deslocamento em todos os trajetos utilizados entre cada par origem-destino sejam iguais. O custo de deslocamento em qualquer um dos trajetos não utilizados é superior*”;
- Equilíbrio do Sistema: “*O custo global de deslocamento de cada um dos trajetos utilizados é o mínimo possível*”.

Os quais se baseiam respetivamente nos seguintes comportamentos:

- 1) os condutores escolhem os seus percursos independentemente e no seu melhor interesse, com base nas condições de tráfego resultantes das escolhas de outros;
- 2) os condutores cooperam na escolha de trajetos, tendo em vista produzir um padrão de tráfego que dê o máximo benefício à comunidade.

É consensual considerar que a escolha individualista de trajetos representa a aproximação mais realista, pelo que geralmente as técnicas de atribuição de tráfego procuram respeitar a primeira hipótese de Wardrop (Vasconcelos, 2004).

A simulação deste processo no modelo passa por definir períodos relativamente curtos (5 - 10 minutos) no fim dos quais os tempos de deslocação são atualizados e transmitidos ao algoritmo de escolha de trajetos, no qual se pode optar por atribuir todas as viagens desse período, relativas a um dado par O/D, a um trajeto (o mais rápido) ou a vários (proporcionalmente às probabilidades determinadas pelo modelo Logit ou C-Logit). Note-se que caso se opte por atribuir todo o tráfego a um mesmo percurso, em redes urbanas congestionadas é provável que resultem tempos de trajeto muito elevados, pelo que no próximo intervalo os condutores desse par O/D tenderão a optar por outro percurso. A utilização do modelo Logit ou C-Logit nestas condições serve essencialmente para controlar as oscilações de tráfego em períodos sucessivos. Em paralelo, e com o mesmo objetivo, é possível especificar que os tempos de percurso devem resultar da média de dois ou mais períodos anteriores.

4.5 Análise dos inquéritos realizados

Este subcapítulo apresenta os resultados do inquérito por questionário realizado junto da comunidade académica da ESTGV - funcionários, docentes e alunos com carta de condução, que teve como objetivo compreender melhor o processo de escolha de trajetos em automóvel nas deslocações urbanas.

O questionário, apresentado no Apêndice A, é composto por treze perguntas e estruturado em três grupos de questões. O primeiro grupo caracterizou o perfil do participante no estudo. O segundo grupo caracterizou o nível do conhecimento e de erro face à estimativa dos tempos de percurso. Por fim, o terceiro grupo caracterizou o real comportamento dos condutores perante três trajetos alternativos.

O questionário foi distribuído na ESTGV e respondido exclusivamente em formato papel, entre 1 e 8 de Junho de 2016, tendo sido recolhidas 209 respostas das quais resultaram 205 respostas válidas. Os dados recolhidos foram armazenados numa tabela única e examinados com recurso a folhas de cálculo do Excel.

4.5.1 Caracterização dos participantes

Foram definidas duas variáveis para obter a caracterização dos participantes neste inquérito por questionário: sexo e função.

Em relação a categoria função (ver tabela 4.2), verificou-se que a maioria dos participantes é aluno da ESTGV (92%), sendo que apenas 8% responderam ser docente ou funcionário.

Função	Nº	%
Aluno	188	92%
Docente/Funcionário	17	8%
Total	205	100%

Tabela 4.2 – Numero de participantes por função

Consultando agora a tabela 4.3, verifica-se que a maioria dos respondentes é do sexo masculino (62%). Apesar de não ser conhecida a real distribuição por função e sexo da população da ESTGV, considera-se que a amostra é razoavelmente representativa e não enviesada.

Sexo	Nº	%
Feminino	78	38%
Masculino	127	62%
Total	205	100%

Tabela 4.3 – Numero de participantes por sexo

4.5.2 Tempos de percurso

Neste segundo grupo de perguntas, foram considerados três trajetos alternativos: um primeiro que passa pelas vias estruturantes, outro que atravessa o centro da cidade e um terceiro fora do núcleo da cidade (Figura 4.4), para os quais os participantes teriam de estimar o tempo em minutos que levariam a percorrê-los de automóvel numa quarta-feira típica, em modo de condução normal, nos seguintes horários: das 8h00 às 9h00 e das 10h00 às 11h00.

Esta questão teve assim como objetivo aferir o erro que as pessoas cometem ao estimar o tempo que levariam a percorrer um determinado percurso durante e fora da hora de ponta. Os tempos reais de trajeto (Tabela 4.4) foram recolhidos através de medições *in situ*, tendo sido feitas cinco medições para cada trajeto nos horários correspondentes em condições livres de circulação. Foi seguido o método do observador móvel para garantir o registo da velocidade média da corrente de tráfego, isto é, em cada percurso o condutor do veículo de prova procurou seguir à velocidade média, tendo ultrapassado o mesmo número de veículos que o ultrapassaram. Este conjunto de observações correspondeu a cerca de duas horas e meia de condução e a 91 km percorridos.



Figura 4.4 – Trajetos considerados no segundo grupo de perguntas

Para todos os trajetos apresentados, os condutores tem tendência a sobrevalorizar os tempos de trajeto (ver a Tabela 4.4) visto que mais de 75 % dos respondentes estima tempos de trajeto bem superiores aos reais.

		Trajeto 1.1		Trajeto 1.2		Trajeto 1.3	
		8h - 9h	10h - 11h	8h - 9h	10h - 11h	8h - 9h	10h - 11h
Tempo de trajeto estimado	P ₂₅	5	5	10	9	5	5
	Mediana	8	5	15	10	8	5
	P ₇₅	10	8	18	14	10	8
	Média	8,7	6,4	14,6	11,3	8,5	6,7
Tempo de trajeto real	Média	2,96	2,53	7,97	7,99	4,17	4,13

Tabela 4.4 – Análise estatística dos tempos de percurso

Das respostas obtidas, foi ainda possível verificar que a esmagadora maioria, cerca de 78%, afirmam que existe uma diminuição dos tempos de trajeto quando percorridos fora da hora de ponta, enquanto 14% responde que os tempos são iguais durante ambos os períodos e 8% consideram que os tempos aumentam no período das 10h00 às 11h00 (ver a Tabela 4.5). Contudo, quando considerado o trajeto na periferia da cidade, verifica-se um aumento dos respondentes (de 14% para 26%) a considerar os tempos de trajetos iguais durante e fora da hora de ponta, sendo que se mantém os 8% que afirmam demorar mais tempo no segundo período.

	Trajeto 1.1	Trajeto 1.2	Trajeto 1.3
Tempo de trajeto superior na hora de ponta	76%	80%	66%
Tempo de trajeto inferior na hora de ponta	9%	8%	8%
Tempos de trajetos idênticos em ambos os horários	15%	13%	26%

Tabela 4.5 – Percentagens de respostas correspondentes a relação entre os horários considerados

4.5.3 Escolha de trajeto

Nesta secção do questionário, composta por cinco perguntas, pretendeu-se analisar o comportamento da população da ESTGV no que respeita à escolha de trajetos com o principal objetivo de compreender melhor o real comportamento dos condutores e estabelecer uma ponte entre o modelo Logit, anteriormente descrito, e a realidade.

Considerando três trajetos alternativos para cada par origem/destino, cada participante teve assim de indicar o trajeto que adotaria numa quarta-feira típica, no horário das 10h00 as 11h00. Os resultados óbitos para cada par origem/destino encontram-se apresentados nas figuras 4.5 a 4.9, tendo-se verificado que a maioria dos condutores tem tendência a optar pelo trajeto mais rápido.

Os tempos reais de trajeto foram recolhidos recorrendo ao método do observador móvel, anteriormente enunciado, tendo sido feita desta vez apenas três medições para cada trajeto no horário correspondente. Este conjunto de observações correspondeu a cerca de três horas de condução e a 116,1 km percorridos.

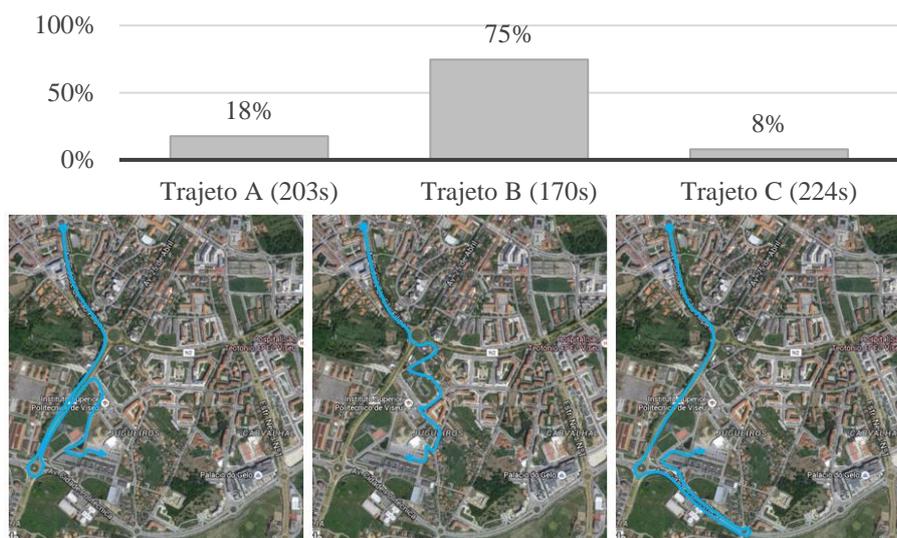


Figura 4.5 – Resultados para o par origem/destino: Rotunda de Marzovelos – ESTGV

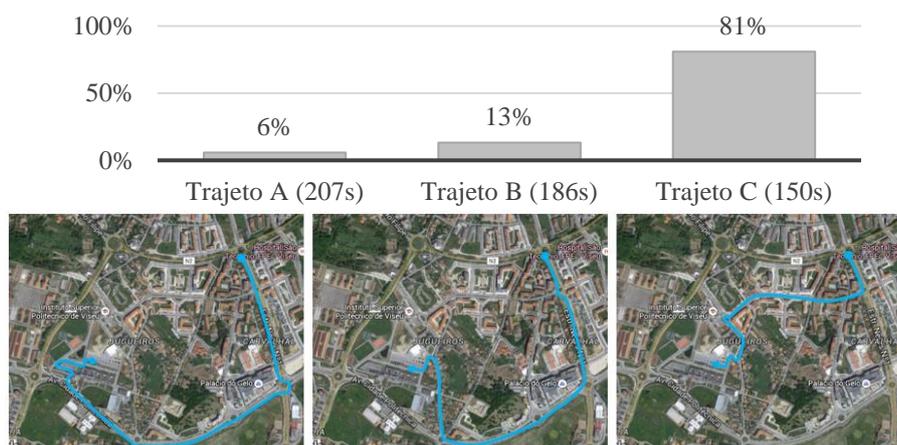


Figura 4.6 – Resultados para o par origem/destino: Rotunda de Nelas – ESTGV

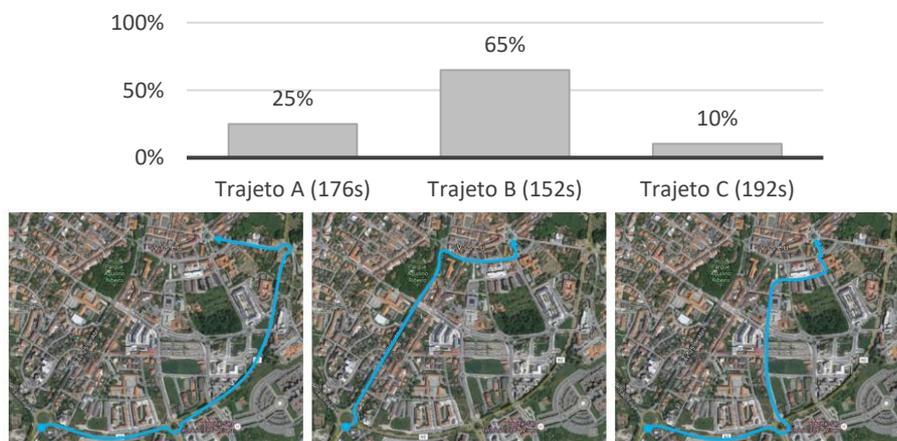


Figura 4.7 – Resultados para o par origem/destino: ESTGV – Largo de Santa Cristina

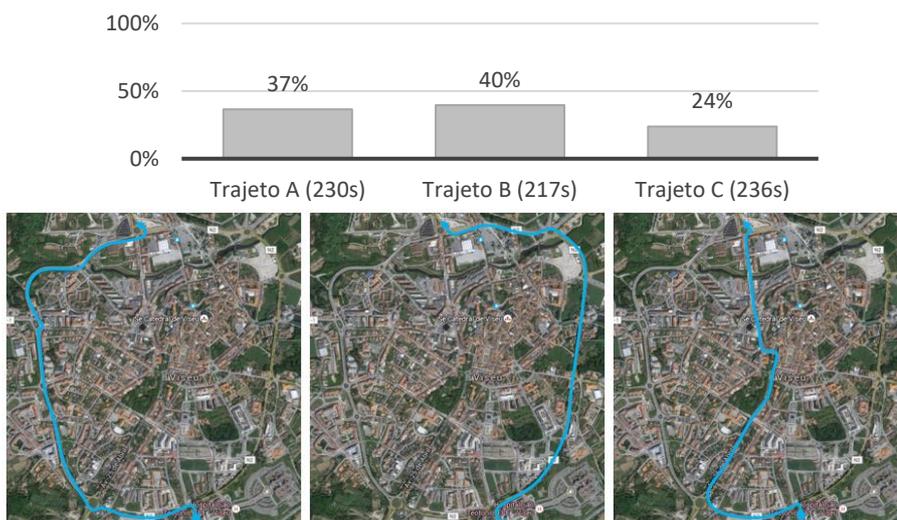


Figura 4.8 – Resultados para o par origem/destino: Rotunda de Nelas – Avenida Europa

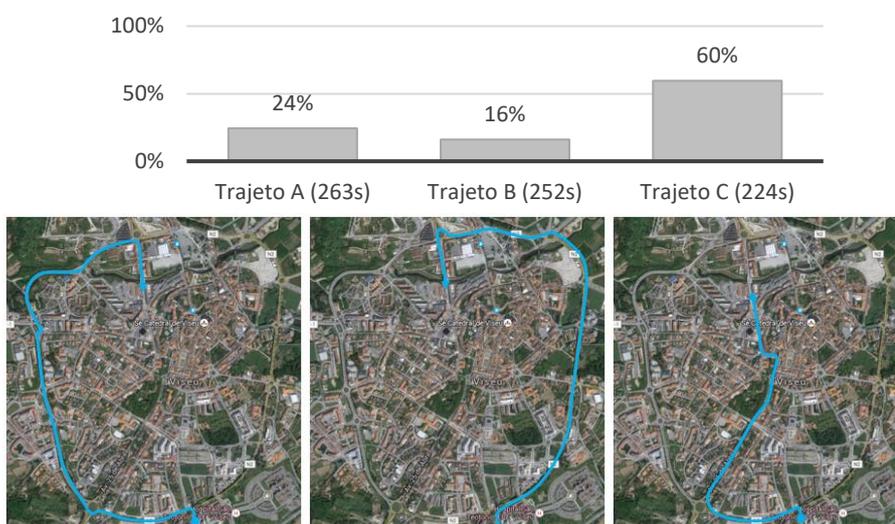


Figura 4.9 – Resultados para o par origem/destino: Rotunda de Nelas – Central de Camionagem

4.5.4 Calibração do parâmetro de escala θ do modelo Logit

Tendo as repartições de tráfego e tempos de trajeto reais para cada trajeto foi possível encontrar, através do suplemento "solver" do Excel, o valor do parâmetro θ do modelo Logit (Equação 4.4) que melhor reproduzia a realidade no modelo. Iterativamente, é encontrado o "ótimo" valor de teta de maneira a minimizar o erro cometido para cada par origem/destino, definido como o somatório das diferenças quadráticas entre as proporções de utilizadores previstas e estimadas. Este valor varia aproximadamente entre 70 e 150, tal como se pode ver na tabela seguinte. Esta gama de valores serviu de base à calibração do modelo Aimsun descrito no capítulo seguinte.

Figura	Origem	Destino	Opção	Realidade			Modelo		Erro cometido
				Tempo (s)	Respostas (%)	Tempo (h)	θ	Distribuição	
2.1	Rotunda de Marzovelos	ESTGV	A	203	17,56%	0,056	155,7	17,92%	0,000013
			B	170	74,63%	0,047		74,67%	0,000000
			C	224	7,80%	0,062		7,42%	0,000015
0,000028									
2.2	Rotunda de Nelas	ESTGV	A	207	5,85%	0,057	177,5	4,95%	0,000082
			B	186	13,17%	0,052		13,94%	0,000060
			C	150	80,98%	0,042		81,11%	0,000002
0,000143									
2.3	Rotunda da ESTGV	Largo de Santa Cristina	A	177	24,88%	0,049	152,9	23,04%	0,000339
			B	152	64,88%	0,042		64,93%	0,000000
			C	192	10,24%	0,053		12,03%	0,000319
0,000658									
2.4	Rotunda de Nelas	Avenida Europa	A	230	36,59%	0,064	69,5	31,29%	0,002806
			B	217	39,51%	0,060		40,69%	0,000138
			C	236	23,90%	0,066		28,03%	0,001701
0,004645									
2.5	Rotunda de Nelas	Central de Camionagem	A	263	24,39%	0,073	114,5	17,07%	0,005356
			B	253	16,10%	0,070		23,92%	0,006113
			C	224	59,51%	0,062		59,01%	0,000025
0,011493									

Tabela 4.6 – Escolhas declaradas de trajetos e calibração do modelo Logit

4.6 Síntese

Os modelos de escolha de trajeto buscam definir, para cada veículo gerado para a rede, o percurso utilizado entre o par origem/destino e consistem num processo dinâmico de identificação do conjunto de trajetos viáveis e de cálculo dos respetivos custos de deslocação que resulta no cálculo da proporção de condutores que optam por cada uma das alternativas.

Os modelos de escolha discreta mais utilizados são o modelo Logit e C-Logit, os quais determinam a probabilidade de um determinado percurso ser escolhido relativamente a todas as outras alternativas.

O processo de atribuição / simulação de tráfego em redes congestionadas recorrendo a microsimulação de tráfego consiste geralmente das seguintes tarefas: a) para cada par O/D, especificar o número total de viagens a gerar durante o período de modelação; b) dividir essas viagens por subperíodos de curta duração (ex.: 5 minutos), uniformemente ou respeitando um perfil de partidas; c) para cada subperíodo, atribuir a totalidade das viagens ao percurso mais rápido (atribuição determinística) ou aos vários percursos possíveis, proporcionalmente à probabilidade determinada pelo modelo de escolha discreta; d) no fim do subperíodo, atualizar

os tempos de percurso e determinar novas probabilidades para cada um dos percursos dos diferentes pares O/D.

A análise dos modelos de escolha de trajeto Logit e C-Logit permitiu concluir que uma correta quantificação dos parâmetros dos modelos tem grande influência no resultado final e é fundamental para garantir uma correta distribuição do tráfego pelas alternativas disponíveis.

Os resultados obtidos nos inquéritos contribuíram para melhor compreender o real comportamento dos condutores. Os condutores tendem a sobrevalorizar os tempos de trajeto, em termos absolutos, mas no entanto são consistentes face a percursos alternativos, tendendo a optar pelo percurso mais rápido. Verificou-se, contudo, que uma proporção significativa de condutores opta por trajetos mais lentos, o que se pode explicar por dois motivos principais: a) pela dificuldade anteriormente referida que os condutores têm em identificar o percurso mais rápido, b) pela existência de outros fatores (extensão do percurso, número de paragens, estado do pavimento, etc.) que influenciam as decisões dos condutores. Esta dispersão de opções foi considerada no modelo Logit através da calibração do parâmetro θ .

5 Estudo de caso – requalificação da rede viária de uma zona residencial

5.1 Identificação e justificação da zona em estudo

O primeiro passo de qualquer estudo de tráfego é a identificação do problema e das questões a responder, do qual deve resultar a delimitação da área de análise.

Esta aplicação em concreto visa avaliar as vantagens e os inconvenientes de introduzir um conjunto de medidas de acalmia de tráfego num espaço residencial de Viseu, cidade onde decorreu parte do trabalho, recorrendo a técnicas de microsimulação de tráfego. A seleção da zona urbana a ser modelada neste trabalho resultou da ponderação de duas condicionantes:

- a) Interesse prático – o estudo deveria centrar-se sobre uma zona residencial de Viseu com problemas reais na malha viária e cuja resolução / mitigação passe pela implementação de medidas simples de acalmia de tráfego. Considerou-se assim o interesse prático que a proposta pode representar para a Câmara Municipal de Viseu (CMV);
- b) Dimensão da área de estudo - pretendia-se que a área de estudo fosse vasta o suficiente para, por um lado, permitir tirar conclusões que não sejam condicionadas por eventuais singularidades da rede modelada e, por outro lado, constituir um exercício de modelação interessante e desafiante, implicando a modelação de diferentes tipos de interseções, de linhas de transportes coletivos, a análise de escolhas de trajetos e outros aspetos do processo de modelação que apenas surgem em redes de dimensão significativa. Naturalmente, será de observar que à medida que a área aumenta também os recursos humanos envolvidos e o tempo necessário para a recolha de dados e para o processamento da informação serão mais elevados.

A zona selecionada para desenvolver o projeto situa-se na freguesia Coração de Jesus, em Viseu, e engloba o bairro da Quinta do Galo os seus espaços envolventes. A área escolhida caracteriza-se como residencial funcional, pois para além de ser constituída maioritariamente por habitação multifamiliar também inclui o campus do Instituto Politécnico de Viseu (IPV), duas escolas básicas, um centro comercial, um centro de saúde, um hospital privado e vários estabelecimentos comerciais.

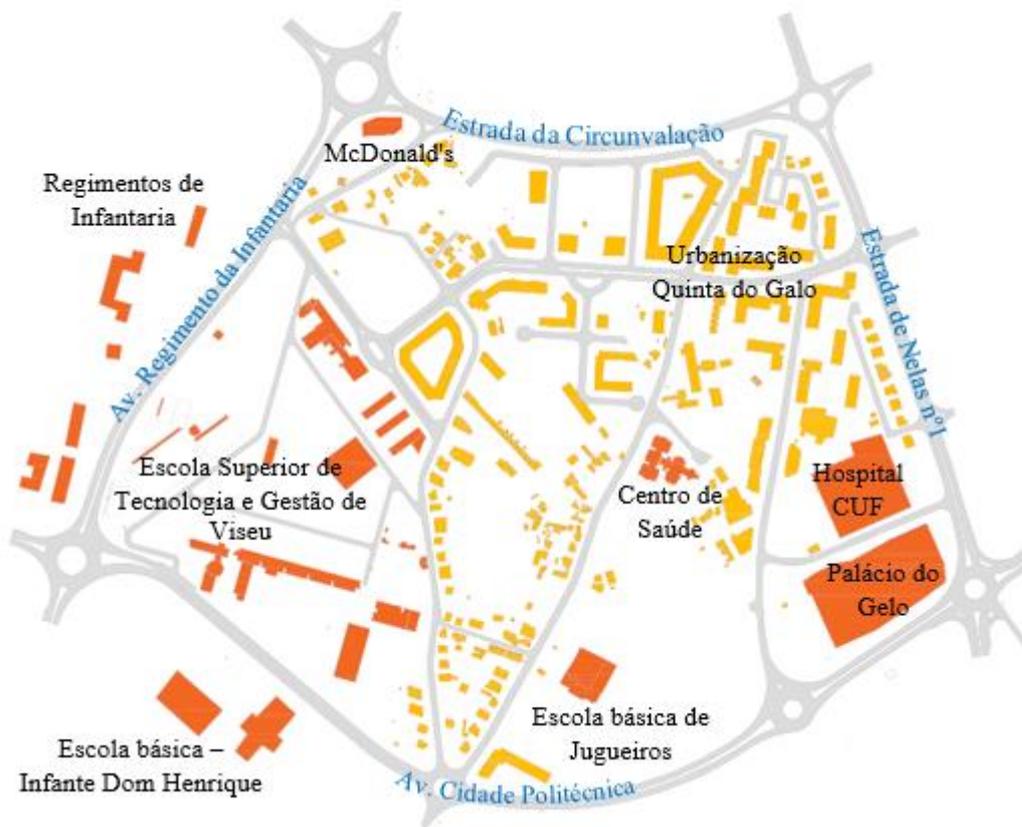


Figura 5.1 – Zona em estudo com identificação dos principais pontos de atração de tráfego

5.2 Processo de implementação de soluções de acalmia de tráfego

Segundo o Manual de Planeamento das Acessibilidades e da Gestão Viária (CCDRN, 2008a) e o Instituto de Infraestruturas Rodoviárias (InIR, 2011), o processo de implementação de soluções de acalmia de tráfego é geralmente iniciado a pedido das populações ou dos municípios sendo constituído por 4 a 5 fases essenciais:

- Diagnóstico da situação e definição de objetivos;
- Escolha das possíveis soluções;
- Seleção e implementação da solução;
- Monitorização e análise dos efeitos.

No entanto, devido às limitações dos estudos antes-e-depois, esta última fase tem vindo a ser substituída por estudos baseados em modelos de microsimulação de tráfego que são realizados antes da implementação real das medidas de acalmia.

5.3 Diagnóstico da situação existente

Esta primeira fase é uma das mais importantes de todo o processo. Com efeito, apenas com um correto diagnóstico da situação existente é possível definir as medidas de intervenção na rede viária e programar a recolha de dados para a construção e validação do modelo.

Nesse sentido, através de constantes visitas ao local que possibilitaram um bom conhecimento da zona, foram recolhidos cinco grupos de dados:

- dados geométricos da rede viária;
- volumes e velocidades de tráfego;
- caracterização dos transportes públicos;
- sinistralidade rodoviária;
- planos previstos para a zona em estudo.

5.3.1 Dados geométricos

A caracterização física da rede viária passa pela definição de dados geométricos relativos às vias e às interseções. Os dados relativos às vias (largura, comprimento e curvaturas dos segmentos) foram obtidos através de uma planta em formato AutoCAD. Os dados das interseções (movimentos de viragem, afetação de movimentos às vias, hierarquia de prioridades) foram observados diretamente nos locais, recorrendo-se também à consulta de imagens do Google Maps (fotografias aéreas e Google street view).

A área é circunscrita pela Av. Cidade Politécnica (sul), Estrada de Nelas nº1 (nascente), Estrada da Circunvalação (norte) e Av. Regimento da Infantaria nº14 (poente) (Figura 5.1). Para além destas vias estruturantes, a área é servida por um conjunto de vias cuja principal função é garantir a acessibilidade a todos os espaços internos, embora suportem também algum tráfego de atravessamento.

Após várias observações no terreno, destacaram-se diversos aspetos geométricos que contribuem para um ambiente excessivamente “rodoviário” da zona:

- Arruamentos com duas faixas de circulação em pleno espaço residencial (seguimento da Rua Pintor António de Almeida) – Figura 5.2-a);
- Faixas de circulação muito largas e passeio estreitos com obstáculos (árvores, postes, caixas) – Figura 5.2 b);

- Estacionamento longitudinal e transversal em praticamente todos os arruamentos, por vezes com ocupação parcial dos passeios – Figura 5.2 c);
- Estacionamento ilegal que dificultam a visibilidade de passadeiras e cruzamentos e circulação dos outros veículos (Rua Pintor António de Almeida) – Figura 5.2 d);
- Falta de árvores e vegetação para quebrar o impacto visual do estacionamento ao longo das vias e em largos (R. Frei Joaquim Santa Rosa de Viterbo) – Figura 5.2 e);
- Arruamentos muito longos sem sinuosidade (R. Quinta da Alagoa) – Figura 5.2 f).



Figura 5.2 – Aspetos geométricos dos arruamentos

5.3.2 Volumes e velocidades de tráfego

A procura existente na rede foi recolhida através do recurso a contagens manuais classificadas, para períodos de trinta minutos no período de ponta da manhã, entre as 8h00 e as 10h00. A recolha decorreu em duas semanas consecutivas durante o mês de abril de 2016, de segunda a sexta-feira, somando um total de dez dias. Nesta tarefa assumiu-se que as variações de tráfego são pouco significativas ao longo do período 8h00 – 10h00 e entre os diferentes dias da semana. Numa aplicação real seria necessário registar, para as diversas interseções, a evolução da procura ao longo do período de ponta da manhã e excluir os dias da semana em que os volumes de tráfego são atípicos (normalmente segundas e sextas feiras, e em Viseu a terça feira, já que é o dia da feira semanal, embora esta se realize numa zona da cidade relativamente afastada). Procedeu-se à recolha de dados em dezoito interseções (Figura 5.3 e Tabela 5.1), incluindo entradas e saídas para a rede através das várias rotundas e para o estacionamento do instituto politécnico, do centro de saúde e do centro comercial.

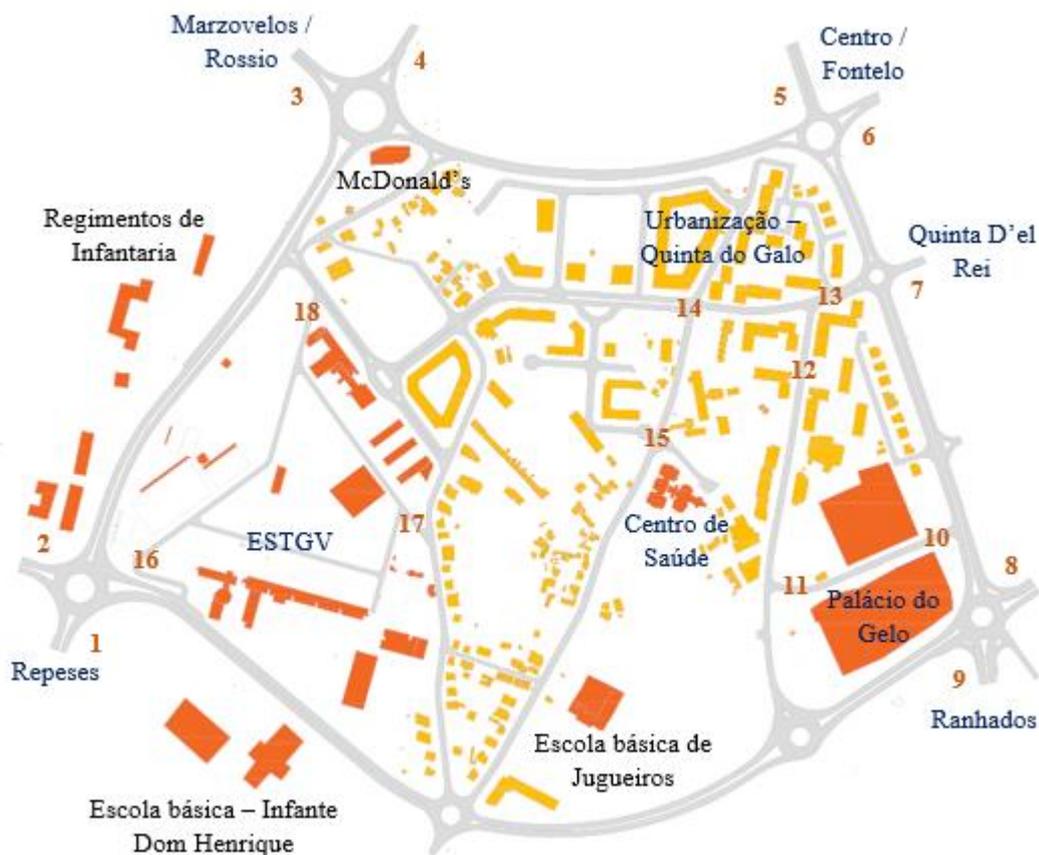


Figura 5.3 – Identificação dos locais de contagem

Centróide	Secção	Veíc. Registrados		Total nos 30m		Hora de Ponta		Matriz O/D	
		Origem	Destino	Origem	Destino	Origem	Destino	Origem	Destino
Repeses	1. Avenida Luís Martins	492	499	698	521	1396	1042	1400	1080
	2. Rua da Capela	206	22						
Marzovelos / Rossio	3. Avenida Cidade de São Filipe	709	389	932	748	1864	1496	1800	1480
	4. Avenida 25 de Abril	223	359						
Centro / Fontelo	5. Rua Pedras Alçadas	214	225	538	502	1076	1004	1000	980
	6. Estrada Circunvalação	324	277						
Quinta D'el Rei	7. Rua Quinta D'el Rei	174	165	174	165	348	330	350	330
Ranhados	8. Rua Cruzeiro	294	234	937	899	1874	1798	1800	1780
	9. Estrada De Nelas nº1	643	665						
Palácio do Gelo	10. Entrada Este	4	163	6	227	12	454	100	500
	11. Entrada Oeste	2	64						
Quinta do Galo - Urbanização	12. Quinta do Galo	2	3	65	75	130	150	150	150
	13. Rua Quinta São José	39	50						
	14. Avenida Madre de Jesus	24	22						
Centro de Saúde	15. Estacionamento	-	48	-	48	-	96	-	100
ESTGV	16. Entrada Sul	2	12	21	133	42	266	100	300
	17. Entrada Este	17	119						
	18. Entrada Norte	2	2						

Tabela 5.1 – Registo das contagens de tráfego e valores correspondentes a matriz O/D

Por fim as contagens efetuadas foram extrapoladas para os 60 minutos (ver Tabela 5.1) correspondentes à hora de ponta para poderem ser posteriormente introduzidos numa matriz origem/destino (O/D). O período horário representa as condições de circulação mais desfavoráveis. Considerando a curta duração da simulação, admitiu-se que a procura é aproximadamente constante, a menos de flutuações aleatórias na geração de veículos para a rede. Isto é, manteve-se a predefinição do Aimsun, através da qual os intervalos entre veículos consecutivos injetados na rede seguem uma distribuição exponencial negativa. Por outro lado, notando que a proporção de veículos pesados de mercadorias é pouco significativa, assumiu-se que as correntes de tráfego são constituídas apenas por veículos ligeiros de passageiros.

A velocidade legal permitida nesta zona é de 50 km/h para todas as vias e 30 km/h nos arruamentos da ESTGV; no entanto, nas vias estruturantes verifica-se uma tendência para circular a velocidades superiores (aproximadamente 70 km/h), à exceção da Av. Cidade Politécnica na qual existe um semáforo de controlo de velocidade e da circunvalação à frente

do Palácio do Gelo na qual existe geralmente estacionamento em segunda fila que impossibilita elevadas velocidades de circulação.

5.3.3 Caracterização do transporte público

A zona é atravessada por cinco linhas da Sociedade de Transportes Urbanos de Viseu - STUV (as linhas 10, 12, 13, 15 e 22) que são ilustradas na figura 5.4. Apenas estas linhas foram consideradas, pois os outros autocarros apenas apresentavam trajetos ocasionais. A informação relativa a rotas, horários e localização das paragens foi retirada do *site* da internet: <http://stuv.weebly.com>.

Para cada uma das linhas foi necessário indicar a frequência e o percurso. Foi também necessário introduzir toda a informação relativa às paragens – linhas servidas, tipologia (na via, em baía) e duração média de cada operação de entrada / saída de passageiros.

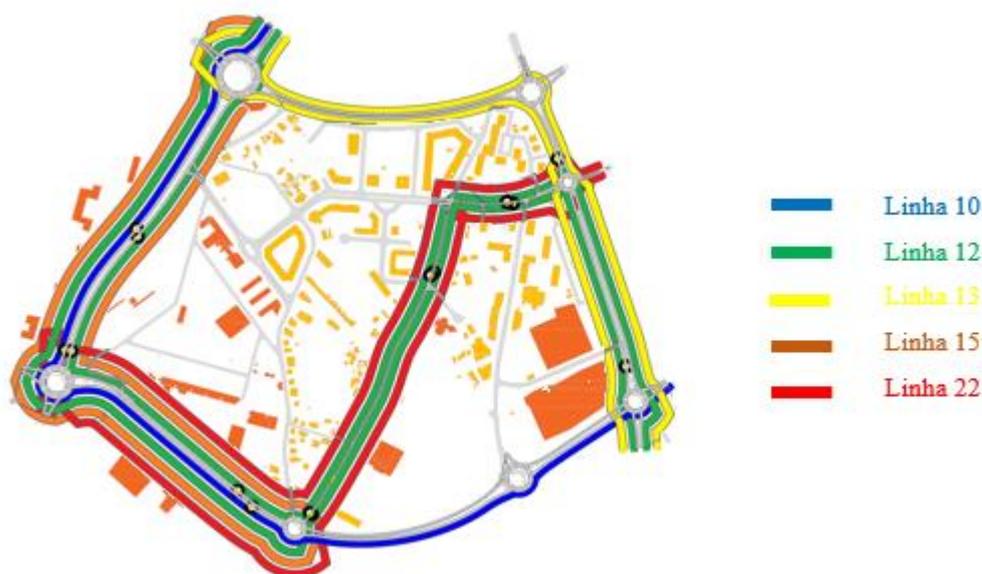


Figura 5.4 – Trajetos dos autocarros considerados

5.3.4 Sinistralidade rodoviária

Para poder efetuar um bom diagnóstico, os acidentes com mortos ou feridos registados ao longo dos últimos cinco anos devem ser tratados e analisados, dando particular atenção à tipologia, causas e localização dos acidentes (InIR, 2011).

No entanto, após várias tentativas em vão para obter os dados referentes aos acidentes na zona em estudo perante a PSP de Viseu, o estudo da sinistralidade baseou-se no conhecimento da zona e na edição de 6 de janeiro de 2017 do Diário de Viseu, que relata:

“As autoridades registaram ontem, pelas 10h00, uma colisão entre três veículos ligeiros no cruzamento da Rua Pintor António de Almeida e a Avenida Madre Rita Jesus, junto à Quinta de São José, mais conhecida como Quinta do Galo. Do acidente, que mobilizou agentes da Esquadra de Trânsito da PSP e elementos dos Bombeiros Municipais, resultaram danos

materiais avultados nos três automóveis e o condicionamento da circulação, durante os trabalhos de remoção de viaturas

No local, vários moradores e comerciantes garantiram que acidentes como o de ontem são frequentes naqueles cruzamentos, ocorrendo, pelo menos, um por semana, e defendem que é preciso encontrar uma solução para o problema...”



Figura 5.5 – Capa do Jornal Diário de Viseu (edição de 6 de janeiro de 2017)

5.3.5 Planos previstos para a zona em estudo

Os problemas de disputa do espaço pelos veículos motorizados e peões/ciclistas nesta zona são claramente visados pela linha estratégica da Câmara Municipal de Viseu, através de programa MUV – Mobilidade Urbana de Viseu, que pretende melhorar a qualidade de vida e criar condições para um desenvolvimento económico e ambiental sustentável, através da implementação de meios e modos de transporte alternativos e “ecológicos”, com especial destaque para o uso dos transportes públicos e das bicicletas (<http://www.cm-viseu.pt/>).

A primeira fase da rede de ciclovias será implementada e terá uma extensão de cerca de seis quilómetros, ligando diferentes pontos da cidade, de utilização intensiva, como é o caso do Hospital, os polos universitários e o centro da cidade, passando pela zona em estudo. Entre outras medidas, prevê-se a diminuição do limite da velocidade legal para 30 km/h em todos os arruamentos onde não seja possível criar via própria para as bicicletas.

Refira-se ainda que os problemas desta zona são reconhecidos pelos técnicos da CMV no âmbito do Plano Municipal de Requalificação de Bairros e que está a ser equacionada a conversão do espaço residencial da Quinta do Galo em Zona 30 e a criação de uma rotunda num dos acessos ao bairro de São José, que irá substituir um cruzamento, onde se têm registado diversos acidentes.

5.3.6 Apreciação do diagnóstico e definição de objetivos

Após a caracterização da rede e observação da zona em estudo, foi possível verificar que os volumes de tráfego máximos registados, mesmo tendo em conta os cruzamentos e pontos de conflito, não são suficientes para criar congestionamento. No entanto, constatou-se que a rede viária está excessivamente vocacionada para a circulação e estacionamento de veículos motorizados e não satisfaz as funções sociais e de lazer que deveriam ser as características de uma área residencial / comercial.

Para além destes fatores, verifica-se que, para vários pares origem-destino externos à Quinta do Galo, os arruamentos internos integram trajetos mais curtos do que os definidos pelas vias estruturantes envolventes. Não existindo diferenciação nos limites legais de velocidade nem medidas de controlo de acessos, os trajetos internos são preferidos por muitos condutores. Com efeito, a análise dos inquéritos realizada no Capítulo 4 indica, por exemplo, que os 75% dos condutores que se deslocam para a ESTGV a partir da Rotunda de Marzovelos (questão 3-2.1) utilizam eixos locais (Rua Alexandre Herculano e Rua Nova) em detrimento da via estruturante Av. Regimento Infantaria 14; da mesma forma, 81% dos condutores que se deslocam para a ESTGV a partir da rotunda de Nelas (questão 3-2.2), atravessam os bairros da Quinta do Galo e Jogueiros, o que lhes permite encurtar cerca de 700 m em relação ao percurso definido pela Estrada de Nelas – Circunvalação. Estes movimentos de atravessamento resultam em volumes de tráfego e velocidades de circulação que põem em causa a segurança e a qualidade de vida dos residentes e visitantes do bairro.

Outro problema que se identifica são os conflitos gerados nos entroncamentos e cruzamentos, com especial atenção para o cruzamento da rua Av. Madre Rita de Jesus com a rua Pintor António de Almeida (Figura 5.6), onde existem vários relatos de acidentes entre os veículos motorizados.



Figura 5.6 – Cruzamento conflituoso onde se têm registado vários acidentes (Fonte: Google Earth)

Com a identificação de todos estes problemas, justifica-se o estudo de soluções de acalmia de tráfego para esta zona, que tendam a diminuir o tráfego de atravessamento e as velocidades de circulação, promovendo um ambiente rodoviário compatível com a função residencial e com os modos de circulação suaves.

5.4 Proposta de soluções

Na sequência da análise dos problemas observados na zona em estudo e da definição dos objetivos, optou-se por um conjunto de medidas de acalmia de tráfego que resultam da ponderação dos efeitos pretendidos para o local em estudo, dos impactos previsíveis, bem como das condições de inserção urbanística e integração funcional. Propõem-se assim as seguintes alterações identificadas na Figura 5.7:

- alteração de toda a zona interior para uma Zona 30 km/h;
- redução do número de vias em toda a extensão da Rua Urbanização Quinta dos Jagueiros através do alargamento do separador central;
- implementação de duas travessias pedonais elevadas na Rua Urbanização Quinta dos Jagueiros;
- implementação duas interseções elevadas, uma na Rua Quinta da Alagoa junto ao Palácio do Gelo e outra na Av. Madre Rita de Jesus junto do Centro de Saúde;
- criação de uma rotunda no cruzamento da Av. Madre Rita de Jesus com a Rua Pintor António de Almeida.

Será ainda indispensável uma boa fiscalização policial bem como a prática de medidas restritivas e ações de sensibilização.

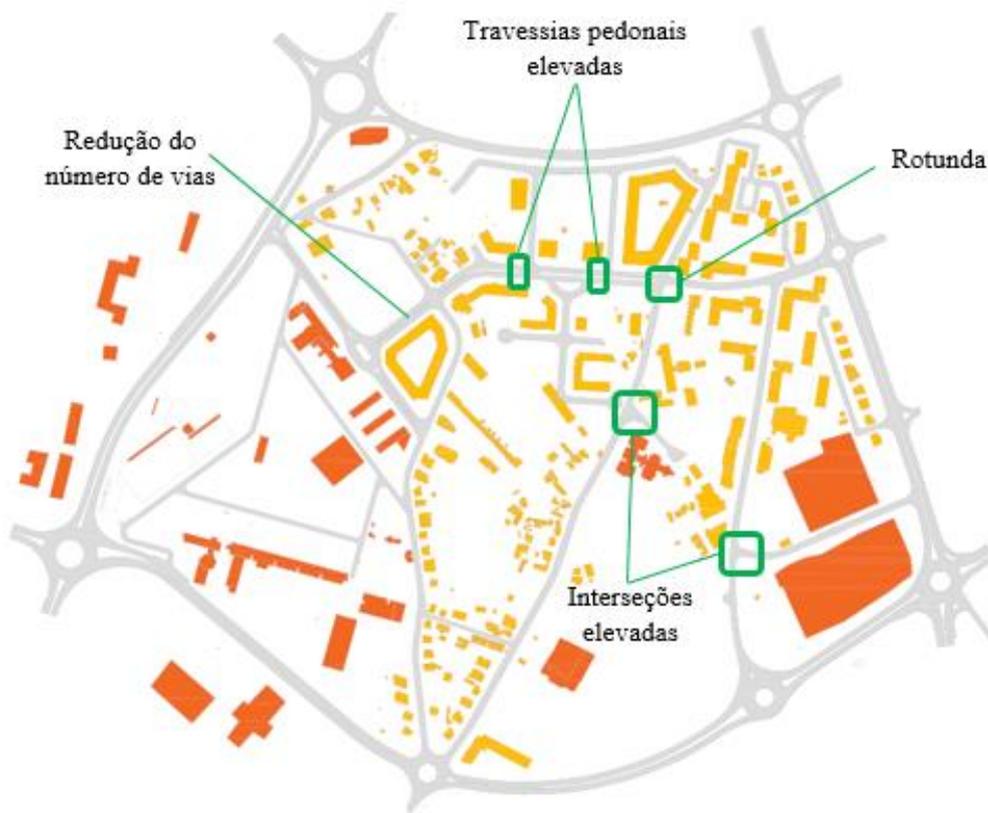


Figura 5.7 – Identificação das alterações propostas

Este conjunto de medidas justifica-se devido aos planos previstos pela Câmara Municipal de Viseu como também devido aos principais objetivos a atingir, pois a rotunda apesar de ser uma medida pouco relevante no que diz respeito a redução de tráfego, irá resolver o problema de sinistralidade observado. Já as intersecções e as travessias pedonais elevadas são medidas que visam explicitamente diminuir o tráfego de atravessamento, na medida em que simultaneamente provocam maior incómodo aos automobilistas e obrigam à redução de velocidade, promovendo assim a utilização de trajetos alternativos.

5.4.1 Zona 30 km/h

O conceito de “Zona 30” caracteriza-se pela redução dos volumes de tráfego motorizado e da melhoria das condições de segurança das deslocações, através da imposição de uma velocidade limite de circulação reduzida (30 km/h) e de medidas ao nível do desenho urbano.

A diminuição da velocidade permite: i) uma diminuição do espaço de circulação ocupado pelo automóvel; ii) uma redução das distâncias de travagem (para 30 km/h: 13m, enquanto que para 50 km/h esta distância duplica: 28 m); iii) um maior ângulo de visão periférica do condutor, o que permite melhorar a perceção do espaço envolvente e dos outros utilizadores do espaço público; iv) uma partilha mais equilibrada do espaço, melhorando as condições de deslocação e utilização do espaço público (Da Silva e Custódio, 2013).

Propõe-se assim a criação de uma Zona 30 km/h aplicada a toda a área de estudo interior. A limitação da velocidade tenderá, só por si, a diminuir os volumes de tráfego bem como o potencial de acidentes e de geração de conflitos, aumentando a segurança real e subjetiva dos utilizadores vulneráveis. A limitação da velocidade deverá ser imposta através de sinalização vertical.

É ainda de salientar que é importante criar condicionantes físicas que forcem a redução de velocidade pretendida, a qual não se consegue obter simplesmente através das limitações impostas pela sinalização.

Marques (2005) sugere assim dez alterações que devem ser feitas no meio urbano de maneira a transformar as estradas em ruas:

- definição de uma zona de transição, a entrada da povoação. Efeito de portão;
- introdução de passeios, para definir os “territórios” dos vários utentes;
- alteração das características do piso. Melhoria da aderência e tirar, se possível, partido do efeito sonoro;
- redução da largura da faixa de rodagem e das vias de tráfego;
- aproveitamento ou criação de traçados sinuosos. Quebra de grandes distâncias de visibilidade;
- disciplina dos percursos dos peões. Evitar travessias disseminadas, mas considerá-las com frequência e com critério na localização;

- disciplina nos acessos secundários. Gestão integrada das circulações e das interseções com a rua principal;
- criação de zonas de estacionamento lateral e restrições de estacionamento ilegal;
- iluminação pública;
- recurso à vegetação e à cor.

5.4.2 Rotunda

A rotunda é uma medida de acalmia de tráfego que é composta por uma ilha central geralmente circular implementada no centro da interseção, forçando os condutores a circular em torno dela, levando a uma redução das velocidades e à diminuição dos conflitos.

Estas medidas de acalmia de tráfego assumem-se como excelente solução em termos de segurança. Segundo o InIR (2011) a substituição de intersecções convencionais por rotundas resultou na redução de colisões em cerca de 76% nos acidentes com feridos e segundo Bastos Silva (2004) a sua implementação pode justificar reduções de velocidades superiores a 50% relativamente à velocidade de aproximação. Estas conclusões são consentâneas com estudos recentes, baseados em microssimulação, que mostram que as rotundas contribuem para diminuir a gravidade média dos conflitos entre veículos (Vasconcelos *et al.*, 2014a; Vasconcelos *et al.*, 2014c). Estas medidas de acalmia podem ainda contribuir para a requalificação paisagística do espaço envolvente através dos arranjos estéticos da ilha central.

Assim, do conhecimento que se tem do local e das observações feitas, esta medida de acalmia de tráfego é proposta com o intuito de diminuir os conflitos existentes e aumentar a segurança no cruzamento da Av. Madre Rita de Jesus com a rua Pintor António de Almeida, sendo que, como anteriormente referido, também já é uma medida prevista pela CMV.

A rotunda proposta neste estudo (Figura 5.8) é constituída por apenas uma faixa de rodagem pois este tipo de solução atinge tendencialmente maiores níveis de segurança do que as soluções com múltiplas vias (InIR, 2011). A ilha central é materializada e tem 7 m de raio, contornada por uma faixa galgável destinada a circulação de veículos pesados, o círculo inscrito tem um diâmetro de 28 m e a faixa de rodagem tem 7,5 m de largura. Esta geometria garante a deflexão dos movimentos de atravessamento dos veículos ligeiros e a respetiva redução de velocidade, ao mesmo tempo que assegura condições de manobrabilidade para os veículos pesados. A solução proposta teve em consideração o aproveitamento do espaço público disponível não sendo assim necessário expropriações para aquisição de terrenos para efeito da sua construção.

Na implementação da rotunda, é ainda de salientar a necessidade de introdução de sinalização própria de rotundas, como indica o Código da Estrada e as normas das Estradas de Portugal. Nas proximidades da rotunda, devem ser colocados os sinais de aproximação de estrada com prioridade e de sentido obrigatório giratório. No que diz respeito à sinalização horizontal, devem ser colocadas, à entrada da rotunda, linhas de cedência de passagem com símbolo triangular.



Figura 5.8 – Rotunda proposta para o cruzamento da Av. Madre Rita de Jesus com a rua Pintor António de Almeida

5.4.3 Interseções elevadas

A interseção elevada caracteriza-se fundamentalmente pela elevação da faixa de rodagem a um nível muito próximo do nível dos passeios, abrangendo todo o interior da interseção e incluindo as travessias de peões existentes nas proximidades.

Os principais objetivos da implementação desta medida são reduzir a velocidade de circulação automóvel e desta forma aumentar o nível de alerta por parte do condutor. Pretendem ainda aumentar o respeito pela presença do peão, contribuindo para a diminuição dos conflitos veículo/peão (Ewing, 1999). Segundo CCDNR (2008a), podem ainda diminuir o tráfego de atravessamento e melhorar a aparência da interseção através da utilização de pavimentos diferenciados.

O acesso a este tipo de solução é efetuado através de rampas localizadas nas proximidades das entradas e deve ser utilizado um material diferente do utilizado nas restantes secções das vias próximas das interseções.

Na zona em estudo optou-se por implementar duas interseções elevadas (ver Figura 5.9):

- Uma na Rua Quinta da Alagoa, junto ao Palácio do Gelo;
- Outra na rua Av. Madre Rita de Jesus, junto ao Centro de Saúde.

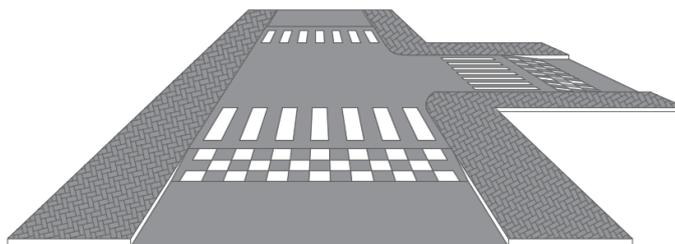


Figura 5.9 – Interseção elevada

5.4.4 Travessias pedonais elevadas

As travessias pedonais elevadas são definidas como lombas alongadas, em que sua superfície superior plana é associada a travessia de peões e são geralmente caracterizadas por um perfil trapezoidal.

A sua implantação pretende evidenciar a eventual presença de peões e por consequência a necessidade de o condutor diminuir a sua velocidade de circulação. Tal como nas lombas, este tipo de solução pode ainda contribuir para a redução dos volumes de tráfego, desviando tráfego indesejado para outros circuitos alternativos. Segundo PennDOT (2001), esta redução pode atingir cerca de 12%.

Para o caso em estudo, as passagens para peões sobrelevadas deverão ter um perfil trapezoidal com um comprimento de 1,8 m, vencendo um desnível de 10 cm de altura, e a plataforma da passagem para peões um comprimento de 3,0 m e uma altura de 10 cm. O material a utilizar deverá ainda ser distinto do material utilizado nas secções correntes sendo recomendado o uso de cubos de pedra.

A implementação das duas passadeiras elevadas localiza-se na Rua Urbanização Quinta dos Jagueiros (ver Figura 5.10), sendo que a distância entre as duas é suficientemente curta para desincentivar a recuperação de velocidades elevadas.

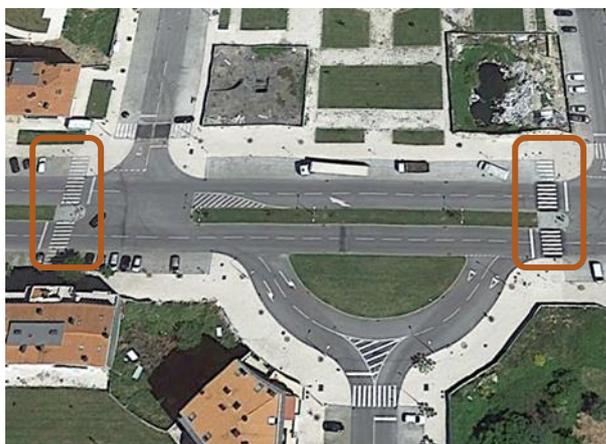


Figura 5.10 – Identificação das duas travessias pedonais elevadas

De acordo com o Código da Estrada e as normas das Estradas de Portugal, para melhor identificar as passagens para peões sobrelevadas, deve colocar-se sinalização vertical a cerca de 50 m da passagem: o sinal de lomba, sinal de passagem de peões e o painel de indicação de distância. Junto à passagem, deve colocar-se o sinal de passagem para peões.

5.4.5 Redução do número de vias

Foi descartada a hipótese de implementar uma ciclovia visto que, de acordo com Cardoso (2010), considerando a resistência ao choque do ser humano, o limite de 30 km/h é compatível com a circulação mista de automóveis e ciclistas na mesma via, sendo recomendada apenas a criação de vias próprias para os ciclistas caso se adote o limite geral de velocidade de 50km/h

em meio urbano (ver a Figura 5.11). Assim, optou-se pela redução de uma via em cada uma das faixas de rodagem na Rua Urbanização Quinta de Jugueiros, criando uma faixa reservada para manobras de estacionamento e alargando o separador central.

O perfil da faixa de rodagem passa assim a incluir uma faixa com cerca de 1,5 m reservada para manobras de saída do estacionamento, ficando a via para a circulação automóvel com uma largura de 4,5 m. Esta medida visa assim desincentivar velocidade elevadas e devolver espaço para requalificação paisagística.

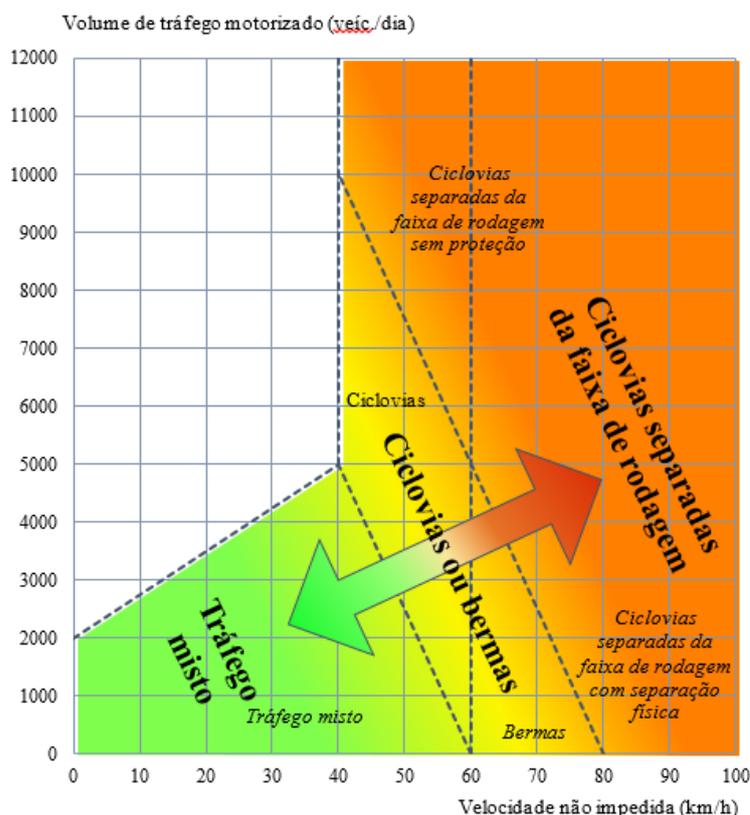


Figura 5.11 – Níveis de segregação dos veículos automóveis e dos ciclistas em função da velocidade e do volume de tráfego (Adaptado de Levasseur, 2014)

5.5 Modelo de microssimulação

5.5.1 Construção do modelo Aimsun

Nesta fase procedeu-se a construção do modelo de microssimulação, através do *software* Aimsun anteriormente descrito no capítulo 3. O Aimsun é uma das aplicações de microssimulação líderes do mercado (sendo as outras o Vissim e o Paramics) e foi disponibilizada pelo Departamento de Engenharia Civil da Universidade de Coimbra para o desenvolvimento deste trabalho.

A representação física da rede viária foi efetuada de uma forma gráfica e interativa, através do “decalcar” de uma planta em formato AutoCAD fornecida pelo orientador, e atualizada com

base em medições e observações em campo. No global, a rede integrada na zona em estudo é constituída por 231 segmentos com uma extensão total de 29 km, por 70 nós (intersecções, inserções e divergências) e nove centróides (Figura 5.12).

Nas intersecções da rede foram ainda inseridos os sinais verticais (Stop ou Cedência de passagem) de modo a retratar a realidade, sendo necessário definir o tipo de sinal para cada movimento em particular, visto que como já foi referido anteriormente, no Aimsun é necessário definir individualmente cada movimento de cada intersecção.

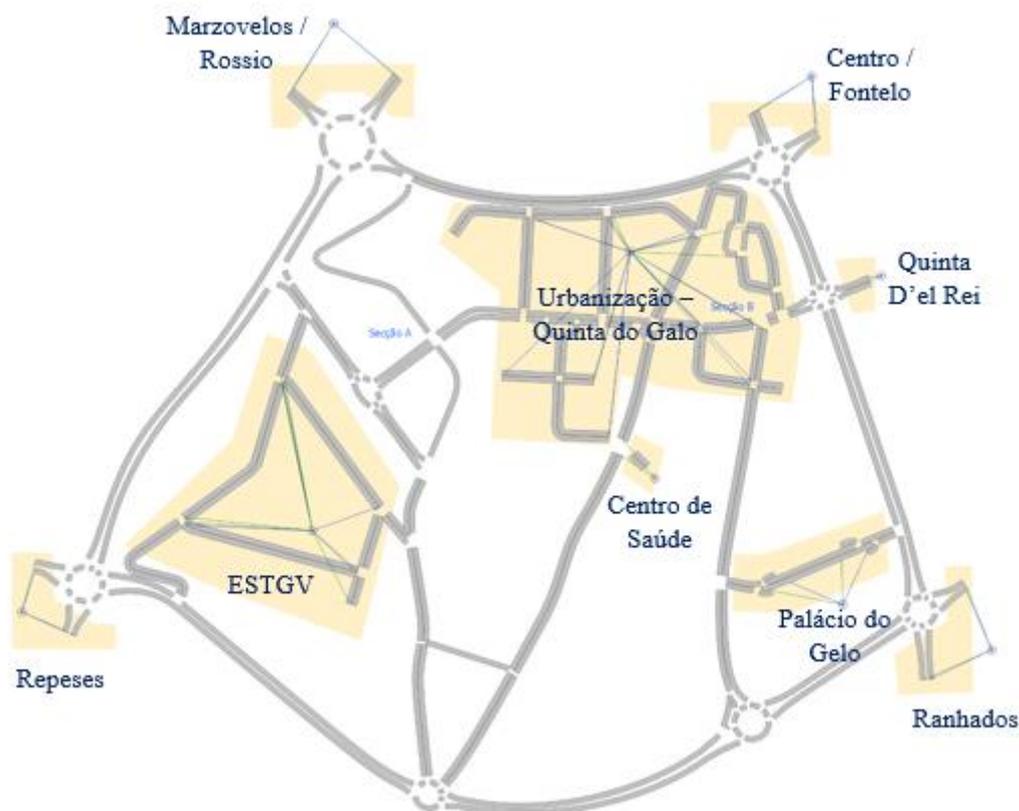


Figura 5.12 – Situação atual modelada no Aimsun com identificação dos centróides

5.5.2 Introdução da procura

Na aplicação Aimsun, os veículos são divididos em diferentes classes conforme as suas características físicas e operacionais, podendo o utilizador definir os vários parâmetros correspondentes.

Na área em estudo foram distinguidos apenas o veículo ligeiro (carro) e os transportes públicos (autocarros), pois apenas estes apresentavam níveis de tráfego significativos. Uma vez que este é um estudo académico em que se valoriza o desempenho relativo dos cenários alternativos, não sendo assim essencial a precisão das simulações em termos absolutos, optou-se por manter os valores dos parâmetros predefinidos pela aplicação para cada tipo de veículo.

Assumindo assim que as correntes de tráfego são constituídas apenas por veículos ligeiros de passageiros, basta uma única matriz O/D (Figura 5.13) para definir a procura de transporte individual recolhida no capítulo 5.3.2.

A matriz O/D representa o número total de condutores que se pretendem deslocar entre uma origem (linha) e um destino (coluna). Para efeitos de modelação, admitiu-se que nove locais de origem ou destino das viagens se concentram em pontos singulares da rede, designados centróides, sendo que a sua ligação à rede viária se faz através de conetores (arcos virtuais com capacidade infinita). Todos os centróides inserem e removem veículos na rede à exceção do centróide localizado no Centro de Saúde que apenas atrai veículos pois na hora de ponta de manhã as deslocções de regresso são praticamente inexistentes. Adotada esta abordagem, não é necessário indicar as proporções de viragem em cada interseção já que o percurso total, entre os centróides de origem e destino, é determinado pelos modelos de escolha de trajetos apresentados no capítulo anterior.

	Centro de Saude II	Centro/Fontelo	ESTGV	Marzovelos/Rossic	Palacio do Gelo	Quinta D'el Rei	Quinta do Galo	Ranhados	Repeses	Total
Centro/Fontelo	20		120	250	50	60	50	300	150	1000
ESTGV		40		20		10	5	20	5	100
Marzovelos/Rossic	20	350	50		50	80	50	750	450	1800
Palacio do Gelo		10		20		10	10	30	20	100
Quinta D'el Rei	20	30	50	50	90		10	50	50	350
Quinta do Galo		20	20	20	10	10		40	30	150
Ranhados	20	375	50	690	200	80	10		375	1800
Repeses	20	155	10	430	100	80	15	590		1400
Total	100	980	300	1480	500	330	150	1780	1080	6700

Figura 5.13 – Matriz O/D correspondente ao transporte individual

Os transportes públicos foram simulados através da implementação das rotas de cada linha, identificadas anteriormente e das respetivas paragens, adotando-se um valor médio predefinido de 20 segundos para o tempo de paragem.

5.5.3 Definição dos cenários

Toda a informação definida anteriormente (a descrição da rede viária, a procura, as linhas de transportes públicos e o plano de controlo de tráfego) é concentrada em cenários, experiências e reproduções.

A aplicação Aimsun permite a definição de mais de um cenário e para cada um a possibilidade de criar mais do que uma experiência. As experiências são compostas pelas reproduções e no caso de existirem várias pode ser calculada uma média das reproduções.

Para a zona em estudo, a metodologia adotada passou pelo desenvolvimento de análises comparativas na hora de ponta da manhã (8h-9h) relativamente a um cenário de referência (situação atual), procurando assim identificar eventuais melhorias/agravamentos devidos a implementação do conjunto de medidas de acalmia de tráfego escolhidas no Capítulo 5.4. Foram portanto definidos dois cenários:

- SITUACÃO ATUAL: cenário que retrata a situação real existente e serve de referência para efeitos comparativos;
- SITUACÃO PROPOSTA: cenário idêntico ao anterior no qual são introduzidas as alterações geométricas referentes à solução proposta.

A solução proposta (Figura 5.14) é assim modelada no segundo cenário, fixando a velocidade de todos os alinhamentos interiores nos 30 km/h e da circunvalação à frente do centro comercial Palácio do Gelo nos 70 km/h (admitindo a eliminação do estacionamento), substituindo o cruzamento prioritário da Av. Madre Rita de Jesus com a rua Pintor António de Almeida por uma rotunda e definindo o número de vias para um em todo o comprimento da Rua Urbanização Quinta dos Jagueiros. No entanto, uma vez que o Aimsun não permite a modelação explícita de interseções e travessias pedonais elevadas, optou-se por emular as respetivas medidas através de segmentos nos quais a velocidade de circulação é definida nos 10 km/h para as interseções e 5 km/h para as travessias de peões de maneira a simular não só a redução de velocidade mas também o incómodo sentido pelos condutores ao transpor estas medidas.

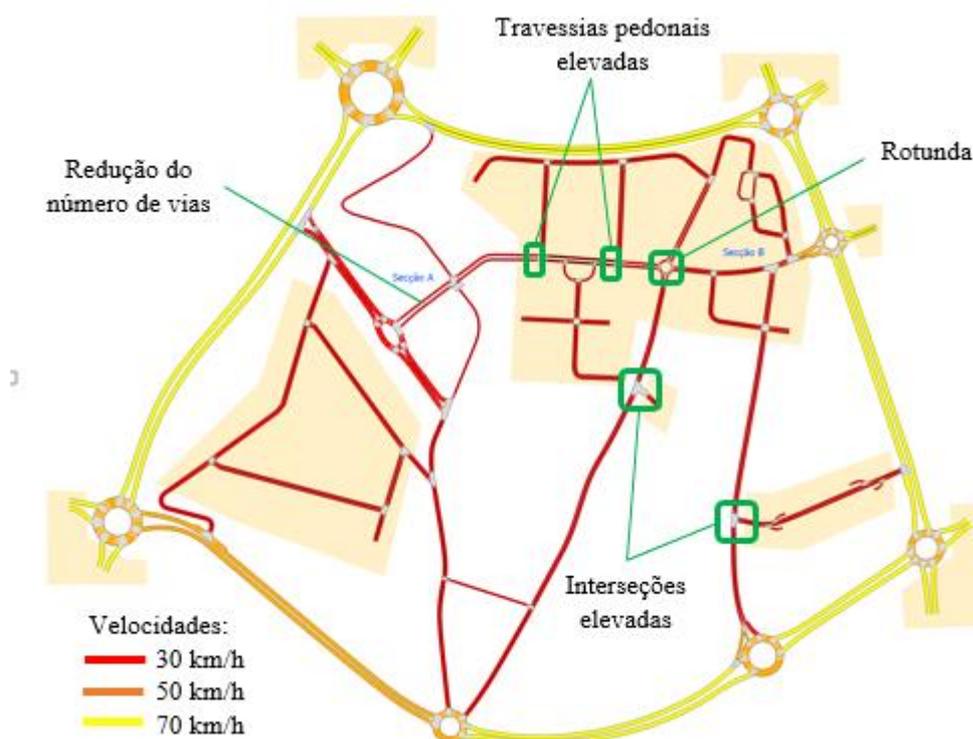


Figura 5.14 – Solução proposta modelada no Aimsun

5.5.4 Calibração e validação do modelo

A validação do modelo consiste num método iterativo que envolve a calibração de inúmeros parâmetros e a comparação do comportamento do mesmo com o sistema real, sendo fundamental para assegurar a credibilidade do modelo construído e dos resultados que se queiram extrair no final (Vasconcelos *et al.*, 2014d).

Na fase de calibração, as variáveis do modelo são ajustadas de modo a melhorar a capacidade de reprodução a nível do comportamento dos condutores e das características da rede. Para avaliar o desempenho é necessário definir as variáveis que vão ser alvo de calibração e comparar os valores das amostras de procura (valores observados) com os resultantes da aplicação do modelo à rede, os valores simulados. Como referido na secção 5.5.2, mantiveram-se os parâmetros comportamentais dos condutores predefinidos na aplicação, pelo que a calibração incidiu sobre o submodelo de escolha de trajetos. Tendo por base os resultados do Capítulo 4, foi adotado o modelo Logit com o parâmetro de escala $\theta = 100$, associado a um processo de atualização dinâmica dos tempos de trajeto ao longo do período de modelação, em intervalos de cinco minutos. Em cada um destes intervalos o modelo identifica até três percursos alternativos e atribui a cada um a respetiva proporção de viagens determinada pelo modelo Logit.

A validação de modelos de microssimulação de tráfego, além de ser baseada em valores de volume é também baseada na comparação visual do comportamento do tráfego observado em campo com o comportamento no modelo. Assim, a visualização da animação no simulador foi também importante para validar o modelo do cenário atual elaborado.

5.6 Apresentação e análise dos resultados

Esta fase concentra-se em avaliar os eventuais benefícios/agravamentos, na zona em estudo e na sua envolvente, associados a implementação das medidas de acalmia de tráfego.

Como já foi apresentado no capítulo 3, a aplicação Aimsun disponibiliza um conjunto alargado de indicadores de desempenho capazes de caracterizar quer o funcionamento global da rede em estudo (entre outros, tempos de percurso, velocidade média, comprimentos de filas, demoras, numero de paragens, etc.) quer um elemento rodoviário específico (um eixo, uma secção de estrada, uma entrada em cruzamento, etc.) (Silva *et al.*, 2013).

Neste estudo optou-se por considerar os indicadores globais *tempo total de trajeto*, *distância total percorrida*, *velocidade média harmónica* e *consumo total de combustível* por se considerar robustos e refletirem o desempenho da rede ao nível dos condutores. Foram também considerados outros indicadores globais como *volumes totais de tráfego* e *emissões de gases* por representarem desta vez o desempenho da rede a nível da sociedade.

5.6.1 Tempos de trajeto e volumes de tráfego

No quadro seguinte é possível observar que no global o tempo total de trajeto aumenta 2%, a distância total de trajeto acumula 1% e o consumo total de combustível gasto pelos condutores aumenta 3%, o que significa que as alterações propostas não provocam mudanças significativas para os condutores. A velocidade média harmónica diminuiu 1% o que seria de esperar visto que foi alterada a velocidade nos alinhamentos interiores de 50 km/h para 30 km/h.

Indicador	Situação Atual	Situação Proposta	Variação	Unid.
Tempo total de trajeto	193,25	196,47	2%	h
Distância total percorrida	8006,35	8065,86	1%	km
Velocidade média harmónica	40,36	39,79	-1%	km/h
Consumo total de combustível	1243,59	1277,99	3%	l

Tabela 5.2 – Indicadores globais de desempenho

Complementarmente foram obtidas através das matrizes de tempos médios de deslocação global e individual por veículo para cada um dos pares O/D apresentadas no Apêndice B, as matrizes “variação” (Tabelas 5.3 e 5.4) – Atual menos Proposta, de modo a identificar os utilizadores que mais beneficiam e perdem com as alterações propostas.

Tal como seria expectável verifica-se um aumento dos tempos totais de trajeto entre o Centro/Fontelo e a ESTGV, o que se deve a conjugação da redução da velocidade para 30 km/h em particularmente todo o trajeto e a introdução das duas travessias pedonais elevadas que reduzem significativamente as velocidades num troço desse trajeto. Já a diminuição verificada nos tempos totais de trajeto entre Ranhados e Repeses é justificada pelo aumento da velocidade na Circunvalação à frente do Palácio do Gelo (ver Tabela 5.3).

Origem	Destino	Variação (Atual - Proposta)								Total Geral	
		Ranhados	Palácio do Gelo	Quinta do Galo	Marzovelos/Rossio	Quinta D'el Rei	Centro de Saúde	Repeses	ESTGV		Centro/Fontelo
Ranhados			0,3	0,1	0,5	0,0	0,1	-0,2	0,1	0,1	0,9
Palácio do Gelo		0,0		0,1	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,3
Quinta do Galo		0,1	0,0		0,1	0,0	0,0	0,2	0,1	0,1	0,6
Marzovelos/Rossio		0,2	0,0	0,1		0,0	0,0	0,4	0,1	0,0	0,9
Quinta D'el Rei		-0,1	-0,2	0,0	0,0		0,1	-0,1	0,2	0,0	-0,1
Repeses		-0,5	0,2	0,1	0,1	0,1			0,0	0,0	0,1
ESTGV		0,0	0,0	0,1	0,0	0,1	0,0	0,0		0,2	0,4
Centro/Fontelo		-0,1	0,1	0,2	0,0	0,0	0,1	0,0	0,9		1,1
Variação Total		-0,3	0,4	0,7	0,9	0,2	0,3	0,3	1,4	0,3	4,1

Tabela 5.3 – Tempos totais de trajeto (h)

A análise da matriz “variação” de tempos médios de deslocação individual (ver Tabela 5.4) identifica o destino Quinta do Galo e Centro de Saúde como os mais prejudicados, o que é perfeitamente normal pois para chegar a este destino não há alternativa senão passar pelos elementos redutores de velocidade. Os decréscimos observados podem ser justificados através do recurso a trajetos alternativos mais rápidos.

Variação (Atual - Proposta)	Destino										Total Geral
		Ranhados	Palácio do Gelo	Quinta do Galo	Marzovelos/Rossio	Quinta D'el Rei	Centro de Saúde	Repeses	ESTGV	Centro/Fontelo	
Origem											
Ranhados			4,7	21,9	3,3	0,5	17,2	-3,7	6,1	2,4	8,3
Palácio do Gelo		-4,6		39,5	7,0	12,9	0,0	4,7	0,0	10,0	6,7
Quinta do Galo		8,2	12,9		12,4	11,1	0,0	-4,7	25,4	18,0	10,4
Marzovelos/Rossio		0,7	-0,3	16,8		-0,7	11,5	0,5	12,1	0,0	9,9
Quinta D'el Rei		-5,7	-5,7	21,2	0,2		11,4	-5,7	-2,3	-3,7	-3,8
Repeses		-4,2	5,5	41,4	2,0	2,4	20,6		0,6	0,8	11,6
ESTGV		-1,4	0,0	47,6	15,8	41,3	0,0	-2,2		16,3	15,5
Centro/Fontelo		-1,3	4,2	13,7	-0,4	-0,9	14,5	-2,3	32,6		14,4
Variação Total		2,9	5,1	24,3	4,8	12,1	10,4	-3,7	15,0	1,4	10,5

Tabela 5.4 – Tempos individuais médios de trajeto (s × veíc.)

É assim possível concluir que a implementação das soluções de acalmia de tráfego traduz-se num aumento dos tempos de trajetos nos alinhamentos interiores, o que os torna menos atrativos e resulta numa diminuição do tráfego de atravessamento.

Essa diminuição é observável nas matrizes de volumes de tráfego (Tabelas 5.5 e 5.6) que atravessam a Quinta do Galo, especificamente a Rua Pintor António de Almeida. De facto, é possível verificar que na situação atual (ver Tabela 5.5) existe uma elevada percentagem de tráfego com origem em Centro/Fontelo passam pela Quinta do Galo para se dirigir para a ESTGV, o que já não se verifica após implementação da solução (ver Tabela 5.6).

A análise destas matrizes permitiu ainda identificar alguns volumes de tráfego na matriz da situação proposta que são perfeitamente aceitáveis e justificados pelo facto de existirem sempre utilizadores como residentes que são obrigados a atravessar a Quinta do Galo para poderem chegar aos seus destinos.

Atual											
Origem	Destino	Repeses	ESTGV	Centro/Fontelo	Ranhados	Palácio do Gelo	Quinta do Galo	Marzovelos/Rossio	Quinta D'el Rei	Centro de Saúde	Total
Repeses		0%	0%	0%	0%	0%	1%	0%	11%	0%	12%
ESTGV		0%	0%	8%	2%	0%	0%	0%	3%	0%	13%
Centro/Fontelo		0%	23%	0%	0%	0%	1%	0%	0%	5%	30%
Ranhados		0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	5%	5%
Palácio do Gelo		0%	0%	0%	0%	0%	0%	1%	0%	0%	1%
Quinta do Galo		0%	0%	4%	6%	0%	0%	1%	2%	0%	14%
Marzovelos/Rossio		0%	0%	0%	0%	0%	4%	0%	0%	4%	8%
Quinta D'el Rei		0%	11%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	5%	17%
Total		0%	35%	12%	9%	0%	7%	3%	15%	19%	100%

Tabela 5.5 – Matriz de volumes de tráfego (situação atual)

Proposta											
Origem	Destino	Repeses	ESTGV	Centro/Fontelo	Ranhados	Palácio do Gelo	Quinta do Galo	Marzovelos/Rossio	Quinta D'el Rei	Centro de Saúde	Total
Repeses		0%	0%	0%	0%	0%	1%	0%	0%	0%	1%
ESTGV		0%	0%	0%	0%	0%	1%	0%	3%	0%	4%
Centro/Fontelo		0%	0%	0%	0%	0%	1%	0%	0%	10%	11%
Ranhados		0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	10%	10%
Palácio do Gelo		0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%
Quinta do Galo		8%	1%	7%	15%	1%	0%	6%	4%	0%	41%
Marzovelos/Rossio		0%	0%	0%	0%	0%	8%	0%	0%	10%	18%
Quinta D'el Rei		0%	5%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	10%	15%
Total		8%	5%	7%	15%	1%	10%	6%	7%	41%	100%

Tabela 5.6 – Matriz de volumes de tráfego (situação proposta)

Por sua vez, verificou-se também que a implementação destas medidas de acalmia de tráfego não provoca alterações significativas nos volumes de tráfego global correspondente a toda a área de influência da zona intervencionada (ver Figura 5.15 e 5.16). Esta conclusão é particularmente interessante já que, apesar dos resultados não poderem ser generalizados a outras situações, é expectável que a implementação deste tipo de soluções não se traduza numa penalização acentuada para a comunidade em geral, já que o agravamento observável da circulação nos eixos estruturantes envolventes é contrabalançado pelos benefícios resultantes dos locais intervencionados. Isto mostra que é possível delimitar zonas sujeitas à medidas de acalmia sem provocar perturbações consideráveis na mobilidade e acessibilidade local.

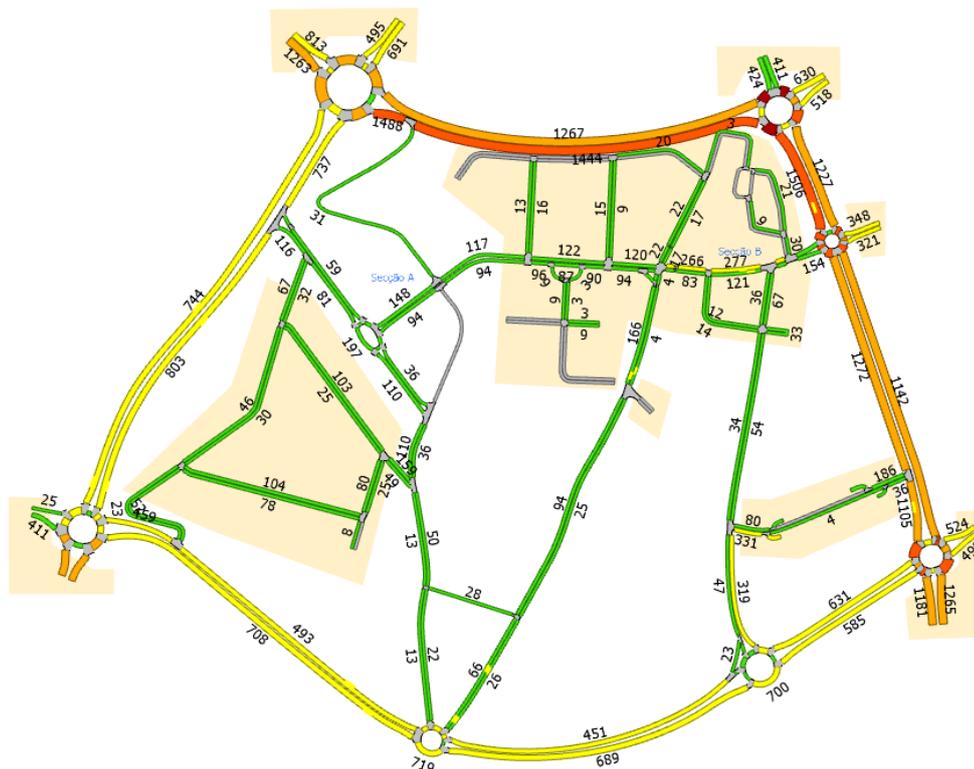


Figura 5.15 – Volumes de tráfego simulados (situação atual)

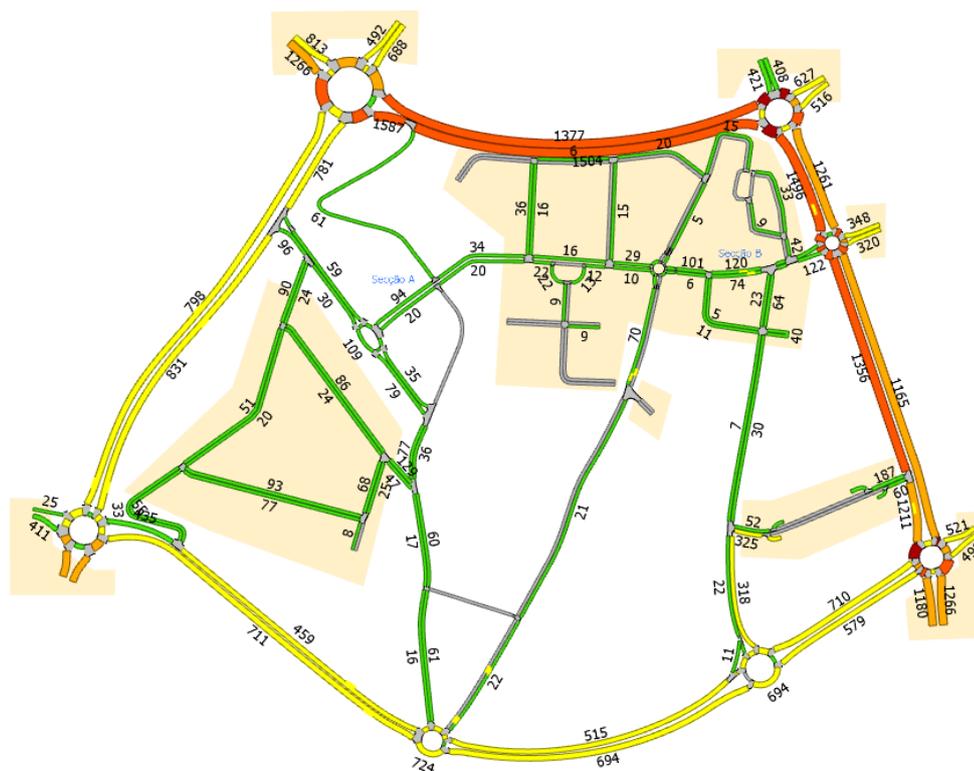


Figura 5.16 – Volumes de tráfego simulados (situação proposta)

5.6.2 Emissões ambientais

Embora o transporte melhore a qualidade de vida, na medida que oferece mobilidade e acessibilidade, ele também pode provocar deterioração ambiental comprometendo até a qualidade de vida dos cidadãos (Rothemberg and Heggie, 1974; Hothersal and Salter, 1977; Esteves, 2003).

Os principais componentes da poluição atmosférica produzida pelo tráfego de veículos encontram-se na queima de combustíveis fósseis: o monóxido de carbono (CO), os óxidos de azoto (NOx), as partículas finas (PM) e os compostos orgânicos voláteis (VOC), considerados pelo modelo de emissão instantânea (IEM) do Aimsun.

O CO é tóxico à saúde humana na medida em que, associado à hemoglobina, reduz sua capacidade de transportar o oxigênio. Além disso, pode ainda ser convertido na atmosfera em dióxido de carbono (CO₂), mais importante dos gases de efeito estufa que contribuem para as alterações climáticas (RCEP, 1994).

Os NOx estão envolvidos na formação dos ácidos nitrosos e contribuem para a acidificação do ambiente (chuva ácida) e formação de fumos. Quando ocorre em níveis elevados de concentração pode ter efeitos adversos (irritações respiratórias, inflamações e bronquites) para a saúde, especialmente para pessoas com doenças respiratórias.

No que se refere as PM, encontradas de forma mais substantiva no fumo negro emitido principalmente pelos veículos *diesel*, são conhecidos seus efeitos tanto no que diz respeito às doenças respiratórias, cardiovasculares e asma como na degradação estética dos equipamentos urbanos.

Por último, os VOC entram na atmosfera devido a possuírem alta pressão de vapor ao ponto de vaporizarem, apesar de afetarem a qualidade do ar são potencialmente nocivos para a saúde pública (<http://carfueldata.direct.gov.uk>).

As emissões atmosféricas globais produzidas pelos veículos são assim resumidas na Tabela 5.7 onde se pode verificar que após implementação da solução de acalmia de tráfego os valores aumentam cerca de 2-3%, valor considerado pouco significativo.

Indicador	Situação Atual	Situação Proposta	Variação	Unid.
CO ₂	2474115	2512858	2%	g
NOx	7619	7760	2%	g
PM	1533	1575	3%	g
VOC	3740	3811	2%	g

Tabela 5.7 – Emissões de gases consideradas pelo IME do Aimsun

Por outro lado, foi possível verificar através dos dados apresentados na Tabela 5.8 que a maioria das emissões tem origem nas vias estruturantes. Na zona intervencionada estas emissões têm um valor reduzido e, como desejado, diminuem após implementação da solução.

Indicador	Tipo de Via	Situação Atual	Situação Proposta
CO ₂	Estruturante	92,40%	95,65%
	Local	7,60%	4,35%
NO _x	Estruturante	93,28%	97,47%
	Local	6,72%	2,53%
PM	Estruturante	92,90%	95,88%
	Local	7,10%	4,12%
VOC	Estruturante	90,39%	91,21%
	Local	9,61%	8,79%

Tabela 5.8 – Emissões de gases por tipo e local

5.6.3 Indicadores de segurança

A segurança das interseções também foi avaliada com recurso à metodologia SSAM (*Surrogate Safety Assessment Model*). Este método assume que existe uma relação entre o número de conflitos virtuais, previstos pela simulação microscópica do tráfego, e o número de acidentes reais que ocorrem a longo prazo (Vasconcelos *et al.*, 2014b).

No Aimsun, em cada intervalo de tempo, e para cada par de veículos cujas trajetórias se sobrepõem ou intersejam (encontro de veículos), o SSAM determina se esse encontro satisfaz os critérios necessários para ser considerado um conflito em função do valor de duas medidas substitutas de segurança (*time to collision*² e *post-encroachment time*³).

Para além de um conjunto de indicadores (series temporais de posição, velocidades e acelerações) calculados pelo SSAM, para cada encontro de veículos pode ser ainda definido o tipo de conflito:

- frente traseira: se ambos os veículos ocuparem a mesma via no início e no fim do conflito;
- mudança de via: se um dos veículos muda de via durante o conflito (mantendo-se no mesmo arco);
- atravessamento: nos restantes casos.

Esta classificação pode ainda basear-se no ângulo de conflito α , definido pelas trajetórias dos veículos no ponto de uma eventual colisão (ver Figura 5.17):

- frente traseira: $\alpha < 30^\circ$;
- mudança de via: $30^\circ \leq \alpha \leq 85^\circ$;
- atravessamento: $\alpha > 85^\circ$;

² Tempo necessário para que os dois veículos colidam caso mantenham a direção e a velocidade

³ Mínima separação temporal entre dois veículos que passam por um espaço comum

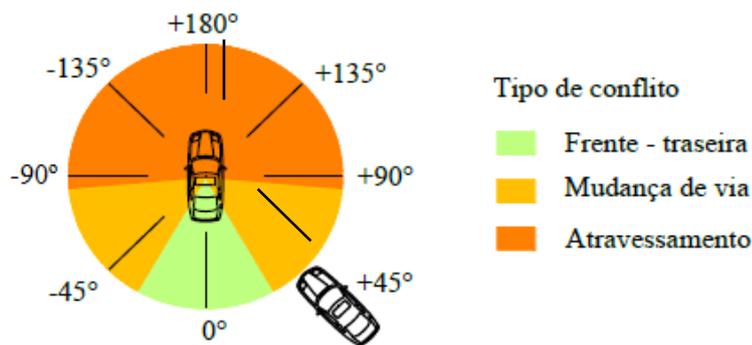


Figura 5.17 – Classificação dos conflitos em função do ângulo (Vasconcelos, 2014)

A aplicação tem algumas ferramentas que permitem sumarizar os resultados e controlar a representação visual dos conflitos. Assim, apresentam-se na Tabela 5.9, o resumo dos conflitos simulados classificados para cada tipo, onde se pode verificar que existe um ligeiro acréscimo dos conflitos do tipo frente-traseira devido ao aumento da extensão das filas a montante das rotundas nas vias estruturantes. Por outro lado, diminuem os conflitos mais graves, associados aos atravessamentos e às inserções nos cruzamentos.

Tipo de conflito	Situação Atual	Situação Proposta	Variação
Frente - traseira	2666	2984	12%
Mudança de via	299	277	-7%
Atravessamento	10	9	-10%
Total	2975	3270	10%

Quadro 5.9 – Conflitos simulados classificados por cada tipo

5.7 Síntese

O processo de implementação de estratégias de acalmia de tráfego tem por base várias fases fundamentais (diagnóstico da situação existente, escolha e seleção da solução, modelação da solução e avaliação dos efeitos).

A fase de diagnóstico revelou-se uma fase importante na qual foram avaliados os principais problemas, servindo de alavanca para a definição dos objetivos e para ao desenvolvimento das possíveis soluções adequadas as necessidades, condicionantes e exigências do local.

Desta fase resultou assim uma possível solução (implementação de uma zona 30 km/h em conjunto com uma rotunda, duas passadeiras elevadas e dois cruzamentos elevados) de forma a resolver ou minimizar os problemas anteriormente identificados e a responder aos objetivos delineados.

A penúltima etapa do processo incidiu sobre a modelação da solução implementada, através da qual se procurou avaliar o efeito real das medidas. Esta fase contou com a construção do modelo, introdução da procura, definição dos cenários, calibração e validação do modelo.

Após a validação do modelo e tendo em conta alguns desfasamentos com a realidade, os resultados obtidos permitiram evidenciar um agravamento global pouco significativo em termos de tempos e distâncias de trajeto e consumos de combustíveis, relativamente à situação atual. No entanto, a análise dos resultados permitiu concluir que na zona em estudo interior os volumes de tráfego e as velocidades tenderão a diminuir, com benefícios óbvios para a qualidade de vida dos residentes e visitantes do bairro. Foi ainda possível observar que, com implementação deste conjunto de medidas de acalmia de tráfego, existe uma diminuição dos conflitos mais gravosos, reduzindo assim a sinistralidade rodoviária.

6 Conclusões e desenvolvimentos futuros

6.1 Síntese e conclusões gerais

A mobilidade dos cidadãos tem vindo a melhorar bastante com o recurso ao uso dos veículos motorizados. Estes trouxeram alterações no modo de vida da população, dificultando atualmente a conceção de sociedade sem integrar o automóvel. No entanto, são bem visíveis os efeitos muitas vezes negativos que resultaram da crescente utilização dos automóveis, particularmente perceptíveis em meios urbanos.

Apesar disso, até há bem pouco tempo, a filosofia de conceção das redes viárias assentava na necessidade de ter condições contínuas de circulação, valorizando essencialmente as características dos veículos motorizados em detrimento das necessidades dos restantes utilizadores da rede viária. Contudo, com todos os inconvenientes associados ao tráfego motorizado, nomeadamente em zona urbana, esta filosofia tem vindo a ser alterada.

Deste modo apareceram as estratégias de acalmia de tráfego, como uma ferramenta vantajosa para minimizar os efeitos negativos da utilização excessiva e nefasta dos veículos motorizados, impondo reduções de velocidades, desencorajando o uso do transporte individual e procurando assim cada vez mais práticas de mobilidade sustentável.

Neste sentido, ficou ainda patente que a implementação de medidas de acalmia de tráfego não deve ser executada de forma isolada resultando em soluções muito pouco eficazes, mas contrariamente devem ser projetadas numa análise global e integrada contribuindo para uma melhoria ambiental e para requalificação urbanística/paisagística do local e da sua envolvente.

O desenvolvimento do caso de estudo na cidade de Viseu, com o objetivo principal de requalificar a rede viária de uma zona residencial, veio nesta ótica confirmar toda esta filosofia. Este assentou num trabalho abrangente e importante de diagnóstico, definição dos objetivos, definição da solução proposta, modelação e análise de resultados.

Nos pontos seguintes sumariza-se o trabalho desenvolvido e apresentam-se as principais conclusões, as quais sintetizam as conclusões mais específicas apresentadas em cada capítulo.

No Capítulo 2, efetuou-se uma pesquisa bibliográfica e elencaram-se alguns conceitos e diferentes tipos de medidas de acalmia de tráfego, incluindo também os principais objetivos, vantagens/desvantagens e efeitos na velocidade dos veículos, nos volumes de tráfego e na sinistralidade.

Em resumo, a acalmia de tráfego é a aplicação de um conjunto de estratégias e a implementação de um conjunto de medidas que modificando a geometria da rede viária induz aos condutores a alteração do seu comportamento, contribuindo para o aumento da segurança dos utilizadores mais vulneráveis e para uma requalificação ambiental/paisagística dos espaços intervencionados.

No Capítulo 3, foram definidos os princípios gerais do simulador Aimsun cujo objetivo é a simulação de redes de tráfego urbanas e interurbanas, através da construção do respetivo modelo e a sua posterior aplicação enquanto ferramenta de avaliação. O desenvolvimento do modelo de microssimulação envolve um processo iterativo: construção, verificação, calibração e validação. O comportamento de cada veículo é continuamente modelado ao longo da simulação de acordo com vários modelos comportamentais (seguimento, aceitação de intervalos, mudança de via e escolha de trajeto). Todos estes modelos foram alvo de uma análise mais detalhada acerca da sua incorporação no *software*.

No Capítulo 4, analisou-se os modelos de escolha de trajeto (Logit e C-Logit) usados no Aimsun e pretendeu-se compreender melhor o processo de decisão dos condutores com base nos resultados obtidos dos inquéritos realizados na ESTGV.

Com a análise dos modelos, observou-se que o modelo Logit ao calcular a probabilidade de um condutor escolher um trajeto relativamente aos outros alternativos obtém resultados inadequados no caso de existir alguma sobreposição nos trajetos disponíveis, e por consequência o seu desempenho terá tendência a piorar em redes complexas. O modelo C-Logit, que calcula a mesma probabilidade, restabelece o realismo do processo de escolha de trajeto gerando repartições mais equilibradas.

A análise dos resultados dos inquéritos revelou que os condutores tendem a sobrevalorizar os tempos de trajeto, em termos absolutos, mas são consistentes na escolha de trajeto, optando tendencialmente pelo percurso mais rápido. A dispersão das escolhas é significativa, o que revela que os condutores, para além do tempo de trajeto, consideram outras variáveis quando escolhem os seus percursos.

Os resultados obtidos permitiram ainda calibrar o parâmetro de escala θ do modelo Logit, concluindo que para os trajetos apresentados este valor variava entre os 70 e 150, gama de valores que serviu de base para calibração do modelo no capítulo 5.

No Capítulo 5 estudou-se o caso concreto de requalificação da rede viária do bairro da Quinta do Galo, em Viseu, no qual foi efetuada uma análise comparativa a nível de tempos de trajeto, volumes de tráfego, emissões ambientais e níveis de segurança. A análise foi efetuada com recurso ao modelo de microssimulação Aimsun. Após identificação dos problemas da zona em estudo e apresentação

de uma possível solução (implementação de uma zona 30 km/h em conjunto com uma rotunda, duas passarelas elevadas e dois cruzamentos elevados), os principais resultados obtidos foram:

- Tempos de trajeto/Volumes de tráfego: verificou-se um agravamento global dos tempos de trajetos nos arruamentos interiores, o que seria de esperar visto que a zona em estudo passou de 50 km/h para 30 km/h. No entanto, este aumento acaba por tornar a zona interior menos atrativa para as deslocações motorizadas e por consequência resulta numa diminuição do tráfego de atravessamento.
- Emissões ambientais: a solução proposta contribui para um aumento considerado pouco significativo das emissões relativamente à situação atual. Estas concentram-se maioritariamente nas vias estruturantes, tendo um valor reduzido na zona em estudo e que diminui após a implementação da solução, contribuindo assim para uma melhoria da qualidade de vida dos residentes e visitantes do bairro.
- Segurança: a aplicação da metodologia SSAM revela que existe um aumento dos conflitos frente-traseira após a implementação da proposta, o que pode ser justificado devido ao aumento das filas a montante das rotundas nas vias estruturantes. Contudo os conflitos mais graves, associados aos atravessamentos e às interseções, diminuem.

Em sínteses, considera-se que o presente estudo permitiu compreender melhor os efeitos da implementação de medidas de acalmia de tráfego em meios urbano, clarificou o papel dos modelos de escolha discreta utilizados pelas aplicações de microssimulação, e contribuiu para a definição de uma metodologia simples e prática para a calibração deste tipo de modelos.

6.2 Desenvolvimentos futuros

Visto que as metodologias estudadas englobam uma diversidade de parâmetros, tanto nos modelos de escolha de trajeto, como nos modelos de microssimulação, esta linha de investigação oferece a possibilidade de diversos desenvolvimentos, justificando o desenvolvimento de investigação complementar.

Especificamente, os resultados dos inquéritos revelaram que uma proporção significativa dos condutores não escolhe os trajetos mais rápidos. Tal deve-se a vários fatores: por um lado, os condutores têm dificuldade de estimar os tempos reais de percurso; por outro lado, há diversas variáveis que os condutores, consciente ou inconscientemente ponderam. Isto significa que a utilização de uma função de custo, baseada unicamente no tempo de percurso, tem uma capacidade explicativa limitada. Seria assim importante avaliar o efeito de outras variáveis (extensão de percurso, número de interseções ao longo do trajeto, tipo de pavimento, etc.) e desenvolver metodologias de calibração dos respetivos parâmetros. Para tal seria necessário alargar a base amostral de inquéritos, diversificar o tipo de percursos e aplicar metodologias de calibração mais robustas, nomeadamente baseadas no princípio da máxima verossimilhança.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Aimsun. (2012). *Aimsun Version 7 User's manual*. TSS - Transport Simulation Systems, Barcelona, Spain.
- Aimsun. (2015). *Aimsun 8 Dynamic Simulators User's manual*. TSS - Transport Simulation Systems, Barcelona, Spain.
- Almeida, A. R. S. (2004). *Análise das condições de aplicabilidade de medidas de acalmia de tráfego*. Dissertação de Mestrado. Faculdade de Engenharia Universidade do Porto.
- Alduán, A. S. (1996). *Calmar el Tráfico, Monografías*. Ministério de Obras Públicas, Transportes y Medio Ambiente. Madrid.
- ANSR (2013). *Código da Estrada – Lei n.º 72/2013, de 3 de setembro*. Autoridade Nacional de Segurança Rodoviária.
- Barceló, J. (2010). *Fundamentals of traffic simulation*. Vol. 145. International Series in Operations Research and Management Science, Springer.
- Bastos Silva, A. M. C. e Seco, A. J. M. (2001). *A Aplicação de Rotundas como uma Medida de Acalmia de Tráfego*. 1º Congresso Nacional Sobre Segurança Viária em Meio Urbano, 14 a 15 de Maio, LNEC, Lisboa, Portugal.
- Bastos Silva, A.M.C. (2004) *Definição de uma Metodologia de Concepção de Cruzamentos Giratórios*. Tese de doutoramento. Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade de Coimbra.
- Bastos Silva, A. M. C., Seco, A. J. M., Marques, J. S., Marques, P. e Santos G. G. D. (2004). *Potencialidades das técnicas de acalmia de tráfego na regulação do atravessamento de localidades*. 3º Congresso Rodoviário Português, CRP, 24 a 26 de Novembro LNEC Lisboa, Portugal.
- Bastos Silva, A. M. C. e Seco, A. J. M. (2006). *O Uso de Lombas e Plataformas como Medidas de Acalmia de Tráfego*. 4º Congresso Rodoviário Português, 2-4 Abril, Lisboa.
- Bastos Silva, A. M. C., Vasconcelos, A.L.P., Correia, G.H.A.R., e Santos, S.M.F (2013). *Microsimulação aplicada aos estudos de acessibilidade*. In 7º Congresso Rodoviário Português. CRP-Centro Rodoviário Português.
- Bert, E., Lavoc, E., Torday, R., Torday, A. e Dumont, A. G. (2005). *Calibration of urban network microsimulation models*. In 5th Swiss Transport Research Conference, Monte Verita.
- Bunte Jr, L. W. (2000) *Traffic Calming Programs & Emergency Response: A Competition of Two Public Goods*. Master Thesis, Faculty of the Graduate School, University of Texas, Austin.
- BHTRANS (2008). *Manual de medidas moderadoras de tráfego*. Empresa de Transportes e Trânsito de Belo Horizonte.

Cardoso, J.L. (2010). *Metodologia para o estabelecimento de limites de velocidade seguros e credíveis*, 6º Congresso Rodoviário Português - Estrada 2010, Lisboa.

Cascetta, E., Nuzzolo, A., Russo, F. e Vitetta, A. (1996). *A Modified Logit Route Choice Model Overcoming Path Overlapping Problems. Specification and Some Calibration Results for Interurban Networks*. In Proceedings of the 13th International Symposium on Transportation and Traffic Theory (pp. 697-711). Lyon, France: Pergamon.

CCDNR. (2008a). *Manual do Planeamento de Acessibilidades e Transportes – Acalmia de Tráfego*. Comissão de Coordenação e Desenvolvimento Regional do Norte.

CCDNR. (2008b). *Manual do Planeamento de Acessibilidades e Transportes – Princípios Básicos de Organização de Redes Viárias*. Comissão de Coordenação e Desenvolvimento Regional do Norte.

CE. (2007). *Green Paper Towards a new culture for urban mobility*. Bruxelas, Commission of the European Communities.

Esteves, R. (2003). *Cenários Urbanos e Traffic Calming*. Tese de doutoramento em Engenharia de Produção. Universidade Federal do Rio de Janeiro, UFRJ, Brasil.

Ewing, R., (1999). *Traffic Calming State of the Practice Slide Seminar*. Institute of Transportation Engineers. Federal Highway Administration September.

Ewing, R. and Brown, S. J. (2010). *U.S. Traffic Calming Manual*. Washington. DC, American Planning Association.

Da Silva, F. N., e Custódio, R. L (2013). *Zonas 30–Segurança Rodoviária, vida e vitalidade para os bairros da cidade de Lisboa*.

Da Silva, C. C. M. (2014). *Acalmia de tráfego – Caso de estudo na cidade do Porto*. Dissertação de Mestrado. Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto.

De Wit, T. & Talens, H. (2001). *Traffic Calming in the Netherlands*. CROW, the Dutch National Information and Technology Centre for Transport and Infrastructure.

DfT. (1993). *Geometric Design of Roundabouts* Department for Transport , U.K. London.

Dowling, R., Skabardonis, A., Alexiadis, V. (2004). *Traffic analysis toolbox*. Volume III: Guidelines for applying traffic microsimulation modeling software, U. S. Department of Transportation, Federal Highway Administration.

Gipps, P. G. (1986a). *A model for the structure of lane-changing decisions*. Transportation Research Part B: Methodological, Vol. 20 (5), pp. 403-414. [http://dx.doi.org/10.1016/0191-2615\(86\)90012-3](http://dx.doi.org/10.1016/0191-2615(86)90012-3).

Gipps, P. G. (1981b). *A behavioural car-following model for computer simulation*. Transportation Research Part B: Methodological 15(2), p. 105-111. [http://dx.doi.org/10.1016/0191-2615\(81\)90037-0](http://dx.doi.org/10.1016/0191-2615(81)90037-0).

- Hanson, S. (1995). *Getting There. Urban Transportation in Context*" in Hanson, S., (Ed.) *The Geography of Urban Transportation*. Nova Iorque, Guilford Press: 3-25.
- Hass-Klau, C. (1990) *An Illustrated Guide to Traffic Calming: the Future Way of Managing Traffic*. Friends of the Earth. London.
- Hass-Klau, C. et al. (1992). *Civilised Streets- A Guide to Traffic Calming*. Environmental & Transport Planning, Brighton.
- Herrstedt, L. (1992). *Traffic calming design--a speed management method: Danish experiences on environmentally adapted through roads*. *Accident Analysis & Prevention* 24 (1): 3-16.
- Hotersal, D. e Salter, R. (1977). *Transport and the Environment*. Crosby Lockwood Staples, London.
- IMTT. (2011). *Acalmia de Tráfego – Zonas 30 e Zonas Residências ou de Coexistência*. Coleção de Brochuras Técnicas / Temáticas. Instituto da Mobilidade e dos Transportes Terrestres, I.P.
- InIR. (2011). *Disposições Normativas. Medidas de Acalmia de Tráfego*. Instituto de Infraestruturas Rodoviárias
- John, M., Seri, P., Petrucci Jr, D.A., Pande, A., Wolshon, B. (2015). *Probability and Statistical Analyses Techniques for Traffic Engineering Performance Measurement*. *Traffic Engineering Handbook*. John Wiley & Sons, Inc, pp. 9-50.
- Levasseur, M. (2014). *Cycling aspects of Austroads guides*. *Austroads*. No. AP-G88/14.
- Marques, J. M. S. (2005). *Engenharia de Segurança Rodoviária em Áreas Urbanas: recomendações e boas práticas*. Prevenção Rodoviária Portuguesa.
- Oliveira, S. F. G. (2016). *Calibração de Modelos de Microssimulação de tráfego para análise de interseções urbanas*. Dissertação de Mestrado. Instituto Politécnico de Viseu – Escola Superior de Tecnologia e Gestão de Viseu.
- Ortúzar, J. e Willumsen, L. (1994): *Modelling Transport*, Ed. West Sussex, England. John Wiley & Sons.
- Pereira, J. M. A. (2013). *Medidas de acalmia de tráfego em áreas urbanas consolidadas: Um caso no concelho do Seixal*. Tese de doutoramento. Faculdade de Ciências Sociais e Humanas, Universidade Nova de Lisboa.
- PennDOT (2001). *Pennsylvania's Traffic Calming Handbook*. Pennsylvania Department of Transportation, Bureau of Highway Safety and Traffic Engineering, Publication N° 383, USA.
- RCEP (1994). *Transport and the Environment*. Royal Commission on Environmental Pollution (Chairman: Sir John Houghton CBE FRS), Eighteenth Report, HMSO, London.
- Ribeiro, A. (1996). *As Medidas de Acalmia de Tráfego na Promoção da Segurança e na Melhoria do Ambiente Urbano*. Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade de Coimbra

- Rotenberg, J. e Heggie, I. (ed.) (1974). *Transport and the Urban Environment*. MacMillan, London.
- Schettino, M. P. e Echávarri, J.P. (2008). *Los Espacios Compartidos ("Shared Space")*. Caderno de Investigação Urbanística. Universidade Politécnica de Madrid.
- Schlabbach, L. (1997) *Traffic Calming in Europe*. Institute of Transport Engineers Journal: 38-40.
- SETRA. (1998) *Aménagement des Carrefours Interurbains sur les routes principales – Carrefours plans - Guide Technique*. Service d'Etudes Techniques des Routes et Autoroutes. Bagneux, France.
- Silva, J. P. C. (2010) *Modelação e Avaliação do Potencial de Desempenho das Lombas Redutoras de Velocidade*. Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade de Coimbra.
- Steen, M. e Hageback, C. (1999). *Buses & Bumps*. Vagverket, Swedish National Road Administration. Borlange, Sweden.
- Thomas, R. (1991). *Traffic assignment techniques*, Ed. Avebury Technical
- Vasconcelos, A. L. P. (2004). *Modelos de Atribuição/Simulação de Tráfego: O Impacto na Qualidade dos Resultados de Erros no Processo de Modelação*. Dissertação de mestrado. Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade de Coimbra.
- Vasconcelos, A. L. P. (2014). *Avaliação do desempenho operacional de rotundas: modelos e aplicações*. Tese de doutoramento. Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade de Coimbra.
- Vasconcelos, A.L.P., Bastos Silva, A., Seco, Á.J.M., Fernandes, P.J., Coelho, M.C. (2014a). *Turbo roundabouts: multicriterion assessment on intersection capacity, safety and emissions*. Transportation Research Record 2402, p. 28-37, 10.3141/2402-04.
- Vasconcelos, A.L.P., Neto, L.F.C., Seco, Á.J.M., Bastos Silva, A. (2014b). *Validation of Surrogate Safety Analysis Module Technique for Assessment of Intersection Safety*, TRB 93rd Annual Meeting. Transportation Research Board, Washington, D.C.
- Vasconcelos, L., Neto, L., Seco, Á., Silva, A. (2014c). *Validation of the Surrogate Safety Assessment Model for Assessment of Intersection Safety*. Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board 2432, p. 1-9, 10.3141/2432-01.
- Vasconcelos, L., Seco, Á., Silva, A.B. (2014d). *Hybrid Calibration of Microscopic Simulation Models*, in: Sousa, J.F., Rossi, R. (Eds.), *Computer-based Modelling and Optimization in Transportation*, 262. Springer International Publishing, pp. 307-320.
- Vejdirektoratet (1991) *Road Standards Part 7 - Speed Reducers*. Denmark Ministry of Transport Urban Traffic Areas Report, Road Data Laboratory, Road Standards Division. Copenhagen.

Vieira, D. N. D. S. (2008) *Medidas de acalmia de tráfego em zonas residenciais*. Dissertação de mestrado. Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto.

Vilarinho, C. A. T. (2008) *Calibração de Modelos Microscópicos de Simulação de Tráfego em Redes Urbanas*. Dissertação de Mestrado. Faculdade de Engenharia Universidade do Porto.

Wardrop, J.G. (1952). *Some theoretical aspects of road traffic research*. Proceeding of the Institution of Civil Engineers, Part 2, 1.

Watts, G. R. (1973). *Road Humps for the Control of Vehicle Speeds*. Transport and Road Research Laboratory (TRRL) Report 597, Department of the Environment and Department of Transport. Crowthome, UK.

APÊNDICES

Apêndice A – Inquérito realizado para compreender melhor o processo de escolha de trajetos em automóvel nas deslocações urbanas



INSTITUTO POLITÉCNICO DE VISEU
ESCOLA SUPERIOR DE TECNOLOGIA E GESTÃO DE VISEU



Este inquérito é realizado no âmbito do Mestrado em Engenharia de Construção e Reabilitação do DEC-ESTGV e tem como principal objetivo compreender melhor o processo de escolha de trajetos em automóvel nas deslocações urbanas. O questionário é destinado à comunidade académica da ESTGV – funcionários, docentes e alunos com carta de condução – sendo constituído por três grupos de questões de resposta rápida.

1. Caracterização do respondente

SEXO: Masculino Feminino

FUNÇÃO: Docente/Funcionário Aluno

2. Tempos de percurso

Considere os trajetos apresentados nas Figuras 1.1 a 1.3. Estime o tempo (em minutos) que levaria a percorrê-los de automóvel numa quarta-feira típica, em modo de condução normal, nos seguintes horários:

	8h00 - 9h00	10h00-11h00
Figura 1.1 – ESTGV > Montebelo	<input type="text"/>	<input type="text"/>
Figura 1.2 – ESTGV > Continente	<input type="text"/>	<input type="text"/>
Figura 1.3 – ESTGV > Rot. Volvo	<input type="text"/>	<input type="text"/>

3. Escolha de trajetos

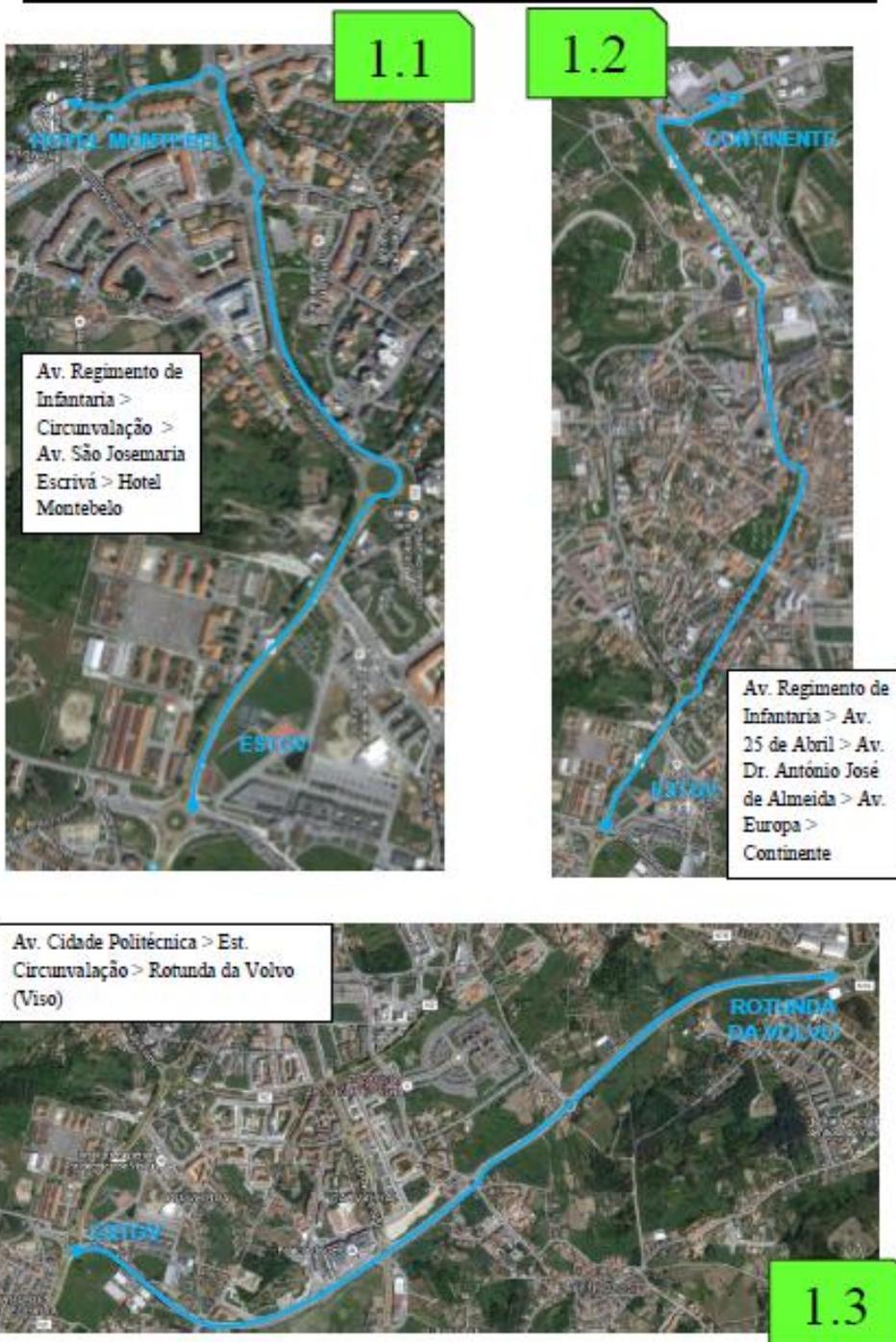
Considere os pares origem/destino indicados nas Figuras 2.1 a 2.5. Para cada uma dessas deslocações, indique o trajeto que adotaria numa quarta-feira típica, no período 10h00 – 11h00.

Anexo	Origem	Destino	Percurso preferido		
			A	B	C
2.1	Rotunda de Marzovelos	ESTGV	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
2.2	Rotunda de Nelas	ESTGV	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
2.3	Rotunda da ESTGV	Largo de Santa Cristina	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
2.4	Rotunda de Nelas	Av. Europa	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
2.5	Rotunda de Nelas	Central de Camionagem	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

Obrigado pela sua colaboração!



INSTITUTO POLITÉCNICO DE VISEU
ESCOLA SUPERIOR DE TECNOLOGIA E GESTÃO DE VISEU





INSTITUTO POLITÉCNICO DE VISEU
ESCOLA SUPERIOR DE TECNOLOGIA E GESTÃO DE VISEU



2.1

Figura 2.1 – Rotunda de Marzovelos → ESTGV



- | | | |
|---|---|---|
| <p>TRAJETO A</p> <p>Av. Cidade de São Filipe > Av. Regimento de Infantaria > Escola Superior de Tecnologia e Gestão de Viseu</p> | <p>TRAJETO B</p> <p>Av. Cidade de São Filipe > R. Alexandre Herculano > R. Nova > Escola Superior de Tecnologia e Gestão de Viseu</p> | <p>TRAJETO C</p> <p>Av. Cidade de São Filipe > Av. Regimento de Infantaria > Av. Cidade Politécnica > Escola Superior de Tecnologia e Gestão de Viseu</p> |
|---|---|---|



INSTITUTO POLITÉCNICO DE VISEU
ESCOLA SUPERIOR DE TECNOLOGIA E GESTÃO DE VISEU

2.2

Figura 2.2 – Rotunda de Nelas → ESTGV





INSTITUTO POLITÉCNICO DE VISEU
ESCOLA SUPERIOR DE TECNOLOGIA E GESTÃO DE VISEU



2.3

Figura 2.3 – Rotunda da ESTGV → Largo de Santa Cristina





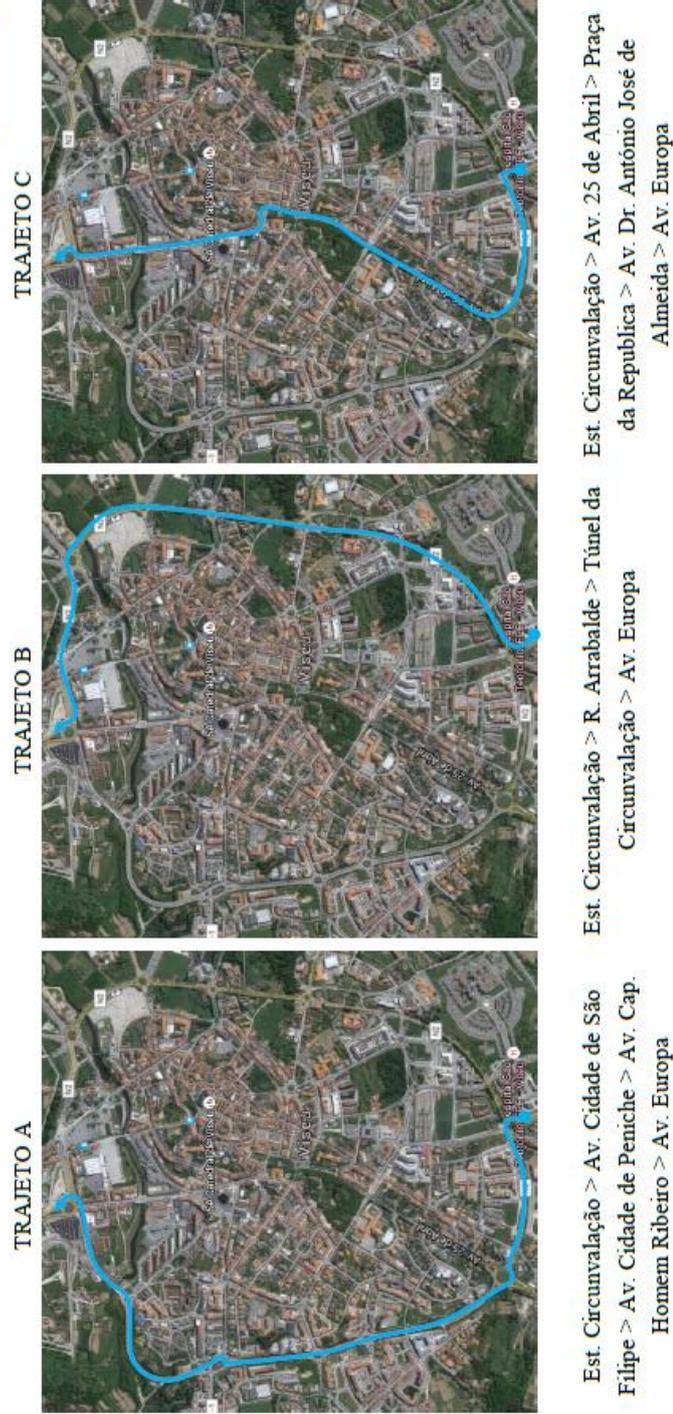
INSTITUTO POLITÉCNICO DE VISEU
ESCOLA SUPERIOR DE TECNOLOGIA E GESTÃO DE VISEU



DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL

2.4

Figura 2.4 – Rotunda de Nelas → Av. Europa





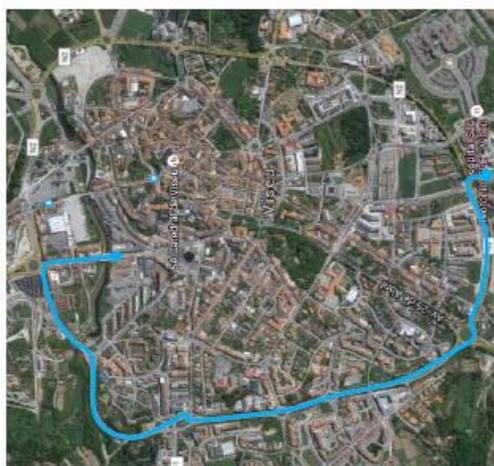
INSTITUTO POLITÉCNICO DE VISEU
ESCOLA SUPERIOR DE TECNOLOGIA E GESTÃO DE VISEU



2.5

Figura 2.5 – Rotunda de Nelas → Central de Camionagem (Av. António José de Almeida)

TRAJETO A



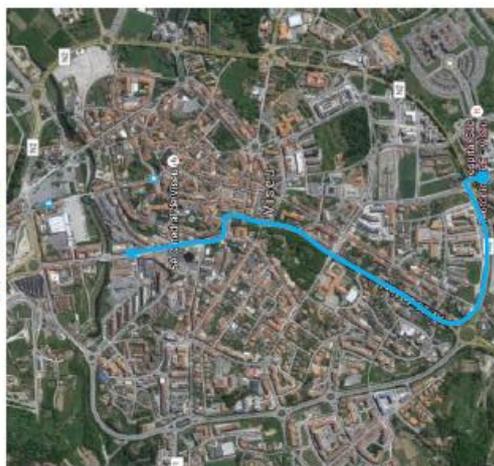
Est. Circunvalação > Av. Cidade de São Filipe > Av. Cidade de Peniche > Av. Cap. Homem Ribeiro > Av. Europa

TRAJETO B



Est. Circunvalação > R. Arrabalde > Túnel da Circunvalação > Av. Europa

TRAJETO C



Est. Circunvalação > Av. 25 de Abril > Praça da Republica > Av. Dr. António José de Almeida > Av. Europa

Apêndice B – Matrizes de tempos médios de deslocação global e individual por veículo, por cada par O/D

		Destino										Total Geral
Origem			Ranhados	Palacio do Gelo	Quinta do Galo	Marzovelos/Rossio	Quinta D'el Rei	Centro de Saude	Repeses	ESTGV	Centro/Fontelo	
Atual	Ranhados		4,0	0,2	23,6	1,1	0,3	13,7	1,8	7,5	52,3	
	Palacio do Gelo	0,39		0,1	1,2	0,2	0,0	0,7	0,0	0,2	2,8	
	Quinta do Galo	0,86	0,08		0,5	0,1	0,0	1,0	0,5	0,2	3,2	
	Marzovelos/Rossio	27,0	1,2	0,9		2,03	0,7	8,84	1,58	7,29	49,5	
	Quinta D'el Rei	0,9	1,6	0,2	0,9		0,3	2,6	2,2	0,6	9,2	
	Repeses	19,9	3,4	0,4	10,0	2,7	0,5		0,2	5,0	42,0	
	ESTGV	1,1	0,0	0,1	0,7	0,4	0,0	0,1		1,7	4,1	
	Centro/Fontelo	7,8	1,2	1,1	5,0	1,0	0,5	6,1	6,3		28,9	
Atual Total		57,8	11,5	3,0	41,9	7,6	2,2	32,9	12,7	22,5	192,1	
Proposta	Ranhados		4,3	0,3	24,2	1,1	0,4	13,4	1,9	7,6	53,2	
	Palacio do Gelo	0,4		0,2	1,3	0,2	0,0	0,7	0,0	0,3	3,1	
	Quinta do Galo	0,93	0,11		0,6	0,1	0,0	1,2	0,6	0,3	3,8	
	Marzovelos/Rossio	27,2	1,2	1,0		2,0	0,7	9,2	1,7	7,3	50,3	
	Quinta D'el Rei	0,8	1,5	0,2	0,9		0,3	2,5	2,4	0,6	9,1	
	Repeses	19,3	3,6	0,5	10,1	2,8	0,7		0,2	5,0	42,1	
	ESTGV	1,1	0,0	0,2	0,8	0,5	0,0	0,1		1,84	4,5	
	Centro/Fontelo	7,8	1,3	1,3	5,0	1,0	0,5	6,0	7,2		30,0	
Proposta Total		57,5	11,9	3,7	42,8	7,8	2,6	33,2	14,0	22,8	196,2	

Tabela B.1 – Matriz de tempos totais de deslocação global, por cada par O/D

		Destino										Total Geral
Origem			Ranhados	Palacio do Gelo	Quinta do Galo	Marzovelos/Rossio	Quinta Del Rei	Centro de Saude	Repeses	ESTGV	Centro/Fontelo	
Atual	Ranhados		68	80	124	56	90	132	152	80	111	
	Palacio do Gelo	52		58	142	67	0	113	0	99	99	
	Quinta do Galo	84	36		97	36	0	132	132	57	96	
	Marzovelos/Rossio	139	120	107		94	118	72	149	78	116	
	Quinta D'el Rei	80	62	64	91		54	146	182	56	123	
	Repeses	130	114	114	78	134	94		106	119	112	
	ESTGV	178	0	106	126	101	0	133		134	136	
	Centro/Fontelo	99	78	84	72	54	76	120	179		123	
Atual Total		117	77,3	90	110	85	95	121	158	103	115	
Proposta	Ranhados		72	102	127	57	107	128	158	82	119	
	Palacio do Gelo	47,4		98	149	80	0	118	0	109	105	
	Quinta do Galo	91,8	49,1		110	47	0	127	157	75	106	
	Marzovelos/Rossio	140	119	124		93	129	72	161	78	126	
	Quinta D'el Rei	75	56	86	91		66	141	180	52	119	
	Repeses	126	119	156	80	137	115		106	120	124	
	ESTGV	177	0	154	142	142	0	130		150	152	
	Centro/Fontelo	98	82	98	72	53	91	118	212		137	
Proposta Total		120	82	115	115	97	105	117	173	104	126	

Tabela B.2 – Matrizes de tempos médios de deslocação individual por veículo, por cada par O/D