

O uso da microssimulação no apoio ao desenho de redes cicláveis.
O caso da Av. de Roma, Lisboa

Tomás Raimundo Tavares

Dissertação para a obtenção de grau de Mestre em

Engenharia Civil

Orientador: Professor Filipe Manuel Mercier Vilaça e Moura

Orientador: Engenheira Rosa Melo Félix

Júri

Presidente: Professora Maria do Rosário Mauricio Ribeiro Macário

Orientador: Professor Filipe Manuel Mercier Vilaça e Moura

Vogal: Professor Luís Guilherme De Picado Santos

Novembro 2021

DECLARAÇÃO

Declaro que o presente documento é um trabalho original da minha autoria e que cumpre todos os requisitos do Código de Conduta e Boas Práticas da Universidade de Lisboa.

RESUMO

OBJECTIVOS: Analisar, através de simulação de tráfego, os impactos da implementação de uma ciclovia bidirecional na Avenida de Roma.

METODOLOGIA: Recolheram-se dados de tráfego na Avenida de Roma, através de contagens, no período da hora de ponta da manhã. Para além do cenário-base, foram criados 4 cenários: com e sem ciclovia e com velocidade máxima de 50 e 30km/h. Procedeu-se à calibração e validação do modelo e utilizaram-se como indicadores de desempenho: tempo de atraso, atraso devido a paragens, número de paragens, velocidade média, tamanho médio da fila, tamanho máximo da fila e tempo de percurso, entre outros. Foram efetuadas 30 simulações por cenário.

DISCUSSÃO DE RESULTADOS: A introdução da ciclovia demonstrou impacto negativo no tempo médio de percurso, mas não superior a 10%. Verifica-se um aumento generalizado do tamanho médio da fila de veículos, do tamanho máximo da fila e do número de paragens. A introdução da ciclovia não apresenta considerável agravamento, traduzindo-se em outras vantagens significativas como: melhoria da segurança dos ciclistas, potencial de diminuição de emissão de gases poluentes e melhoria da saúde.

CONCLUSÃO: A criação de uma ciclovia introduziu atrasos, amplamente compensados pelos ganhos socioeconómicos. A introdução da ciclovia poderá melhorar as condições de segurança de forma a que mais pessoas usem bicicleta com impactos significativos a nível ambiental e de saúde pública. O VISSIM revelou ser um software prático e útil na análise desta problemática. A presente simulação parece indicar uma tendência contudo, mais estudos necessitam de ser efetuados para retirar outras conclusões.

Palavras-chave: Microssimulação, Bicicletas, Ciclovias, VISSIM

ABSTRACT

OBJECTIVES: To analyze, through traffic simulation, the impacts of the implementation of a bidirectional cycle path on Avenida de Roma.

METHODOLOGY: Traffic data was collected through counts, during the rush hour period in the morning. In addition to the base scenario, 4 scenarios were created: with and without a bike path and a maximum speed of 50 and 30km/h. The model was calibrated and validated and used as performance indicators: delay time, delay due to stops, number of stops, average speed, average queue size, maximum queue size and travel time, among others. Thirty simulations were performed per scenario.

DISCUSSION OF RESULTS: The introduction of the cycle path showed a negative impact on the average travel time, but not greater than 10%. There is a general increase in the average size of the vehicle queue, the maximum queue size and the number of stops. The introduction of the cycle path does not present a considerable aggravation, translating into other significant advantages such as: improved safety for cyclists, potential for reducing the emission of polluting gases and improving health.

CONCLUSION: The creation of a cycle path introduced delays, largely offset by socio-economic gains. The introduction of the cycle path could improve safety conditions so that more people use bicycles with significant impacts on the environment and public health. VISSIM turned out to be a practical and useful software for analyzing this problem. The present simulation seems to indicate a trend, however more studies need to be carried out to draw other conclusions.

Key-words: Microsimulation, Bicycles, Cycle path, VISSIM

AGRADECIMENTOS

Começo por agradecer ao Professor Filipe Moura por me ter cativado, ainda mais, na área dos transportes, na cadeira de Engenharia de Tráfego Rodoviário, e, que juntamente com a Engenheira Rosa Félix, me tenham orientado nesta Dissertação de mestrado.

À Alina pelo papel preponderante que teve em fazer-me lutar, nunca me deixar desistir e por todo o apoio.

À minha irmã Tatiana e Domingos por nestes últimos tempos terem sido inalcançáveis no apoio que me deram e na hospitalidade.

Aos meus amigos, AfDoBoma, Cancela, Coelho, Diego, Gogo, PC, Pedro, Raimundo, Tarino e Vasquinho por todo o apoio e momentos que passámos nestes últimos anos.

Aos meus pais, Cristina e Calita, por toda a ajuda em prol e fora do âmbito desta dissertação.

E por fim a todos aqueles que, de alguma forma, contribuíram para que esta etapa tenha chegado ao fim.

Obrigado!

ÍNDICE DE TEXTO

1	INTRODUÇÃO.....	1
1.1	Objetivos.....	3
1.2	Estrutura.....	3
2	REVISÃO DO ESTADO DA ARTE.....	5
2.1	Redes viárias.....	5
2.2	Redes cicláveis e princípios de conectividade.....	6
2.2.1	Bicicletas.....	6
2.2.2	Ciclistas.....	8
2.2.3	Estrutura Ciclável.....	9
2.3	Modelos de simulação de tráfego.....	10
2.3.1	Introdução.....	10
2.3.2	Modelos Macro, Meso e Microscópicos.....	11
2.3.2.1	Modelos macroscópicos.....	11
2.3.2.2	Modelos Mesoscópicos.....	12
2.3.2.3	Modelos Microscópicos.....	12
2.3.3	Comparação entre os vários modelos.....	13
2.4	Modelos microscópicos.....	13
2.4.1	Calibração e validação de modelos de microsimulação de tráfego.....	14
2.4.2	VISSIM.....	16
2.5	Métodos de contagem.....	17
2.5.1	Contagem manual.....	19
2.5.2	Contagem automática.....	20
2.5.3	Contagem a partir de imagens vídeo.....	20
2.6	Sinais luminosos.....	21

3	METODOLOGIA	23
3.1	Abordagem Metodológica.....	23
3.2	Caracterização da área do caso de estudo.....	24
3.3	Recolha de dados	26
3.4	Definição de cenários.....	27
3.5	Calibração (VISSIM).....	31
3.5.1	Intervalo de tempo da avaliação	31
3.5.2	<i>Dynamic assignment vs. Static assignment</i>	32
3.5.3	Tratamento da rede	32
3.5.3.1	Áreas de conflito	32
3.5.3.2	Zonas de redução de velocidade	33
3.5.3.3	Transportes públicos	34
3.5.3.4	Peões	34
3.5.3.5	Semáforos.....	34
3.6	Validação (VISSIM)	35
3.7	Indicadores de Desempenho	37
4	APRESENTAÇÃO E DISCUSSÃO DE RESULTADOS	39
4.1	Resultados gerais da rede	39
4.2	Resultados automóveis sentido norte – sul	42
4.3	Resultados automóveis sentido sul – norte	44
4.4	Indicadores semaforicos	45
4.5	Resultados bicicletas	47
4.6	Comparação qualitativa dos cenários.....	48
5	CONCLUSÃO.....	51
7	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	53
	A Anexo – contagens	I
	B Anexo – Atrasos de entrada no sistema.....	III

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1- Ilustrações dos diferentes tipos de bicicletas.....	7
Figura 2 - Critérios para a implementação das diferentes tipologias de percursos cicláveis (Fonte: IMTT, 2011)	10
Figura 3 - Fluxograma.....	24
Figura 4 - Área do caso de estudo (assinalada com o retângulo azul)	25
Figura 5 - Vias do caso de estudo. A azul assinalam-se as vias com nível hierárquico 3 e a verde as vias de nível hierárquico 4 e 5	26
Figura 6 - Exemplo da contagem na Avenida do Brasil (15 min).....	27
Figura 7 – Solução ciclovía na Av. do Brasil (VISSIM).....	29
Figura 8 – Solução ciclovía na Av. da Igreja e corte A – A' (VISSIM).....	29
Figura 9 – Solução ciclovía na estação de comboios de Roma-Areeiro (VISSIM)	30
Figura 10 – Solução ciclovía na Av. João XXI e corte B – B'(VISSIM).....	30
Figura 11 - Perfil transversal (Corte A – A')	31
Figura 12 - Perfil transversal (Corte B - B')	31
Figura 13 - Zonas de conflito	33
Figura 14 - Zonas de redução de velocidade	33
Figura 15 – Plano de fases semaforicas da interseção da Av. do Brasil com a Av. de Roma (VISSIM)	35
Figura 16 - Localização dos semáforos do Quadro 6	46

ÍNDICE DE QUADROS

Quadro 1 - Características para a definição do nível hierárquico (Fonte: PDM de Lisboa, 2012)	5
Quadro 2 - Carreiras e percursos dos TP.....	34
Quadro 3 - Resultados GEH	37
Quadro 4 - Resultados gerais da rede 1	40

Quadro 5 - Resultados gerais da rede 2	41
Quadro 6 - Resultados tráfego automóvel (Norte - Sul)	42
Quadro 7 - Resultados tráfego automóvel (Sul - Norte)	44
Quadro 8 - Resultados tráfego automóvel (Sul – Norte) 2	45
Quadro 9 - Filas de espera (semáforos)	46
Quadro 10 - Resultados tráfego das bicicletas	47
Quadro 11 - Comparação qualitativa dos impactos com o cenário base	48
Quadro 12 - Comparação qualitativa dos impactos com o cenário base 2	49

ABREVIACÕES E SIGLAS

Av. – Avenida

CB – Cenário Base

C2 – Cenário 2

C3 – Cenário 3

C4 – Cenário 4

CML – Câmara Municipal de Lisboa

E – Este (ponto cardinal)

IMTT – Instituto da Mobilidade dos Transportes Terrestres

h – Horas

km/h – Quilmetros por hora

m – Metros

min – Minutos

n – Número

N – Norte (ponto cardinal)

O – Oeste (ponto cardinal)

O/D – Origem/Destino

PTV – Planung Transport Verkehr

S – Sul (ponto cardinal)

s – Segundos

TP – Transportes Públicos

VISSIM – *Verkehr In Stdten - SIMulationsmodell*

vs. – Versus

1 INTRODUÇÃO

Desde o início do século XX e ao longo do presente século, a população mundial tem vindo a crescer rapidamente, sendo que, mais de metade habita em grandes cidades e espaços urbanizados. De acordo com as Nações Unidas, prevê-se que cerca de 68% da população mundial em 2050 viva em áreas urbanas. Em Portugal, atualmente, a população urbana constitui 66,8% do total, estimando-se um crescimento da mesma para 79,3% até 2050. (Nações Unidas, 2018)

Decorrente deste facto, as políticas de desenvolvimento focaram-se, essencialmente, em problemas diretamente relacionados com o indivíduo, enquanto residente desses mesmos espaços urbanos. Por isso, nasce uma preocupação inerente a este aumento demográfico que valoriza a qualidade do meio ambiente e o bem-estar do indivíduo.

Surgiu, assim, a necessidade de encontrar medidas que pudessem conduzir a uma melhoria da qualidade de vida, assente num desenvolvimento sustentável. Tal levou representantes de diferentes países a se juntarem, no sentido de encontrarem soluções que permitissem dar resposta a esta problemática, numa atitude concertada. Temas como o aquecimento global, a qualidade de vida e a mobilidade sustentável emergem na comunidade científica e, por consequência, questiona-se o próprio sistema de mobilidade. Este tem vindo a sofrer grandes transformações devido à utilização crescente do transporte individual e às graves consequências que daí advêm, tais como: a diminuição do nível da qualidade do ar, o aumento da poluição sonora, o agravamento das condições de sustentabilidade energética e, principalmente, na saúde dos indivíduos.

Durante muitos anos, as áreas urbanas foram pensadas para facilitar o uso do veículo particular. Como resultado deste uso massivo e do aumento da taxa de motorização, as cidades hoje sofrem problemas de congestionamento, saturação de áreas públicas, poluição e ruído. Em Portugal, em 2015, a taxa de motorização era 456,7/1000 habitantes, tendo, em 2018, aumentado para 514,1/1000 habitantes (Fonte: IMT; Estatísticas dos Transportes e Comunicações – INE). Em áreas de grande densidade e para pequenas distâncias, o carro é um meio de transporte pouco eficiente e insustentável. O ciclismo, assim como o transporte público e o modo pedonal são os principais componentes da mobilidade sustentável. No entanto, devido à complexidade da rede de transportes públicos, estas frequentemente não dão resposta às necessidades de mobilidade dos cidadãos. Os seus horários, frequências e percursos nem sempre correspondem às suas necessidades específicas. Por isso, o ciclismo tem vindo a aumentar a sua proporção na repartição modal, principalmente para viagens curtas, onde os seus benefícios se traduzem em vantagens face a outros modos de transporte. Assim, surge uma mudança de paradigma na mobilidade, no qual o incremento na utilização do ciclismo tem aqui a sua melhor opção, numa perspetiva de assegurar a deslocação de bens, serviços e pessoas, causando o menor impacto ambiental, económico e social, e tendo na mobilidade sustentável o seu grande impulsionador.

Num contexto atual, de pandemia (Conway et al., 2020), além de se ter verificado uma forte redução do tráfego nas cidades, com conseqüente impacto na redução nos níveis de poluição e melhoria da qualidade do ar, assistiu-se também a uma diminuição no número de congestionamentos e, principalmente, a uma maior procura por

modos individuais de deslocação (menor risco de contágio em transportes públicos), nomeadamente o ciclismo. Caroline Cerfontaine, diretora do evento “Velo-city 2021” refere que “a pandemia mostrou um interesse renovado em relação ao ciclismo por parte de um grupo muito grande e diversificado de cidadãos de todo o mundo, tendo em conta que, durante o confinamento, o tráfego automóvel diminuiu drasticamente, abrindo espaço para opções de mobilidade ativa.” (Público, 2021)

Face a esta nova realidade torna-se imperativa a criação de um plano estratégico que, espelhando as boas práticas recomendadas por toda a Europa, promova a criação de mais ciclovias permitindo a utilização da bicicleta como uma solução de mobilidade acessível. (Neto et al., 2021)

Estas boas práticas seguidas, um pouco por toda a Europa recomendam:

- Elaboração de um plano integrado para a mobilidade em bicicleta: o objetivo não é a criação de medidas/ ciclovias avulso, mas sim articular um conjunto de medidas, coerentes e integradas, que visem a promoção da mobilidade em bicicleta com objetivos bem definidos e enquadrados no contexto urbano em que se inserem;
- Criação de uma rede de percursos intermunicipais: articular, com os municípios da área metropolitana, a criação de percursos que possibilitem as ligações ao centro das cidades, com segurança e conforto.
- Realização de um desenho urbano orientado para o utilizador com medidas que favoreçam a co-utilização do espaço público (exemplos: zonas a 30 km/h, alargamento dos passeios, colocação de mobiliário urbano);
- Promoção da participação dos cidadãos: planejar e implementar medidas que traduzam a discussão com os cidadãos (verdadeiros utilizadores do espaço público) e com os especialistas em mobilidade e planeamento urbano.

Qualquer deslocação feita em bicicleta, em vez de automóvel, gera economias e benefícios consideráveis, tanto para o indivíduo como para comunidade (adaptado de “Cidades Para Bicicletas, Cidades de Futuro”, Comissão Europeia, 2000) como seja:

- Benefício para a saúde pública;
- Diminuição acentuada do impacto sobre a qualidade de vida na cidade (ruído, poluição);
- Rentabilização do solo (menor espaço ocupado no solo para as vias de circulação e zona de estacionamento);
- Diminuição da degradação da rede rodoviária;
- Reforço da atratividade do centro da cidade (lojas, cultura, lazer, vida social);
- Diminuição dos congestionamentos e impactes económicos associados;
- Maior fluidez da circulação automóvel;
- Maior atratividade dos transportes públicos;
- Melhor acessibilidade aos serviços tipicamente urbanos para toda a população (incluindo os adolescentes e os jovens);

- Ganho de tempo considerável para os ciclistas nas curtas e médias distâncias;
- Desaparecimento eventual da necessidade de um segundo automóvel por agregado familiar (e, por conseguinte, aumento da parte do orçamento familiar disponível).

O desenho de redes cicláveis surge então como uma necessidade para o aumento da atratividade do modo. Para tal, o planeamento destas redes requer ferramentas de modelação e de avaliação do impacto que as propostas de rede possam ter no sistema de mobilidade. Este contexto suscitou a oportunidade de elaboração do presente trabalho com o objetivo geral de compreender qual o potencial da utilização da microssimulação (nomeadamente, utilizando o *software* VISSIM da PTV) para apoiar o desenho de redes cicláveis recorrendo para tal ao caso de estudo da Avenida de Roma, nomeadamente avaliando várias propostas de desenho de rede neste corredor fundamental do centro da cidade de Lisboa.

1.1 OBJETIVOS

O objetivo geral do presente trabalho é analisar, através do *software* VISSIM, os impactos no tráfego gerados pela implantação de várias soluções de um corredor ciclável na Avenida de Roma.

Os objetivos específicos são:

- Analisar qual estrutura cicloviária se adequa melhor à via em estudo;
- Analisar a viabilidade da implantação da estrutura cicloviária, através dos resultados obtidos nas microssimulações.
- Analisar a melhor estrutura cicloviária, através dos resultados obtidos nas microssimulações.

1.2 ESTRUTURA

Este trabalho encontra-se estruturado em três partes. Numa primeira parte é efetuado a revisão do estado da arte (Capítulo 2), abordando os seguintes temas: redes viárias, redes cicláveis, modelos de simulação de tráfego, modelos de microscópicos, métodos de contagem e sinais luminosos. De seguida, no Capítulo 3, é apresentada a metodologia, os métodos e as ferramentas utilizados para alcançar os objetivos da dissertação. No capítulo 4, são apresentados, analisados e discutidos os os resultados obtidos. O texto principal termina com o Capítulo 5 com as principais conclusões deste trabalho, apresentado também as principais limitações encontradas. Em anexo encontram-se os resultados obtidos das contagens (Anexo A) e o quadro com os resultados dos atrasos de entrada no sistema (Anexo B).

2 REVISÃO DO ESTADO DA ARTE

2.1 REDES VIÁRIAS

Antes de se falar nas redes cicláveis é preciso primeiro falar sobre a rede viária, pois em maior parte dos casos a rede ciclável está inserida na rede viária.

O Plano Diretor Municipal (PDM) de Lisboa (CML, 2012), no Título III, Capítulo V, Secção II, artigo 70º, ordena e hierarquiza as vias de acordo com as suas funções e características. Esta divisão resulta na seguinte classificação:

- 1º nível – Rede Estruturante – assegura as ligações interconcelhias e de atravessamento do concelho bem como as deslocações de maior extensão dentro da cidade de Lisboa;
- 2º nível – Rede de Distribuição Principal – assegura a distribuição dos maiores fluxos de tráfego internos ao concelho, bem como os percursos médios e o acesso à rede estruturante;
- 3º nível – Rede de Distribuição Secundária – é composta por vias internas e assegura a distribuição de proximidade, bem como o encaminhamento dos fluxos de tráfego para as vias de nível superior;
- 4º nível – Rede de Distribuição Local (rede de proximidade) – é composta pelas vias estruturantes ao nível do bairro, com alguma capacidade de escoamento, mas onde o peão tem maior importância;
- 5º nível – Rede de Acesso Local (rede de bairro) – garante o acesso rodoviário ao edificado, devendo reunir condições privilegiadas para a circulação pedonal.

Em função desta hierarquização o PDM define vários parâmetros para cada nível: designação da rede viária, objetivos, funções, exigências particulares, características físicas, acessos, tipo de nós, atributos operacionais, estacionamento, cargas e descargas, transportes coletivos, coexistência com peões e coexistência com bicicletas.

No presente trabalho os pontos, velocidade regulamentada (atributos operacionais) e coexistência com bicicletas, assumem particular importância, pelo que será esclarecido de seguida (Quadro 1).

Quadro 1 - Características para a definição do nível hierárquico (Fonte: PDM de Lisboa, 2012)

	1º Nível	2º Nível	3º Nível	4º Nível	5º Nível
Coexistência de ciclistas	Proibido	Segregada	Segregada ou Livre		Livre
Velocidade regulamentada (Km/h)	80 – 120	50 – 80	30 – 50		

De salientar que, para os níveis 3, 4 e 5, onde é possível a coexistência livre das bicicletas, a velocidade máxima deveria estar limitada a 30km/h para respeitar as zonas 30, visto que para maior parte dos ciclistas comuns ter de partilhar a via com veículos motorizados a 50km/h, aliado a um volume de automóveis elevado, torna-se uma tarefa com um grau de dificuldade bastante elevado, pois estes não se sentem seguros com tal cenário.

2.2 REDES CICLÁVEIS E PRINCÍPIOS DE CONECTIVIDADE

2.2.1 BICICLETAS

Leonardo Da Vinci, no século XV, já terá projetado um protótipo de uma bicicleta, que não foi construída (documentos históricos, no Museu de Madrid, assim o comprovam). Contudo, a primeira bicicleta denominou-se de “cavalinho-de-pau”, surgiu em Paris em 1818, e não possuía pedais.

Em 1840, um escocês de nome Kirkpatrick Macmillan criou um pedal, colocado junto à roda traseira, através de um manete. Foi este pequeno invento que proporcionou mais rapidez e estabilidade na sua utilização. Em 1855, o francês Pierre Michaux, inventou o pedal, com o uso que hoje lhe damos; este, foi colocado num veículo de duas rodas traseiras e uma dianteira. Em 1874, H. J. Lawson, projeta a primeira bicicleta com sistema de corrente ligada às rodas e já com alguma estabilidade e segurança.

Contudo, é na década de 1880, que John Kemp Starley projeta, finalmente, a bicicleta com guidão, rodas de borracha, quadro, pedais e corrente, tal como as vemos hoje.

A utilização da bicicleta, como modo de transporte, tem sido alvo de muitas considerações, em presença da temática Mobilidade.

Múltiplos estudos realizados, (Carr & Dill, 2003; *New York City DOT*, 2009) apontam para uma relação estreita e positiva, entre a extensão de uma rede de ciclovias e o franco aumento da utilização da bicicleta, na mobilidade do indivíduo. Para a construção de ciclovias, muito contribuiu a recomendação do Parlamento Europeu, que sugeriu a velocidade máxima de 30 km/h, nas vias das zonas residenciais, que não apresentassem faixas ou vias para os ciclistas. Nota-se aqui, uma forte preocupação com a segurança dos seus utilizadores e a consciência da importância de legislar e repensar continuamente as cidades, tendo como princípio o seu público-alvo e a sua qualidade de vida em geral.

No sentido de sensibilizar para a utilização da bicicleta, não basta a utilização de uma rede de ciclovias, é necessário apostar num modelo integrado de medidas, que promovam a sua utilização e concomitantemente a restrição ao uso do automóvel. Alguns autores, Hochmair (2005), defendem ainda, que o conhecimento prévio do percurso a realizar, por parte dos ciclistas, seria uma mais-valia no aumento da sua utilização.

Outro ponto importante a salientar, e ainda em relação à segurança rodoviária, condição principal para a utilização da bicicleta como modo de transporte pendular, refira-se a necessidade da criação de infraestruturas que se coadunam com a mobilidade em bicicleta, de forma a atrair o indivíduo para a sua utilização, oferecendo-lhes segurança e proteção no seu uso. Gehl (2010), defende que quanto maior o número de ciclistas em movimento, numa determinada cidade, maior a sua segurança, pois a velocidade, de todos os intervenientes no tráfego, nomeadamente, dos automóveis, é mais reduzida, porquanto “obriga” os automobilistas a circularem mais atentamente, por via da circulação dos ciclistas, com quem partilham as estradas.

Os tipos de bicicletas mais frequentes são:

- Bicicleta de estrada (ciclismo);
- Bicicleta de montanha;
- Bicicleta citadina;
- Bicicleta de criança;
- Bicicleta de carga;
- Bicicletas dobráveis;
- Bicicletas elétricas.



Figura 1- Ilustrações dos diferentes tipos de bicicletas

A figura 1, meramente ilustrativa, mostra os diferentes tipos de bicicleta, da esquerda para a direita, e de cima para baixo, seguindo a lista enunciada anteriormente, menos as bicicletas de criança.

As bicicletas de carga têm-se tornado progressivamente mais comuns e, tal como o nome indica, servem para efetuar o transporte de carga. Habitualmente apresentam uma maior distância entre os eixos e há casos em que possuem inclusivamente um atrelado, tornando-se assim mais lentas e menos ágeis.

As bicicletas dobráveis tornam-se particularmente úteis para intermodalidade pois a capacidade de serem dobráveis permite a ocupação de menos espaço quando é realizado o transporte ou acondicionada em apartamentos.

As bicicletas elétricas possuem um motor elétrico o que facilita a força necessária para pedalar, não tem, contudo, acelerador. Este tipo de bicicleta é particularmente útil em percursos com declives acentuados. O motor é limitado a 25km/h o que acarreta também alguns inconvenientes pois quando essa velocidade é atingida fica

a cargo do ciclista todo o esforço (as bicicletas são mais pesadas e existe ainda o atrito feito pelo motor). De salientar que esta opção tem ganho, progressivamente, muitos adeptos, sendo que cada vez mais as cidades disponibilizam a possibilidade de aluguer destas bicicletas.

É possível observar também a conjugação de alguns tipos destas bicicletas, por exemplo, uma bicicleta dobrável e elétrica, ou de carga e elétrica.

2.2.2 CICLISTAS

Verifica-se uma grande diversidade de classificações dos tipos de ciclistas, sendo que não há consenso na terminologia utilizada (cada autor determina a forma de categorização). Winters (et al., 2011) faz esta divisão em: potenciais ciclistas, ciclistas ocasionais, ciclistas frequentes e por fim ciclistas regulares. Baseado num inquérito elaborado a 892 participantes, Félix (2012) definiu 3 tipologias de ciclista: principiante, desporto/fim de semana e *commuter*. Mais recentemente, numa lógica de perspetiva de alteração de comportamentos Félix (et al., 2017) reviu um conjunto alargado de classificação de tipologias de ciclistas e sistematizou e simplificou estas classes em: ciclistas (que usam a bicicleta como modo de transporte) potenciais ciclistas (interessados em andar de bicicleta mas ainda não convencidos a fazê-lo), e não ciclistas (não despertos ou disponíveis para andar de bicicleta regularmente). O Instituto da Mobilidade e dos Transportes Terrestres (IMTT) o ciclista pode ser: inexperiente, ocasional e frequente (IMTT, 2011). Em 2018 a câmara municipal de Lisboa, juntamente com o departamento do espaço público, publicou um manual de desenho do espaço público intitulado: "Lisboa: o desenho da rua: manual de espaço público" (CML, 2015) que classificou o ciclista em: atípicos, crianças e adolescentes, principiantes, utilitários e experientes:

- Ciclistas atípicos:

- Correspondem a utilizadores que circulam em velocípedes não convencionais como bicicletas com atrelado, bicicletas de carga, bicicletas operadas por manivela (para pessoas com mobilidade reduzida), entre outros, e que privilegiam percursos livres de curvas acentuadas e pontos de conflito que possam forçá-los a desmontar, comprometendo assim a circulação.

- Ciclistas crianças e adolescentes:

- São utilizadores destemidos e confiantes, devendo por isso ser alvo de especial atenção. A aprendizagem de utilização da bicicleta é um marco importante na vida desta classe de utilizadores sendo representativo da sua evolução física e cognitiva. Consciente desse processo evolutivo, a legislação portuguesa possibilita que crianças até aos 10 anos circulem de bicicleta nos passeios, desde que não perturbem ou ponham em perigo os peões, condicionando, no entanto, a circulação de utilizadores 'mais velhos', obrigando-os a operar num sistema desenhado exclusivamente para veículos motorizados, comprometendo assim a utilização da bicicleta nas suas deslocações diárias, mesmo se acompanhados pelos pais.

- Ciclistas principiantes:

- Enquadram-se aqueles que se sentem menos confiantes em partilhar a estrada com veículos motorizados, nomeadamente em ruas com maior volume de tráfego e velocidade de circulação, preferindo, nestas situações, circular em percursos segregados (pistas cicláveis) ou em faixas cicláveis generosas. Este tipo de utilizadores sentem-se mais confiantes em partilhar a estrada com veículos motorizados apenas em vias de carácter local, onde a velocidade de circulação seja reduzida (não superior a 30 km/h), a via esteja devidamente sinalizada, e o espaço de circulação permita que a interação com o automóvel seja feita de forma segura e confortável.

- Ciclistas utilitários:

- Apesar de se sentirem habituados a estrada com o tráfego motorizado, quando confrontados com vias com elevados volumes de tráfego e/ou interseções de difícil gestão, procuram circular por percursos separados de modo a se sentirem mais protegidos e confiantes.

- Ciclistas experientes:

- Utilizam a bicicleta como se de um veículo motorizado se tratasse, sentindo-se por isso naturalmente confortáveis em partilhar a estrada com o tráfego motorizado, necessitando de espaço de manobra suficiente que lhes permita negociar mudanças de direção com esses utilizadores. Privilegiam percursos diretos que os transportem rapidamente desde a origem ao seu destino.

As propostas de classificação de ciclistas são baseadas nos hábitos e necessidades dos ciclistas. É assim fundamental considerar esta classificação e, desejavelmente, caracterizar a população da cidade onde se está a construir a rede ciclável para poder definir os diferentes tipos de infraestrutura ciclável em função das características e necessidades da população.

2.2.3 ESTRUTURA CICLÁVEL

Em relação à estrutura ciclável, o PDM de Lisboa (CML, 2012) também faz a distinção entre os diversos tipos: via banalizada, faixa ciclável e pista ciclável.

- Via banalizada (coexistência): Percurso onde a circulação de bicicletas ocorre em convivência com o tráfego rodoviário. Estas vias são obrigatoriamente sinalizadas com sinalização vertical e/ou horizontal. É sempre unidirecional, seguindo o sentido da corrente de tráfego.
- Faixa ciclável (separação visual): Percurso realizado em espaço delimitado, ao nível do pavimento rodoviário, com sinalização horizontal e sem barreiras físicas (não é segregado, mas também não é partilhado). É sempre unidirecional, seguindo o sentido da corrente de tráfego.
- Pista ciclável (separação física): Percurso realizado em canal próprio, segregado do tráfego rodoviário. Pode ser realizado paralelamente à rua (acompanhando o espaço pedonal) ou ter um traçado autónomo em relação à rede viária (caso das pistas cicláveis em áreas verdes). Pode ser bidirecional ou unidirecional.

Como referido anteriormente, o PDM de Lisboa define o tipo de coexistência entre ciclistas e outros modos, em função do nível hierárquico da via. Esta categorização relaciona duas variáveis: fluxo e velocidade de veículos. Quanto menor o fluxo e a velocidade dos veículos, mais segura se torna a solução de coexistência através de uma via banalizada, na qual as bicicletas coexistem, livremente, com os veículos motorizados. Por outro lado, qualquer dos outros cenários (volume elevado e/ou velocidade elevada) conduz a uma diminuição progressiva da segurança apontando no sentido da recomendação de pistas cicláveis (figura 2).

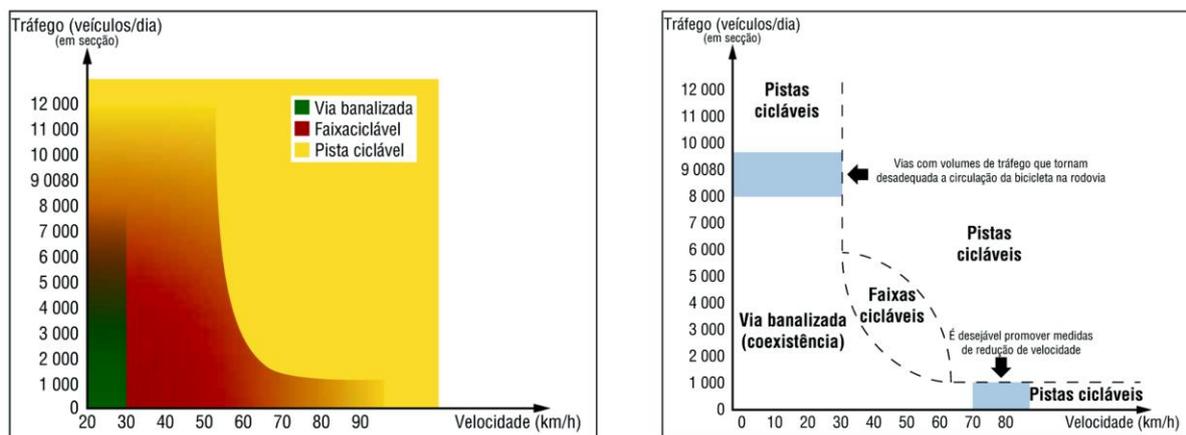


Figura 2 - Critérios para a implementação das diferentes tipologias de percursos cicláveis (Fonte: IMTT, 2011)

2.3 MODELOS DE SIMULAÇÃO DE TRÁFEGO

2.3.1 INTRODUÇÃO

Vilarinho define os modelos de simulação de tráfego como modelos que “reproduzem, com maior ou menor nível de precisão a interação entre os veículos, os seus operadores e as infraestruturas, sendo caracterizadas as condições de circulação numa determinada rede devido a uma relação de oferta/procura.” (Vilarinho, 2008).

Existem diferentes modelos de simulação que devem ser seleccionados em função do objetivo do estudo, do utilizador e dos recursos disponíveis.

Segundo Vilarinho (2008) os modelos de tráfego são classificados em função da escala temporal, representação do processo, e nível de detalhe.

- **Escala temporal:** esta classificação compreende modelos estáticos (variáveis permanecem constantes ao longo do intervalo de tempo do estudo) e modelos dinâmicos (permitem variação das variáveis ao longo do estudo). Segundo o autor, os modelos dinâmicos podem ser classificados, em função da variável independente tempo, como:

- Modelos contínuos: descrição do tráfego de forma contínua / ininterrupta ao longo do tempo;
- Modelos discretos: descrição do tráfego de forma descontínua ao longo do tempo.

- **Representação de processo: a representação do comportamento dos veículos numa rede de transporte** pode ser:

- Estocástica: reflete a natureza aleatória e probabilística das variáveis;
- Determinística: reflete a descrição analítica e fixa das variáveis (não aleatória).

- **Nível de detalhe:** na seção seguinte explicamos a diferença entre os diferentes níveis de detalhe dos modelos macroscópicos, mesoscópicos e microscópicos. Considera-se ainda a possibilidade de um quarto modelo (modelo sub-microscópico) que compreende uma abordagem mais minuciosa, pois considera pormenores de condução, detalhando e abordando características específicas dos condutores: aceleração, travagem, tempo de reação do condutor, tempo de travagem.

2.3.2 MODELOS MACRO, MESO E MICROSCÓPICOS

2.3.2.1 Modelos macroscópicos

Os Modelos macroscópicos descrevem o tráfego de forma global não distinguindo / individualizando as variáveis (Ferreira, 2008; Vilarinho, 2008):

- Reproduzem correntes de tráfego ininterruptas, de forma a determinar parâmetros de tráfego médios: velocidade, débitos e filas de espera;
- É um tipo de modelo determinista pois não considera as características e critérios individuais de fluxo de tráfego;
- Consomem menor volume de dados e requerem menos esforço computacional para serem executados;
- Modelos adequados a ser aplicados a estudos de grande dimensão;
- Modelos adequados a situações em que os elementos a analisar não exigem a interação entre veículos e/ou a dimensão da rede é de tal forma extensa que se torna não exequível a utilização de modelos de elevado nível de detalhe;
- Tempo e os recursos disponíveis para o desenvolvimento do modelo de tráfego limitados;
- Aplicação e manutenção mais rápida e fácil (do que nos modelos microscópicos);
- O processo de calibração é mais simples (do que nos modelos microscópicos).

Exemplos de softwares de modelos de tráfego macroscópicos (Barceló et al., 1999):

- BTS (Bottleneck Traffic Simulator);
- FREQ12;
- KRONOS;
- METACOR / METANET;
- NETCELL;
- PASSER II_02, PASSER III_98, PASSER IV_96;
- SATURN;

- TRAF-CORFLOW (Corridor Flow);
- TRANSYT-7F;
- VISTA (Visual Interactive System for Transport Algorithms).

2.3.2.2 Modelos Mesoscópicos

Os modelos mesoscópicos descrevem o tráfego com nível de detalhe intermédio tendo a capacidade de considerar variações dentro do ciclo:

- São mais precisos do que os macroscópicos pois são modelos que se referem a um conjunto de veículos que possuem características semelhantes entre si;
- Não descrevem o comportamento do veículo / condutor, individualmente, mas sim de pequenos conjuntos de veículos agregados (pelotões);
- A representação de veículos através de pelotões permite reduzir o tempo necessário à simulação ainda que esteja em estudo uma elevada quantidade de parâmetros;
- De uma forma geral a maior parte das entidades são descritas com elevado nível de detalhe por oposição à relação / interação entre entidades que apresenta baixo nível de detalhe.

Exemplos de modelos de tráfego mesoscópicos (Barceló et al., 1999):

- CONTRAM (Continuous Traffic Assignment Model);
- DYNAMIT-P, DYNAMIT-X, DYNASMART-P, DYNASMART-X;
- MesoTS.

2.3.2.3 Modelos Microscópicos

Os modelos microscópicos descrevem o tráfego de forma detalhada representando cada veículo com uma entidade própria e individualizada:

- Descrevem o movimento das viaturas individuais e o comportamento dos seus condutores;
- Capacidade de recriar, com elevado nível de precisão, sob a forma de rede enquanto objeto de estudo, o movimento individual dos veículos no sistema de tráfego;
- Ferramenta importante no contexto da engenharia de tráfego uma vez que permite o estudo de cenários, com elevada precisão e detalhe e, também, a análise de cenários alternativos.

Existe uma grande variedade de opções de modelos microscópicos pelo que serão apenas enumerados alguns exemplos de utilização mais frequente (Barceló et al., 1999):

- AIMSUN2 (Advanced Interactive Microscopic Simulator for Urban and Non-Urban Networks);
- CORSIM / TSIS (Traffic Software Integrated System);
- DRACULA (Dynamic Route Assignment Combining User Learning and Microsimulation);
- MIXIC;

- NEMIS;
- PARAMICS;
- SITRA B⁺;
- TRANSIMS;
- VISSIM;
- MITSIMLab.

Recentemente têm surgido outros modelos de microssimulação de acesso aberto (*open source*), nomeadamente:

- SUMO;
- A/B Street;
- OpenTrafficSim.

2.3.3 COMPARAÇÃO ENTRE OS VÁRIOS MODELOS

Os modelos de simulação de tráfego macroscópico são caracterizados por variáveis como: densidade/concentração, débito/fluxo, taxa de ocupação, velocidade média no espaço e no tempo. Estes modelos de simulação descrevem o tráfego com um elevado nível de agregação. Contudo, não são capazes de prever ou avaliar variáveis ao nível do veículo pelo que ações como a mudança de via e o consumo de combustível não são consideradas. Desta forma, requerem menor capacidade computacional tornando-se mais simples e rápidos. Por outro lado, os modelos microscópicos, pelo seu elevado nível de detalhe são particularmente úteis para testar a geometria da rede.

Assim, a escolha do modelo de simulação deve refletir de forma tão direta quanto possível a capacidade de dar resposta ao problema identificado de forma rápida e simples minimizando o custo e o erro associado à simulação. A complexidade do modelo deve limitar-se apenas ao necessário, uma vez que quanto mais complexo for mais recursos irá necessitar, mais difícil será o processo de calibração e maior será a probabilidade de ocorrência de erros por parte do modelador. Os projectos de simulação devem ser criteriosamente planeados de forma a que os recursos investidos sejam rentabilizados e otimizados.

Segundo Vilarinho (2008), a classificação de modelos é maioritariamente realizada em função do nível de detalhe. Este trabalho recorreu a um modelo microscópico pelo que este será aprofundado de seguida.

2.4 MODELOS MICROSCÓPICOS

Para Vilarinho (2008), os modelos microscópicos descrevem o tráfego de forma detalhada representando cada veículo como uma entidade própria e individualizada. A caracterização faz-se a nível espacial e temporal, tomando como exemplo, a mudança de via, a interação entre veículos e o intervalo crítico entre veículos. Este modelo depende do comportamento dos condutores e das características dos veículos, sendo as variáveis mais utilizadas: velocidade individual, tempo e distância entre veículos.

De acordo com o autor, a teoria de base destes modelos é designada por interação entre veículos e assenta na premissa de que o condutor reage de forma concordante com o veículo que segue à sua frente. Existem três sub-modelos que decorrem desta teoria: modelo da distância segura, modelo de estímulo-resposta e modelo do espaço.

Segundo (Barceló et al., 1999), as principais vantagens dos modelos de simulação microscópicos são:

- simulação de redes;
- previsão a curto prazo;
- afectação;
- fornecimento de dados a simuladores de condução automóvel.

Estes simuladores oferecem uma representação dinâmica do tráfego, comumente representada através de uma animação gráfica que possibilita uma mais fácil compreensão do comportamento do tráfego, decorrente da visualização.

Em virtude de apresentarem uma descrição do tráfego mais completa, estes modelos têm a vantagem de oferecer uma representação mais realista.

2.4.1 CALIBRAÇÃO E VALIDAÇÃO DE MODELOS DE MICROSIMULAÇÃO DE TRÁFEGO

Segundo Tavares (2003), o desenvolvimento de um modelo de simulação, depois da formulação da questão / problema e objetivos, compreende quatro etapas:

- **Construção:** conceptualização do modelo, recolha de dados, codificação da rede;
- **Calibração:**
 - Ajuste dos valores das variáveis para cumprir critérios de aproximação à realidade;
 - Quando os parâmetros possuem valores que se encontram dentro do intervalo dos limites aceitáveis o modelo é considerado calibrado;
 - A calibração é um processo fundamental, uma vez que, não é expectável que um modelo seja completamente apto para avaliar todas as condições de tráfego possíveis e por isso é na calibração que se consegue assegurar uma maior aproximação da realidade;
 - Os programas informáticos de modelos microscópicos de simulação possuem variáveis que podem ser definidas e alteradas pelo utilizador para proceder à calibração do modelo para as condições específicas do local;
 - De modo a facilitar o trabalho do modelador o programa possui valores definidos por defeito. No entanto, devem ser efectuados alguns testes de calibração para verificar se estes se adequam às condições locais;

- As variáveis ajustáveis podem ser divididas nas que afectam a simulação de um modo global e as que a afectam de uma forma mais localizada. As variáveis globais devem ser as primeiras a ser alvo de calibração. As variáveis locais são calibradas de seguida de modo a refinar os resultados.
- **Validação:**
 - Teste / avaliação da capacidade de previsão do modelo (recorrendo a informação diferente da utilizada na calibração);
 - Verificação de estimativas após calibração para assegurar capacidade de aplicação do modelo ao sistema em estudo;
 - Processo interactivo que compreende a calibração de parâmetros e a comparação do modelo com o comportamento do sistema real;
 - Frequentemente exige a repetição das fases anteriores até que a diferença entre o modelo de simulação e o sistema real consista num erro aceitável;
 - Este processo distingue-se em dois níveis: o conceptual e o operacional;
 - A validação conceptual define-se pela identificação e avaliação com base em fundamentos teóricos do modelo, como a teoria do escoamento de tráfego (*traffic flow theory*);
 - A validação operacional consiste num processo de comparação entre as medições do modelo de simulação e as medidas no sistema real;
 - A validação de um modelo de simulação não é um processo com uma solução binária, ou seja, válida ou inválida, depende do grau de certeza desejado que varia consoante o objetivo do modelo;
 - O processo de validação é constituído por duas etapas: escolha das variáveis a validar e os testes a realizar às variáveis escolhidas;
 - A segunda fase pode ser realizada a partir de análises de sensibilidade, análises da variância, testes estatísticos, análises de regressão, técnicas da série de tempos standard, entre outros. A escolha do teste depende do modelo de simulação usado e do seu propósito.
- **Aplicação:** utilização da microssimulação para apoiar o desenho de redes cicláveis, nomeadamente para testar o impacto que podem ter nos restantes utilizadores da rede viária.

De referir que, não obstante serem as etapas mais importantes do processo, a calibração / validação são condicionadas por limitação de recursos (humanos e financeiros) produzindo erros que se propagam / acumulam ao longo do todo o processo (propagação de erros de modelação).

Contudo, os erros são uma constante em qualquer modelo de simulação na medida em que para garantir a sua aplicabilidade, o comportamento dos transportes em contexto real é inevitavelmente simplificado (Ortuzar & Willumsen, 2011). O modelador tem então a função exigente de decidir quais as variáveis que irá introduzir no modelo interferindo com a fiabilidade dos resultados apresentados.

As variáveis sujeitas a calibração podem ser divididas por categorias, de acordo com a sua influência sobre os elementos da rede: variáveis globais, variáveis da seção e variáveis particulares do veículo tipo.

As variáveis globais influenciam todos os veículos que circulam na rede:

- Tempo de reação: capacidade da secção;
- Tempo de reação parado: capacidade da secção;
- Velocidade de saída de fila de espera: comportamento nas *yellow box*;
- Parâmetros do modelo de mudança de via: *Lane changing*, *%overtake* – percentagem de velocidade que o veículo decide ultrapassar entre [0;1] e *% recover* – percentagem de velocidade que o veículo decide reduzir entre [0;1];
- Parâmetros do modelo *“Two lane Car-Following”*: o número de veículos, a distância, a diferença máxima de velocidades.

As variáveis de secção influenciam todos os veículos, enquanto circulam numa secção da rede de determinada categoria:

- Velocidade máxima: tempo de viagem, velocidade média;
- Velocidade de viragem: capacidade de viragem, tempo de viragem, velocidade média;
- Distância de visibilidade: comportamento dos sinais verticais de controlo;
- Distância das zonas de mudança de via: proporções de viragem.

As variáveis particulares do veículo tipo influenciam todos os veículos quando circulando em qualquer segmento da rede:

- Velocidade máxima;
- Aceleração máxima;
- Desaceleração normal e máxima;
- Aceitação da velocidade;
- Comprimento do veículo: comprimento das filas de espera;
- Distância mínima entre veículos: capacidade;
- intervalo crítico.

2.4.2 VISSIM

Para esta dissertação optou-se por utilizar este *software* de microsimulação pela sua disponibilidade de licença em âmbito universitário.

Segundo Barceló (et al., 1999), VISSIM é o acrónimo de *“Verkehr In Städten Simulation”* que significa, em alemão, *“simulação de tráfego em áreas urbanas”*, e é um dos programas de simulação microscópica de tráfego mais usados no mercado. Foi desenvolvido e comercializado pela empresa alemã PTV – Planung Transport Verkehr AG e visa modelar a circulação de tráfego privado e público, rodoviário e ferroviário, em redes urbanas e interurbanas. Na sua última versão, este programa permite também simular o tráfego pedonal.

Este software é baseado num modelo microscópico de tráfego discreto, estocástico e em intervalos de tempo, pelo que considera unidades de veículos-condutores como entidades individuais.

O programa de simulação do VISSIM compreende dois programas distintos: simulador de tráfego microscópico e gerador de estado dos sinais luminosos. É uma ferramenta que possibilita testar e avaliar cenários de tráfego alternativos em situações complexas, numa escala de tempo com uma precisão superior ao segundo, antes da sua implementação.

Permite a apresentação de resultados, nomeadamente a decisores não técnicos, de forma simples e intuitiva (como seja, animações 3D e clips de vídeo) tornando-se assim numa preciosa ferramenta de apoio à decisão dos planeadores de sistemas de tráfego. É, desta forma, frequentemente utilizada ao nível do setor público, empresas de engenharia e universidades.

Este modelo de simulação pode ser aplicado em áreas de estudo como:

- Comparação da geometria de nós;
- Planeamento do desenvolvimento do tráfego;
- Análise de capacidade;
- Sistemas de controlo de tráfego;
- Operações de sistemas de sinalização;
- Simulação de transporte público.

Considerando o objectivo desta dissertação, o VISSIM parece ser adequado ao exercício que se pretende, designadamente, testar a viabilidade de diferentes soluções de desenho de ciclovias e avaliar o respetivo impacto nos restantes utilizadores da rede viária, num caso concreto de Lisboa, i.e., Av. de Roma.

2.5 MÉTODOS DE CONTAGEM

Através do Manual Anual do Planeamento de Acessibilidades e Transportes (Costa, 2008), a medição dos volumes de tráfego tem várias aplicações, nomeadamente, no estudo da procura em fase de planeamento das infraestruturas viárias, no seu projecto, exploração e manutenção, assim como na avaliação de medidas segundo critérios de eficiência, segurança rodoviária e impactes ambientais.

Convém, no entanto, distinguir a diferença entre a procura e os volumes de tráfego obtidos por contagem. Estes últimos não correspondem necessariamente ao valor da procura, pois este está condicionado pelos eventuais estrangulamentos que limitam a passagem de veículos.

Por exemplo, numa situação de congestionamento total, em que nenhum veículo passará no ponto de contagem a procura pode-se manter, no entanto, o volume de tráfego contado será zero.

Para a medição dos volumes de tráfego é fundamental dar informações precisas do que se pretende, concretamente, a duração do período de contagem, o espaço ocupado, a composição do tráfego, o tipo de

movimento, a afectação das vias e eventualmente a ocupação dos veículos se for importante a contagem de passageiros.

A procura nos sistemas de transportes está diretamente relacionada com as solicitações a que as infraestruturas e os serviços terão de corresponder.

É o grau de procura que irá caracterizar o sistema dando origem a diferentes soluções não apenas ao nível da oferta, mas, frequentemente, também ao nível da tecnologia e do modo de transporte. Por outro lado, a escala da oferta irá refletir-se também, inevitavelmente, na quantidade da procura.

Desta forma, o equilíbrio entre oferta e procura aquando do estudo da problemática e planeamento de soluções deverá sempre contabilizar os custos da oferta e as receitas que poderão ser obtidas em função da procura.

Pelo explanado anteriormente compreende-se a importância do estudo da procura em contexto de planeamento e para tal essa procura poderá ser estimada utilizando dois tipos de observação: sistemática e esporádica.

A observação sistemática compreende (Adaptado de Moura, 2021):

- Contagens periódicas (censos): seguem evoluções de fluxos (volumes), a longo prazo e podem ser simples (veículos motorizado por exemplo) ou classificadas (ligeiros e pesados);
- Contagens permanentes: permitem seguir evoluções de curto prazo e calibrar os modelos de atribuição na falta de contagens (exemplo, monitorização de fluxos de tráfego para deteção de incidentes e gestão em tempo (quase) real);
- Transações individualizadas: para efeitos de tarifação (bilhética s/ contacto)
- Inquéritos mais complexos: seguem evolução de hábitos de mobilidade a longo prazo
- Inquéritos Origem/Destino [O/D]: cobrem apenas a viagem intersectada;
- Inquéritos à mobilidade: cobrem as atividades de um conjunto de pessoas, família, e os seus hábitos de mobilidade (exemplo, todas as viagens de um dia).

Já a observação esporádica, utilizada no presente trabalho, compreende (Adaptado de Moura, 2021):

- Observação específica para apoio a uma decisão;
- Contagens não abrangidas por programas sistemáticos: secções sobre um cordão (itinerário), lineares (arcos ou segmentos da rede - *screenline*) ou direcionais (nos nós);
- Medições de velocidade;
- Inquéritos relativos a comportamentos em cada viagem: sem paragem dos condutores (deteção de matrículas num cordão, permite obter matriz de entradas / saídas), com paragem dos viajantes (origem, destino, motivo, permite obter matrizes de O/D, classificadas por motivos);
- Inquéritos à mobilidade: compreende uma determinada região;
- Inquéritos às opções de transportes das empresas numa determinada região.

Por forma a minimizar erros e otimizar resultados tão próximos da realidade quanto possível alguns cuidados devem ser considerados no tratamento da informação como seja:

- Informação sistemática:
 - Uniformidade de definições e procedimentos;
 - Registo e armazenamento seguro da informação recolhida e dos resultados dos seus processamentos;
 - Regras objetivas de acesso à informação;
- Informação esporádica:
 - Registo e armazenamento na definição e processo na recolha adotados;
 - Armazenamento seguro da informação recolhida (em bruto e após limpeza) de forma a permitir verificações e diferentes tipos de análise.

As técnicas de contagem de veículos podem ser manuais ou automáticas. Mais concretamente, podem implicar a presença de observadores no terreno ou serem obtidas recorrendo a imagens de vídeo. A escolha entre as diferentes técnicas depende dos recursos disponíveis, humanos e materiais, as características dos locais, a precisão pretendida para os resultados, o volume de dados necessários e a duração do período de aquisição de dados (Costa, 2008).

2.5.1 CONTAGEM MANUAL

As contagens manuais são realizadas no local mediante a presença de observadores.

É a forma mais simples de aquisição de dados, uma vez que não requer a colocação de nenhum equipamento de medição, e tem a possível vantagem de poder contar com a capacidade de observação humana, tornando possível, como por exemplo, a contagem de ocupantes nos veículos, a diferenciação dos veículos, entre outros atributos relevantes.

Como desvantagem, sempre que necessário um período de observação mais longo, este método de contagem deixa de ser viável.

Esta técnica implica uma fase inicial de aprendizagem, habitualmente através da realização de um ensaio piloto. Este vai permitir testar a exequibilidade desta técnica e proceder às correções necessárias de forma a estabelecer mecanismos de controlo que minimizem os erros e ou mesmo fraudes.

Na contagem manual, tendo como objectivo evitar a fadiga e conseqüente perda de concentração, devem ser proporcionadas condições de comodidade e segurança para os observadores.

Os registos são feitos em impressos criados para o efeito. Os observadores podem recorrer a equipamentos de contagem mecânicos (pressão num botão) ou eletrónicos (teclado, ecrã táctil, caneta de código de barras, etc). No caso do registo ser eletrónico, os dados obtidos podem ser facilmente transferidos para qualquer software de tratamento de dados.

2.5.2 CONTAGEM AUTOMÁTICA

Este método requer a instalação de equipamentos de medida no local de recolha de dados. São especialmente vantajosos para aquisição de informação em períodos de tempo mais longos (nomeadamente, observação sistemática e regular durante mais do que uma ou duas semanas). A precisão destes equipamentos é geralmente boa, sendo fácil a recolha e tratamento destes dados por software. Em geral a precisão obtida com os contadores automáticos é boa, sendo fácil tratar os dados recolhidos através de *software* próprio.

Uma possível desvantagem é a possível necessidade de interrupção do tráfego para a colocação dos mesmos. Para além disso, quando há necessidade de registar o seguimento da trajectória dos veículos, este tipo de equipamentos não permite fazê-lo.

Existem equipamentos com recurso a tecnologias diferentes, nomeadamente tubos pneumáticos, espira de indução, piezoeléctrico, magnético, infravermelhos e micro-ondas:

- Tubo pneumático — os veículos fazem pressão no tubo de borracha colocado no pavimento e o ar no interior do tubo vai actuar numa membrana que acciona um sinal eléctrico. Tem um custo baixo, mas tem menor precisão na contagem comparativamente a outras tecnologias.
- Espira de indução — baseia-se na criação de um campo electromagnético com a passagem do veículo (massa metálica) por uma espira (cabo eléctrico) enterrada no pavimento. Permite a classificação de veículos e medir velocidades desde que existam um par de espiras.
- Piezoeléctrico — o peso do veículo que passa sobre o equipamento cria um campo eléctrico proporcional à pressão exercida.
- Magnético — a passagem de um veículo (massa metálica) sobre uma placa magnética produz uma deformação no campo magnético que pode ser medida.
- Infravermelhos — a passagem de um veículo interrompe a radiação eletromagnética, sendo detectado por uma célula.
- Micro-ondas — A passagem de um veículo é assinalada por um emissor/receptor de ondas electromagnéticas da gama de frequências micro-ondas.

2.5.3 CONTAGEM A PARTIR DE IMAGENS VÍDEO

Este método de registo permite a gravação de correntes de tráfego para posterior análise. Este método não dispensa o observador para visualização e registo de dados, no entanto, não implica a presença do mesmo no local.

Assim, a análise e registo dos dados pode ser efectuada em qualquer altura. É também possível a revisão das imagens caso existam situações duvidosas.

O registo da informação pode ser manual, recorrendo a impressos próprios para o efeito ou recorrendo a um computador. Existe actualmente *software* que permite a análise e registo automatizados das imagens de vídeo.

2.6 SINAIS LUMINOSOS

As interseções da Avenida de Roma são maioritariamente semaforizadas (exceção para a interseção entre a Travessa Henrique Cardoso e a Av. de Roma), pelo que a semaforização assume um papel determinante no modelo em estudo.

O estudo da regulação de sinais luminosos é uma temática que requer a compreensão e domínio de determinados conceitos como seja (Quelhas, 2016):

- Semáforos: materialização dos sinais luminosos (luz verde permissão de passagem, luz amarela passagem proibida exceção situações em que não seja possível a paragem em segurança, luz amarela intermitente passagem permitida de forma cuidada e atenta respeitando as regras de prioridade e luz vermelha proibida a passagem); a implementação de semáforos deve salvaguardar sempre a não obstrução à circulação, deve ser sempre assegurada a perfeita visibilidade evitando dúvidas e incertezas na interpretação e reação por parte dos condutores a informação fornecida pelos mesmos;
- Movimentos direcionais: movimento efetuado por um ou mais veículos, na mesma via, na mesma direção;
- Correntes de tráfego: um ou mais movimentos direcionais, com movimento semelhante, capazes de receber informação de um mesmo sinal luminoso (ex. dois movimentos em frente, um movimento em frente e um de viragem, esquerda ou direita);
- Plano de regulação: fase, período de transição entre fases, tempo amarelo, tempo de limpeza, ciclo.
 - Fase: intervalo de tempo entre a emissão do sinal verde, para determinado movimento, e o término do sinal verde para esse mesmo movimento;
 - Período de transição entre fases: intervalo de tempo entre o término de verde de uma fase e o início de verde na fase seguinte com o objetivo de evitar conflitos entre movimentos consecutivos; composto por tempo de amarelo e tempo de limpeza
 - Tempo de amarelo: tempo necessário para o condutor reduzir a velocidade e parar em segurança antes do sinal transitar para vermelho; este intervalo de tempo deve corresponder a soma do tempo necessário à paragem completa do veículo mais o tempo necessário ao atravessar da interseção para situações em que o condutor opte por avançar por este se encontrar menor que a distância de paragem (por compreender variáveis de mensuração subjetiva é aceitável considerar um tempo de amarelo de 3 segundos para velocidades inferiores a 50km/h, 4 segundos para velocidade média de 50km/h e 5 segundos para velocidades acima de 60km/h)
 - Tempo de limpeza: este período é de extrema importância no plano de regulação de sinais luminosos na medida em que assegura que não existem incompatibilidade entre correntes que iniciam o movimento e as que terminam. Nas situações em que neste intervalo de tempo todos os sinais se encontram vermelhos dá-se o nome “tempo de tudo vermelho”;

- Ciclo: conjunto de fases que permite o plano de regulação; inicia-se em determinado momento e termina no momento em que se retoma o ponto inicial (homólogo do momento inicial);

3 METODOLOGIA

3.1 ABORDAGEM METODOLÓGICA

No fluxograma (figura 3) estão explanadas as várias etapas de construção e aplicação do modelo de simulação presente nesta dissertação.

O passo inicial consistiu na modelação da rede viária de base onde corre o modelo de simulação para o Cenário Base . Este cenário base pretende reproduzir a realidade da Av. de Roma cujos dados de mobilidade foram recolhidos através de contagens presenciais. Em paralelo, são definidos vários cenários de estudo para a inclusão da ciclovia. Estes cenários serão testados alterando, quer a rede viária, quer alguns parâmetros de simulação do cenário base.

A construção do modelo de base passou pela respetiva codificação (ou seja, parametrização dos arcos e conectores da rede, assim como dos veículos testados). Por forma a que o modelo de simulação reproduza da melhor forma a realidade observada, procede-se à calibração do modelo, procurando aproximar os resultados de simulação (por exemplo, fluxos nos arcos) com os dados recolhidos em campo.

Após a calibração, valida-se o modelo através do teste estatístico de GEH.

Com a ferramenta calibrada, procedeu-se à simulação dos cenários de estudo para as várias soluções de inclusão da ciclovia.

Com os vários cenários alternativos construídos, procedeu-se à análise e discussão dos respetivos resultados, comparando sempre o desempenho dos cenários alternativos com o cenário base, para um conjunto de indicadores de desempenho selecionados.

Por fim, a dissertação termina com um conjunto de conclusões sobre o trabalho apresentado.

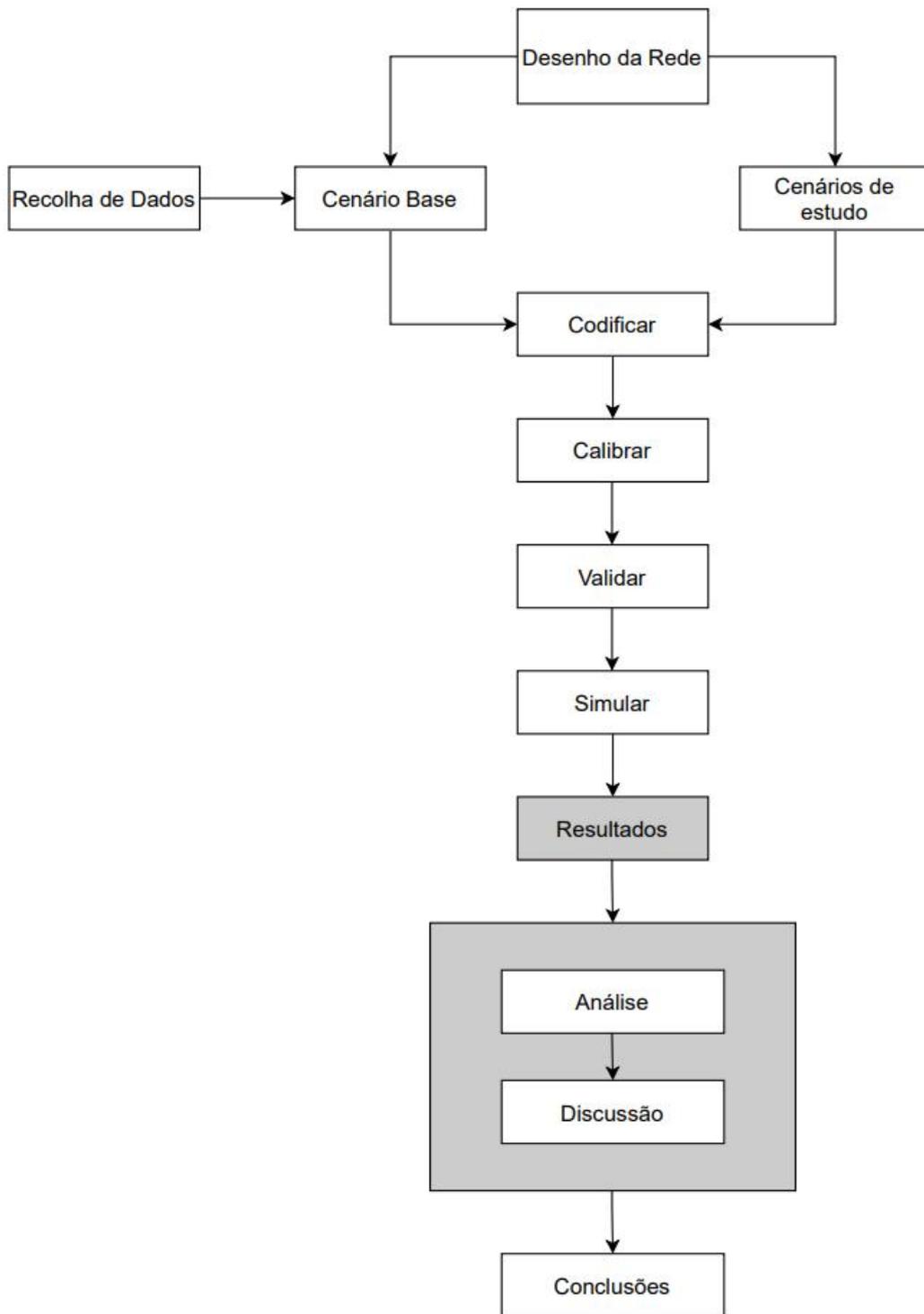


Figura 3 - Fluxograma

3.2 CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DO CASO DE ESTUDO

O projeto publicado pela Câmara Municipal de Lisboa “MOVE Lisboa – visão estratégica para a mobilidade 2030” compreende o projeto de implementação de ciclovias até ao ano de 2030 e esse projeto inclui uma intervenção na Avenida de Roma que será alvo desta dissertação. A Avenida de Roma (Figura 4) caracteriza-se por ser uma

das principais ruas da cidade de Lisboa com uma grande variedade de comércio e serviços. Estas características geram um grande fluxo de utilizadores, diariamente, o que gera tráfego e poluição que poderá ser reduzido com a implementação de uma ciclovia.

As características topográficas da cidade (declives / relevos) tornam o planeamento da mobilidade dos modos ativos, um verdadeiro desafio na medida em que para um ciclista de movimentos pendulares os trajetos com declives acentuados podem impossibilitar a sua deslocação. Por outro lado, em Lisboa 74% das vias têm um declive entre 0 e 5%, o que se considera adequado para deslocações em bicicleta (Félix 2012), e a área do caso de estudo insere-se num planalto da cidade, onde as vias são maioritariamente planas.

Tal como referenciado anteriormente, o objetivo desta dissertação é realizar a análise da implementação de uma ciclovia, através do simulador VISSIM, recriando a rede existente e analisando possíveis cenários da implementação da ciclovia.

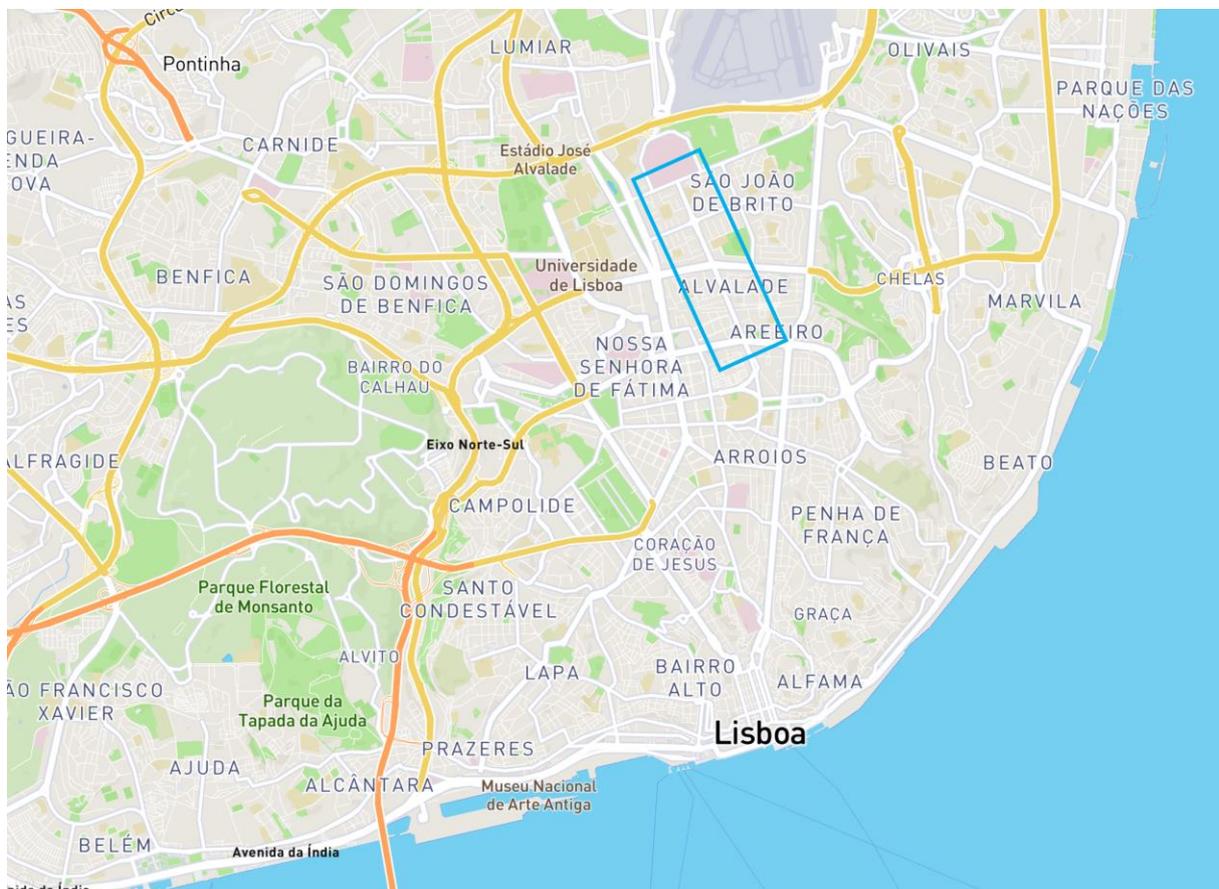


Figura 4 - Área do caso de estudo (assinalada com o retângulo azul)

A Av. de Roma, a nível hierárquico da rede, tem, em toda a sua extensão, nível 3. As perpendiculares: Av. da igreja, Av. Estados Unidos da América e Av. João XXI são igualmente de nível 3, sendo que as restantes perpendiculares à Av. de Roma são de nível 4 e 5 (Figura 5).

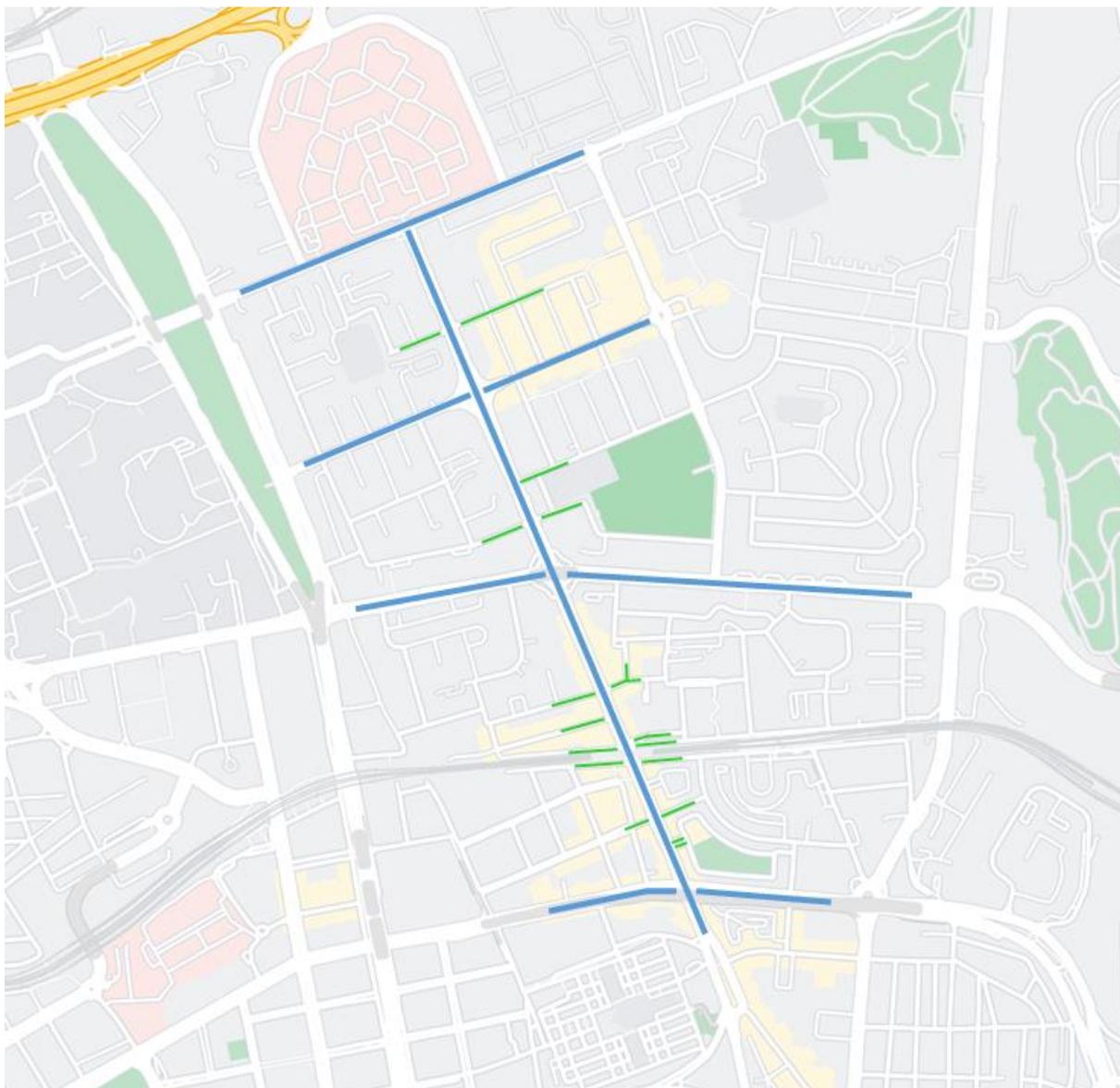


Figura 5 - Vias do caso de estudo. A azul assinalam-se as vias com nível hierárquico 3 e a verde as vias de nível hierárquico 4 e 5

3.3 RECOLHA DE DADOS

A recolha de dados de tráfego foi efetuada diretamente no local, ao longo de uma semana (20 a 22 de julho de 2021), no período das 7:30 às 9:30, por ser o intervalo de tempo correspondente à maior hora de ponta do dia, ao longo do qual seja previsível um maior de fluxo de tráfego e respetiva carga sobre a rede.

Para cada uma de um total de 12 interseções da Avenida de Roma, foi efetuado um vídeo com a duração de 15 minutos, onde era possível observar todos os movimentos permitidos em cada interseção. Posteriormente, foram visualizadas as gravações e efetuada a contagem do volume de tráfego que entra e sai da interseção e respetivas rotas (Anexo A). À informação recolhida foi aplicado um coeficiente de proporcionalidade (4 vezes) de forma a obter os valores médios de volume de tráfego por hora.

Na figura 6 está apresentada um exemplo de contagem na interseção entre a Av. do Brasil e a Av. de Roma.

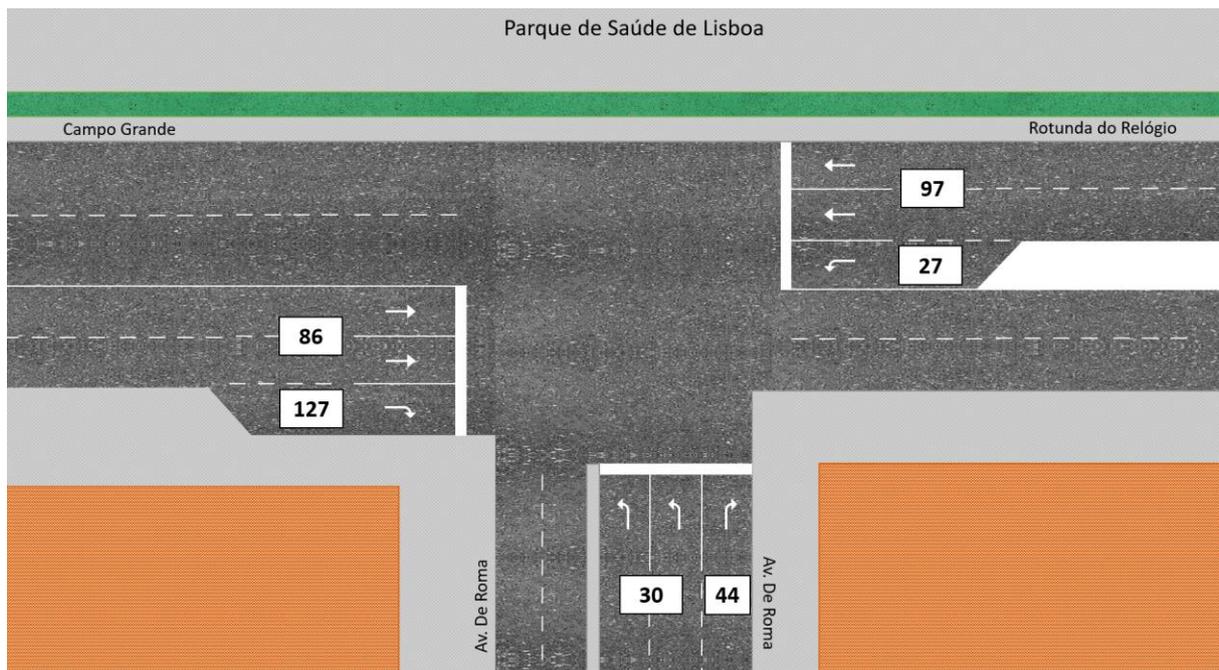


Figura 6 - Exemplo da contagem na Avenida do Brasil (15 min)

Durante o período de recolha de dados foram contabilizados também os ciclos dos semáforos (total de 137) e cronometrados os tempos das fases de cada interseção semaforizada.

Os dados referentes aos ciclistas foram extraídos da contagem manual realizada pelo CERIS (IST) em Outubro de 2020 (período das 8h-10h e das 17h-19h). Apesar destas observações terem sido efetuadas em diversos pontos da cidade de Lisboa, apenas foi utilizada a informação referente à zona de estudo no eixo da Av. de Roma em 5 locais de interseção com a mesma: Av. Brasil, Praça de Alvalade, Av. Frei Miguel Contreiras (Estação Roma-Areiro), Av. Óscar Monteiro Torres e Praça de Londres.

3.4 DEFINIÇÃO DE CENÁRIOS

Foram definidos 4 cenários, não cumulativos, com o objetivo de conseguir concluir quais as alterações, no tráfego da Av. de Roma, devido à alteração da velocidade máxima e respetiva onda verde, bem como a da criação de uma ciclovia, retirando uma via.

Cenário para validação

Este cenário procura traduzir, da forma mais próxima da realidade observada todos os volumes de tráfego, interseções semaforizadas e número de vias que se encontram no local. Serve somente para a validação do modelo de simulação.

Cenário Base

O cenário base do caso de estudo deriva do aumento em 30% do tráfego do cenário para validação, tentativa de aproximação do contexto de pandemia à realidade pré-pandémica, pois as contagens foram feitas numa situação

de pandemia e por isso os volumes de tráfego foram naturalmente mais baixos e não traduziriam a situação normal da ponta horária. Assim, as modificações propostas não simulariam uma situação que, já de si, seria de potencial congestionamento. Para evitar essa sub-avaliação sugeriu-se o aumento de 30% do tráfego contado.

Cenário 2

Este cenário é uma variante do Cenário Base e pretende simular a solução mais simples no sistema que é a da redução da velocidade de circulação e, por essa via, compatibilizar a circulação de bicicletas com veículos motorizados, segundo as orientações da figura 2.

A redução de velocidade imposta foi de 50km/h para 30km/h para existir uma coexistência com as bicicletas mais segura. Foram também ajustadas as interseções semaforicas para alterar a onda verde do Cenário Base (50km/h para 30km/h).

Cenário 3

No cenário 3, fez-se a introdução de uma pista ciclável bidirecional no sentido Sul – Norte da Av. de Roma (sentido de menor volume de tráfego), retirando a via de tráfego interior (mais à esquerda). Esta hipótese de cenário faz prever um aumento do volume de ciclistas (indução de procura de ciclistas nesta via), pelo aumento da atratividade, com a criação da ciclovia, pelo que foi introduzido um aumento de 100% do volume de ciclistas. Manteve-se, contudo, o volume de tráfego automóvel, pois não se sabe que alterações estes iriam apresentar. Em relação à velocidade máxima permitida, manteve-se a do cenário base.

Cenário 4

Em relação ao último cenário, este deriva do cenário 3 com as mesmas alterações entre o cenário base e o cenário 2. A velocidade máxima dos veículos motorizados teve uma redução para 30km/h bem como o reajustamento da onda verde (mantendo-se o aumento em 100% do volume de ciclistas).

Optou-se por colocar a ciclovia na via da esquerda para minimizar os conflitos (entre todos os intervenientes). As paragens de autocarro, o estacionamento automóvel e as viragens à direita iriam provocar mais zonas de conflito entre os automóveis e os ciclistas (quando comparado com a solução apresentada), reduzindo assim a segurança global da rede. Em contrapartida, as viragens à direita das bicicletas ficam prejudicadas, foi então necessário proteger este movimento com fases próprias nos ciclos semaforicos.

É possível, nas figuras (7,8,9 e 10), ver a solução enunciada para 4 interseções na Av. de Roma: Av. do Brasil, Av. da Igreja, Estação de comboios de Roma-Areeiro e com a Av. João XXI.

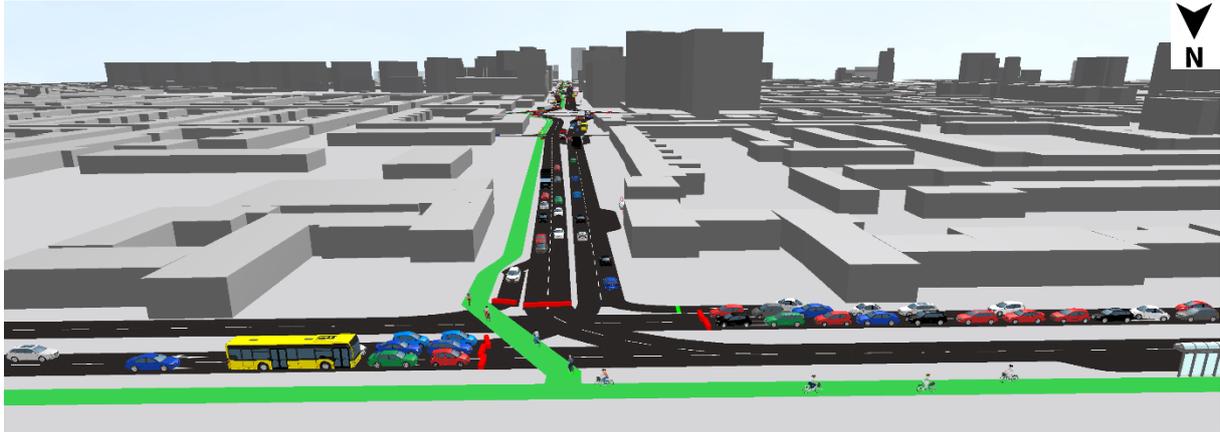


Figura 7 – Solução ciclovía na Av. do Brasil (VISSIM)



Figura 8 – Solução ciclovía na Av. da Igreja e corte A – A' (VISSIM)

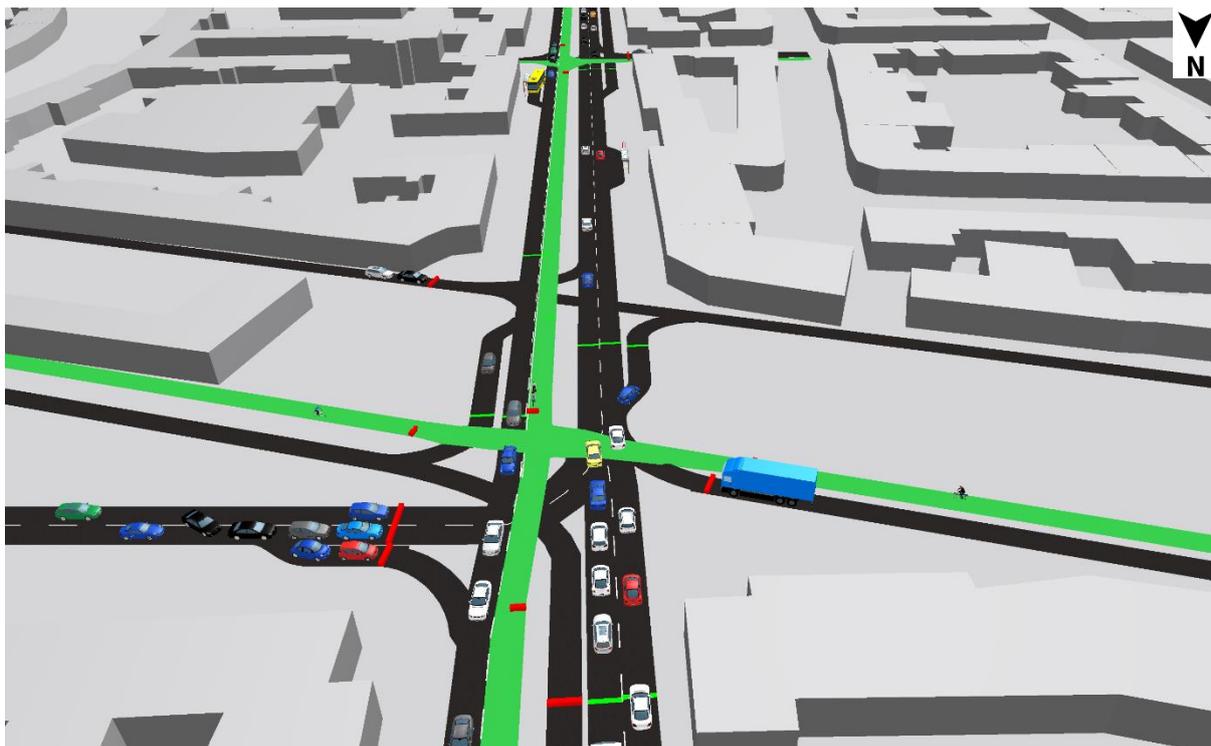


Figura 9 – Solução ciclovía na estação de comboios de Roma-Areeiro (VISSIM)

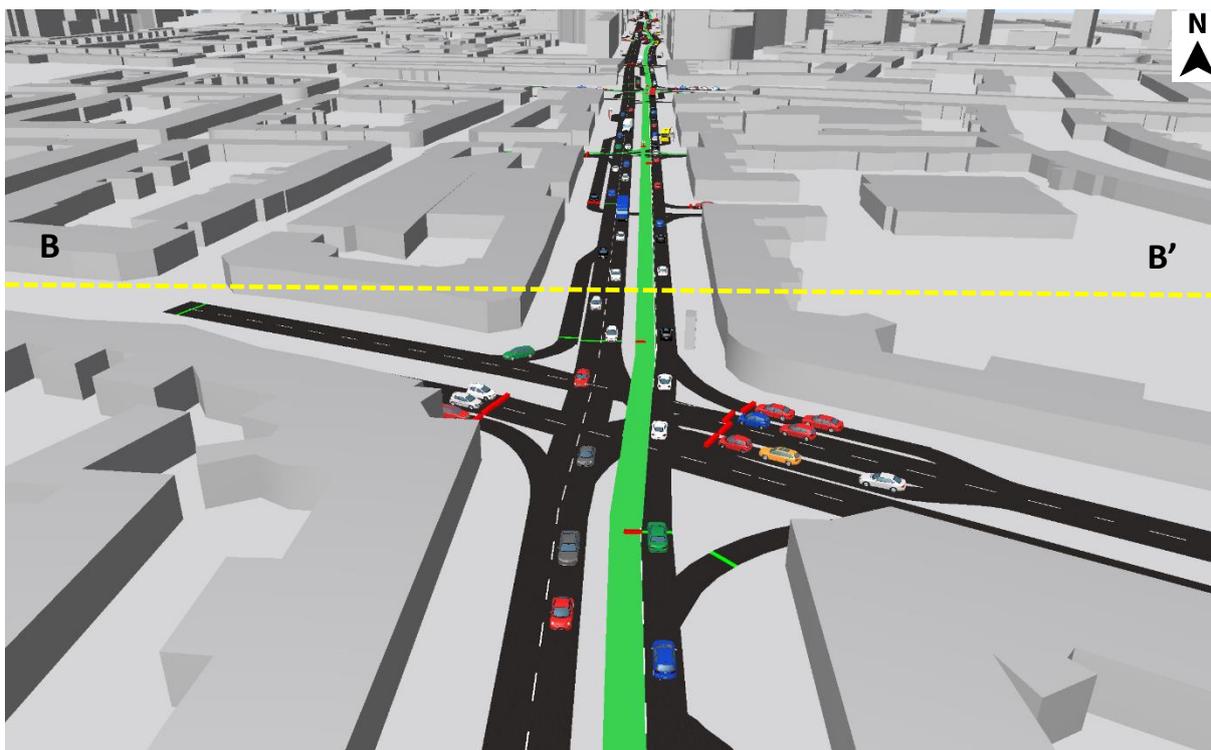


Figura 10 – Solução ciclovía na Av. João XXI e corte B – B' (VISSIM)

De ressaltar que, em ambos os cenários (3 e 4), foi também necessário modificar o plano de fases semaforicas por causa da introdução da ciclovía. Para estes mesmos cenários o volume de tráfego automóvel não foi alterado, pois quando há restrições às condições de circulação, podem verificar-se 3 fenómenos: desvio da rota, supressão

da viagem ou transferência para outro modo de transporte. A supressão da viagem é indesejável pois significa uma potencial perda de atividade. Como não era possível quantificar a mudança, optou-se por manter o volume (cenário mais desfavorável).

De seguida são apresentados dois perfis transversais da Av. de Roma (corte A – A' e corte B – B' das figuras 8 e 10 respetivamente), onde é apresentada a solução da ciclovia (Figura 11 e 12). De salientar que para todos os cenários foram cumpridas as orientações de desenho da CML, tanto para a ciclovia como também para o tráfego banalizado (CML, 2015; IMTT, 2011).



Figura 11 - Perfil transversal (Corte A – A')

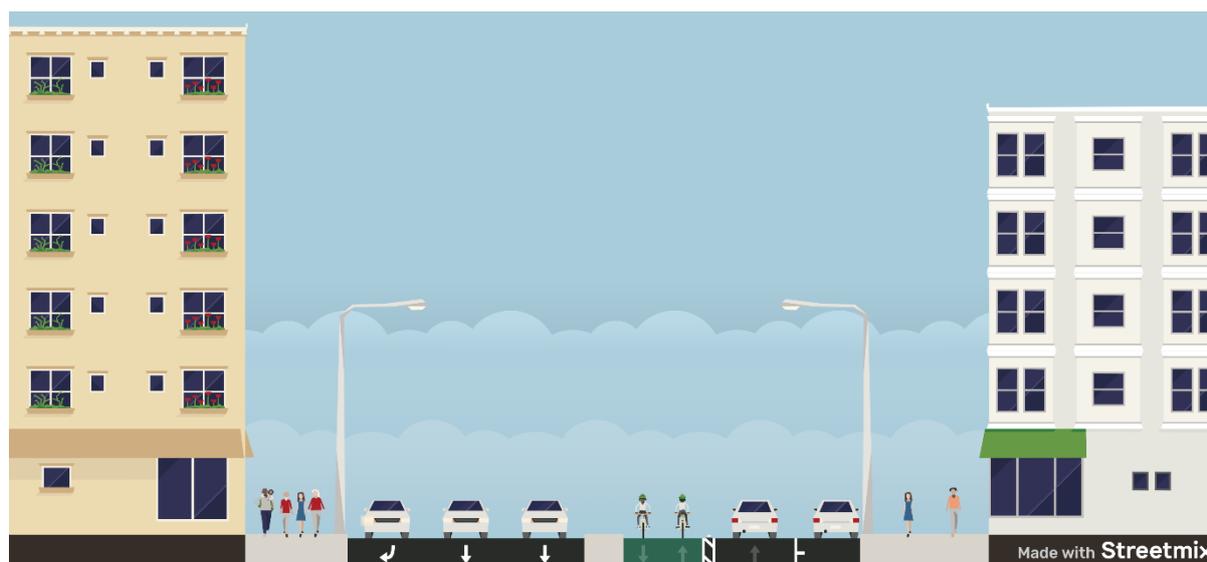


Figura 12 - Perfil transversal (Corte B - B')

3.5 CALIBRAÇÃO (VISSIM)

3.5.1 INTERVALO DE TEMPO DA AVALIAÇÃO

O período avaliado corresponde ao intervalo de tempo entre as 7:30 e as 9:30 horas da manhã (hora de ponta da manhã). Optou-se pelo período da manhã por ser o período em que as movimentações estão mais concentradas, contrariamente ao período da tarde no qual se verifica uma maior distribuição do tráfego devido à maior variabilidade de horários de regresso a casa.

3.5.2 DYNAMIC ASSIGNMENT VS. STATIC ASSIGNMENT

A forma como os veículos circulam na rede pode seguir uma distribuição dinâmica (*dynamic assignment*) ou uma distribuição estática (*static assignment*) (Pinheiro, 2018).

A diferença entre estes dois modos de circulação prende-se com a escolha do trajeto a realizar do ponto A para o ponto B. Numa distribuição estática, o caminho a realizar pelo condutor vai ser pré-definido pelo programador da simulação e não contempla qualquer processo de decisão por parte do condutor. É utilizado sempre o mesmo caminho. Por outro lado, numa distribuição dinâmica, a simulação da rota escolhida pelo condutor poderá variar dependendo dos pesos definidos para cada variável de escolha do melhor caminho. Esta distribuição do tráfego é realizada através de um processo iterativo em que para cada iteração, devido às alterações do tráfego na rede, é calculada uma nova rota atendendo a esses pesos. Quanto maior for uma rede, maior o número de possibilidades de rotas, para um par origem – destino. Assim, a dimensão de determinadas redes condiciona a possibilidade de utilização de uma distribuição estática pelo elevado número de possibilidades de rotas.

Na rede em estudo, não há alternativas de rotas para os pares origem-destino uma vez que foi recolhido no local a distribuição do volume de tráfego para cada rota. Desta forma, esta dissertação assenta numa escolha estática de rotas.

3.5.3 TRATAMENTO DA REDE

3.5.3.1 Áreas de conflito

As áreas de conflito são áreas em que há conflito de movimentos e são definidas, automaticamente, pelo simulador VISSIM.

Por definição, as áreas de conflito são apresentadas com a cor amarela (embora também possam estar a vermelho ou verde). Este código de cores serve para representar o tipo de comportamento de cada condutor em relação ao que se encontra em conflito.

Na figura 13 são apresentadas as combinações de cores possíveis, nas áreas de conflito. No caso A, ambos os movimentos estão a amarelo (situação de passividade, não existe qualquer movimento prioritário; visto que no VISSIM não há colisões entre veículos, nesta situação o tráfego não para); no caso B, ambos os movimentos a vermelho, o comportamento dos condutores é diferente, um veículo só ultrapassa a área de conflito se tiver oportunidade de passar (não existe regra definida de prioridade, como no código da estrada, pois é o veículo que chega primeiro à interseção que tem a prioridade). Os últimos dois casos, são idênticos, muda apenas o movimento que tem prioridade. O movimento a verde tem sempre prioridade sobre o vermelho; este último só ultrapassa a área de conflito quando tiver condições para o fazer. Esta decisão baseia-se no modelo *gap acceptance*. Se porventura o veículo com prioridade chegar à área de conflito e tiver o seu movimento obstruído, ele vai abrandar ou até mesmo parar até a área estar livre, segundo o mesmo modelo.

Neste trabalho, as áreas de conflito foram modeladas de acordo com a realidade:

- Dar prioridade a todas as vias que por consequência de sinais de cedência de passagem noutras vias tenham prioridade;
- Dar prioridade a quem se apresenta pela direita em todos os casos em que o ponto acima não se aplica.

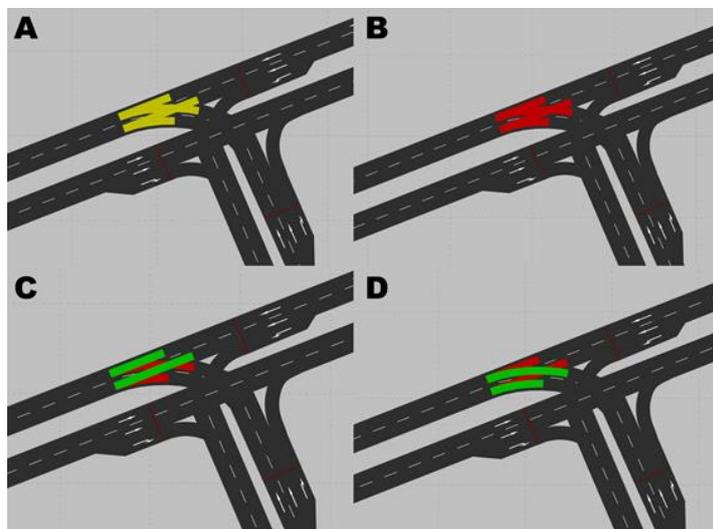


Figura 13 - Zonas de conflito

3.5.3.2 Zonas de redução de velocidade

No Vissim, independentemente do traçado, a velocidade que foi definida para cada modo de transporte é a velocidade a que os veículos se deslocam, isto se não houver qualquer impedimento à sua circulação. É por isso necessário definir zonas em que as velocidades praticadas não são as máximas permitidas, mais concretamente nas curvas, onde não é esperado que um veículo circule sem reduzir a sua velocidade. Foi então necessário para todas as curvas do modelo definir estas áreas e a respetiva redução da velocidade para cada modo de transporte (Figura 14).

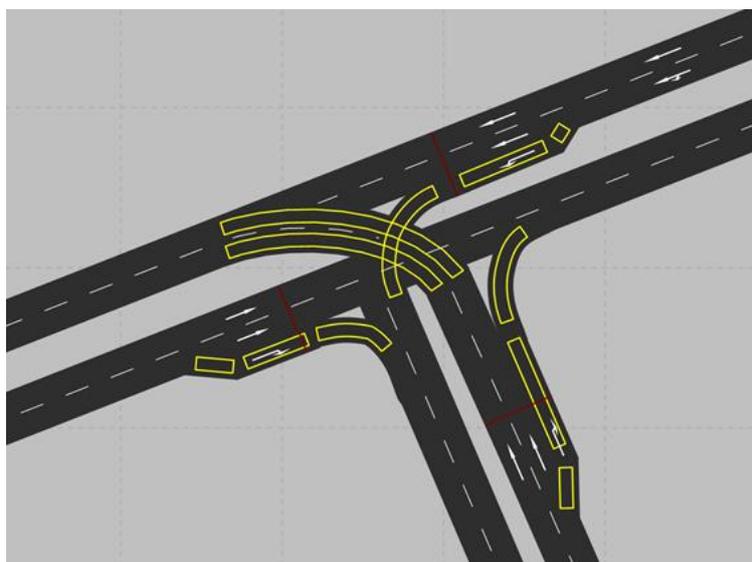


Figura 14 - Zonas de redução de velocidade

3.5.3.3 Transportes públicos

Os transportes públicos têm influência direta no comportamento dos fluxos de tráfego, visto que são veículos mais longos, velocidades e acelerações (de arranque / travagem) mais reduzidas que os modos individuais.

A zona de estudo apresenta um número de transportes públicos considerável que foram introduzidos no modelo de simulação (Quadro 2).

Quadro 2 - Carreiras e percursos dos TP

Carreira	Sentido (ou inverso)
717	Praça do Chile - Fetais
722	Praça de Londres - Portela
727	Estação Roma Areeiro - Restelo
731	Av. José Malhoa - Moscavide Centro
735	Cais Sodré - Hospital Santa Maria
750	Estação Oriente - Algés
755	Poço Bispo - Sete Rios
756	Olaias - Junqueira
767	Campo Mártires Pátria - Reboleira Metro
783	Amoreiras - Portela/Prior Velho

No modelo de simulação foram introduzidos os locais de paragens dos autocarros bem como as bolsas de paragem dos mesmos, bolsas estas que quando não existentes provocam uma obstrução à passagem dos veículos.

As rotas de todos os TP foram criadas manualmente uma vez que apresentam uma distribuição estática (*static route*). Desta forma, assegura-se que, tal como em contexto real, os TP irão percorrer sempre rotas e horários pré-definidos durante a simulação, independentemente do tráfego existente.

De seguida, foi definida a entrada dos autocarros na rede o que exigiu a recolha dos dados referentes aos horários dos TP, disponíveis na página da internet da Carris, referentes ao intervalo entre as 7:30 e as 9h30 (período de simulação).

3.5.3.4 Peões

Os peões não foram considerados na realização deste trabalho por não se enquadrarem no âmbito do estudo.

3.5.3.5 Semáforos

Como referido na recolha de dados, todos os ciclos das interseções foram cronometrados. Para tal, foram gravados em vídeo todos os semáforos durante, pelo menos, dois ciclos para, posteriormente, serem analisadas as gravações e retirados os tempos de verde de cada uma das fases.

Em seguida, depois das fases de cada interseção estarem definidas e através do auxílio das filmagens das contagens do tráfego, onde é possível observar todos os movimentos da interseção, procedeu-se à elaboração da sequência das fases, completando assim o ciclo.

Na figura 15 é apresentado o plano de fases dos semáforos da interseção entre a Av. Brasil e a Av. De Roma. É possível verificar a existência de 6 fases, identificadas com o sentido do movimento realizado.

Por exemplo, para a fase 1, “E-O”, o movimento que está afetado a essa fase é o movimento efetuado de este para oeste, na Avenida do Brasil. Na fase 5, “Roma-Brasil E” os veículos dirigem-se para a Avenida do Brasil provenientes da Avenida de Roma com o objetivo de virar à esquerda.

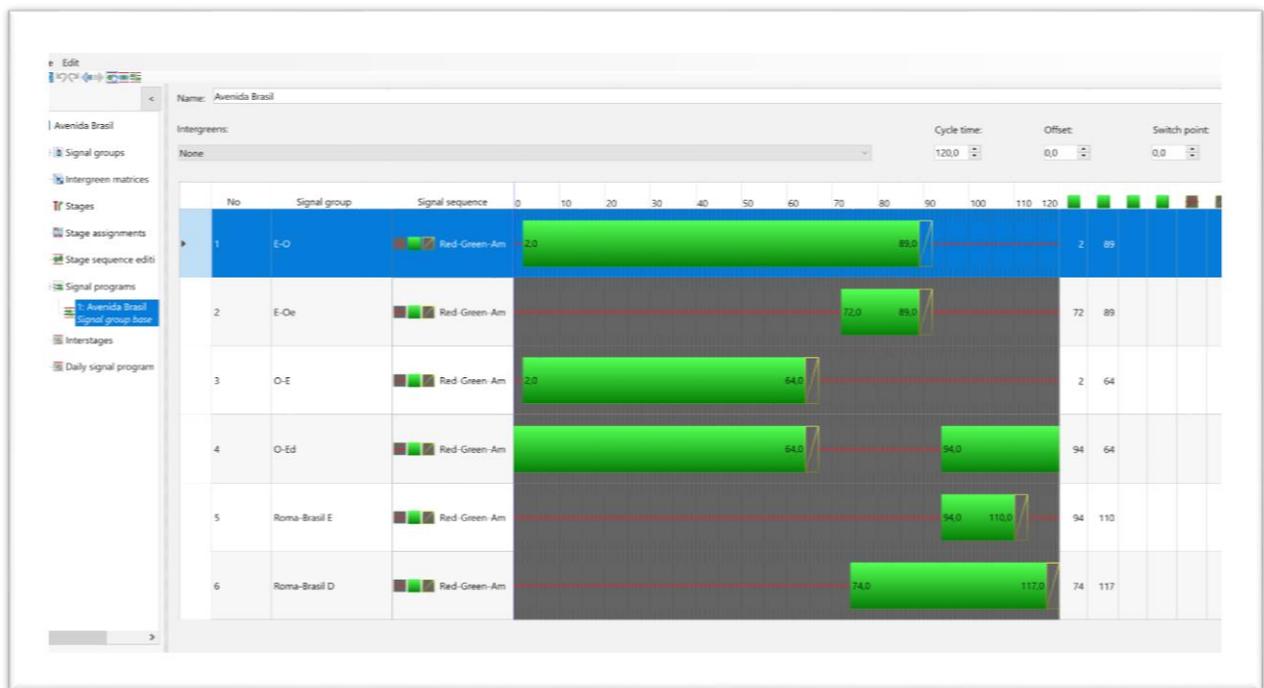


Figura 15 – Plano de fases semafóricas da interseção da Av. do Brasil com a Av. de Roma (VISSIM)

3.6 VALIDAÇÃO (VISSIM)

Após a calibração do modelo de simulação é necessário proceder à validação. A validação consiste no processo de verificação do modelo calibrado com o objetivo de avaliar a sua capacidade de previsão, em cenários diferentes do utilizado na fase da calibração. Esta etapa pretende assegurar que as conclusões obtidas pelo modelo são aplicáveis ao sistema em estudo.

As variáveis maioritariamente consideradas nesta etapa do processo de simulação são: volumes de tráfego, velocidades e filas de espera com destaque para o volume de tráfego (J. P. Tavares & João, 2015). Desta forma, foi com base nos volumes de tráfego modelados que se efetuou a validação do modelo em estudo, i.e., comparação dos volumes simulados com os volumes observados (contagens) através do índice GEH (iniciais do nome do engenheiro de transportes, Geoffrey E. Havers).

O Índice GEH é um método estatístico, baseado no teste do chi-quadrado, usado para comparar volumes de tráfego modelados e observados (contagens). Este índice pode ser calculado para cada secção ou para toda a rede (Vilarinho, 2008) através da seguinte fórmula.

$$GEH = \sqrt{\frac{2 * (x_i - y_i)^2}{(x_i + y_i)}} \quad (1)$$

Em que x_i representa o número de veículos contados nas observações para um certo local e y_i o número de veículos obtidos nas simulações para esse mesmo local.

A fórmula apresentada foi elaborada por Geoffrey E. Havers (1970) e consiste na raiz quadrada da diferença absoluta ($x_i - y_i$) pela diferença relativa $\frac{2*(x_i-y_i)}{(x_i+y_i)}$. A presente fórmula permite ainda considerar que o índice GEH incorpora os erros relativos e os erros absolutos.

A diferença relativa é calculada pela média dos valores observados e modelados (no denominador) visando minimizar erros caso algum destes valores seja nulo (Vilarinho, 2008).

A utilização desta fórmula procura colmatar a incapacidade da diferença absoluta / relativa lidar com uma vasta gama de fluxos de tráfego (Morgan & Veysey, 2013).

Existem diferentes abordagens relativamente ao valor a adotar para o índice GEH. Morgan e Veysey (2013) definem que um valor do índice GEH inferior a 5 para 95% dos casos de uma secção individual é um valor aceitável. No entanto, Dowling (et al., 2004) definem o mesmo intervalo de valores, contudo, aceitam que seja relativo a apenas 85% dos casos.

Para efetuar então a comparação dos volumes de tráfego, foram inseridos, no modelo de simulação, pontos virtuais de contagem em todas entradas e saídas das interseções (54 pontos de contagem distribuídos por 103 vias) e efetuadas 30 simulações para um intervalo de tempo de 15 minutos (período correspondente ao tempo das contagens).

No quadro seguinte é possível verificar os valores obtidos através da simulação, os valores obtidos nas contagens e por fim o GEH. Os resultados do GEH inferiores a 5 aparecem com a célula com preenchimento a verde; entre 5 e 10 a amarelo e por fim, maior que 10 a laranja.

Quadro 3 - Resultados GEH

Pontos de contagem	Nº de carros da simulação	Nº de carros observado	GEH	Pontos de contagem	Nº de carros da simulação	Nº de carros observado	GEH
1	182	159	1,78	28	87	135	4,56
2	275	266	0,53	29	122	126	0,38
3	164	155	0,71	30	35	54	2,81
4	227	163	4,62	31	61	60	0,13
5	150	154	0,35	32	26	38	2,04
6	123	93	2,94	33	163	241	5,50
7	12	3	3,53	34	149	190	3,15
8	32	21	2,08	35	5	6	0,53
9	121	154	2,79	36	111	110	0,10
10	140	69	6,97	37	20	20	0,00
11	86	68	2,11	38	17	29	2,46
12	23	24	0,16	39	74	34	5,48
13	118	154	3,07	40	69	69	0,03
14	221	94	10,14	41	216	204	0,85
15	68	46	2,88	42	90	111	2,12
16	59	58	0,20	43	25	26	0,25
17	24	25	0,20	44	5	6	0,53
18	22	23	0,11	45	6	6	0,10
19	28	23	1,09	46	14	31	3,63
20	138	173	2,77	47	74	79	0,54
21	206	113	7,41	48	213	169	3,20
22	146	200	4,11	49	55	53	0,34
23	228	263	2,20	50	46	44	0,34
24	31	48	2,63	51	93	90	0,31
25	110	109	0,12	52	51	46	0,68
26	164	176	0,94	53	229	190	2,69
27	147	209	4,63	54	61	58	0,45

Como se obteve 49 em 54, pontos de contagem, inferiores a 5, ou seja, uma percentagem a rondar os 91% pode-se afirmar, segundo Dowling (et al., 2004), que o modelo está validado.

3.7 INDICADORES DE DESEMPENHO

Para a escolha dos indicadores de desempenho foi necessário, a priori, saber que indicadores eram possíveis retirar do VISSIM. Posto isto e em concordância com os objetivos do trabalho, sendo o principal, analisar os impactos que a criação de uma via segregada para bicicletas gera na Avenida de Roma, definiram-se os seguintes:

- **Tempo de atraso (s)** – tempo total de percurso menos o tempo que um veículo demora a concluir esse percurso, em condições ideais (não existência de semáforos e não existência de tráfego);
- **Atraso devido a paragens (s)** – tempo total de atraso em que o veículo se encontra parado;
- **Número de paragens** – número de vezes em que um veículo fica imóvel;
- **Velocidade (km/h);**
- **Veículos ativos** – número de veículos que estão no sistema no momento do término da simulação;
- **Veículos chegados** – número de veículos que terminaram a viagem;
- **Atrasos de entrada (h)** – tempo total de atraso para cada veículo entrar na simulação;
- **Procura não satisfeita** – número de carros que não chegam a entrar na simulação devido ao atraso de entrada;
- **Tamanho médio da fila (m)** – tamanho médio da fila, em metros, do semáforo indicado;
- **Tamanho máximo da fila (m)** – tamanho máximo da fila, em metros, do semáforo indicado;
- **Tempo de percurso (s)** – tempo total, desde o início até ao fim do percurso.

4 APRESENTAÇÃO E DISCUSSÃO DE RESULTADOS

Foram feitas 30 simulações para cada cenário, simulações essas que demoraram 8100s, ou seja, duas horas e quinze minutos, para nos primeiros quinze minutos da simulação haver um aquecimento da rede. Este aquecimento serve para, aquando do início da medição dos resultados, a rede já estar carregada com carros ativos, pois caso contrário a rede iria estar vazia, sem os constrangimentos naturais de uma hora de ponta matinal, e poderia enviesar os resultados.

Como foi enunciado anteriormente estes cenários foram todos efetuados com rotas estáticas e por isso para a obtenção dos resultados foi necessário definir rotas para poderem ser, posteriormente, retirados os valores dos indicadores dessas mesmas rotas.

Recapitulando os 4 cenários:

- Cenário base: sem ciclovia com velocidade máxima de 50km/h;
- Cenário 2: sem ciclovia com velocidade máxima de 30 km/h;
- Cenário 3: com ciclovia com velocidade máxima de 50km/h;
- Cenário 4: com ciclovia com velocidade máxima de 30 km/h.

4.1 RESULTADOS GERAIS DA REDE

Os quadros 4 e 5 apresentam um resumo dos resultados decorrentes da simulação efetuada. Para a análise e discussão foram selecionados os indicadores:

- Atraso médio (s);
- Atraso médio devido a paragens (s);
- Número de paragens médio;
- Velocidade média;
- Veículos ativos;
- Veículos chegados;
- Atrasos de entrada no sistema (h);
- Procura não satisfeita.

Estes indicadores serão analisados e discutidos de seguida. Todos os indicadores que contenham resultados médios englobam a totalidade de classes de veículos presentes na simulação.

Quadro 4 - Resultados gerais da rede 1

CENÁRIO	Atraso médio (s)		Atraso médio devido a paragens (s)	Nº de paragens médio	Velocidade média (km/h)			
					Modelo		Automóvel	Bicicleta
CENÁRIO BASE	115,24		82,86	3,14	13,43		13,67	10,77
CENÁRIO 2	107,18	6,99%	82,03	3,21	12,19	9,21%	12,31	10,95
CENÁRIO 3	148,31	-28,70%	108,19	4,18	10,87	19,02%	11,03	10,08
CENÁRIO 4	145,64	-26,38%	113,05	4,39	9,84	26,72%	9,89	10,10

De acordo com a simulação efetuada o maior atraso médio surge no cenário 3: 148,31s. O menor atraso médio verifica-se no cenário 2. O menor atraso neste cenário, quando comparado com o cenário base, decorre do facto de, apesar da velocidade permitida ser superior (CB: 50km/h; cenário 2: 30km/h), em média essa velocidade não ser atingida por grande parte dos veículos por efeitos de pelotão e paragem nos semáforos. Verifica-se que a velocidade média nos cenários sem ciclovia, i.e., CB vs. C2, ser 13,43 km/h vs. 12,19 km/h, respetivamente.

Na comparação do cenário base, o cenário 2 (sem ciclovia com veículos a 30km/h) teve um ganho de 6,99% nos atrasos médios, ou seja, foi mais favorável.

Os cenários 3 e 4 (com ciclovia), apresentaram um agravamento da variável em análise quando comparadas com o cenário base (sem ciclovia a 50km/h): 28,70% e 26,38%, respetivamente.

Desta forma, o cenário 4 (ciclovia com veículos a 30km/h) parece ser o cenário mais favorável nos atrasos médios para os cenários com ciclovia.

De referir que o atraso médio é uma variável que, pela sua própria definição, não deve ser comparada de forma direta e descontextualizada entre os diferentes cenários.

A diminuição do tempo médio de atraso de C2, quando comparado com CB, poderia numa primeira leitura remeter para um tempo de viagem mais curto, contudo, viagem tal não é necessariamente verdade na medida em que outras variáveis devem, também, ser consideradas. Sendo o tempo médio de atraso igual à diferença entre o tempo de viagem e o tempo ótimo de viagem (sem semáforos e sem tráfego) então, ele não depende direta e exclusivamente do tempo de viagem, mas também do tempo ótimo de viagem. Por sua vez, o tempo ótimo de viagem dependerá da velocidade máxima permitida. Desta forma, se a velocidade média for idêntica em dois cenários, mas a velocidade máxima diferir isso terá inevitavelmente repercussões no tempo médio de atraso inviabilizando uma análise direta dos valores apresentados. Situação semelhante ocorre relativamente ao cenário 3 e cenário 4.

Comparando os tempos de paragem dos veículos, o maior valor encontra-se nos cenários base e 2 (82,86s e 82,03s, respetivamente) vs. 3 e 4 (108,19s e 113,05s, respetivamente). Verifica-se que o maior tempo médio de atraso acontece nos cenários com ciclovia o que corresponde às expectativas iniciais uma vez que os cenários com ciclovia têm ciclos semaforicos mais longos, designadamente para os ciclistas.

O número de paragens nos diferentes cenários é sobreponível dois a dois (cenários com e cenários sem ciclovia).

Os cenários base e 2 (sem ciclovia) apresentam 3 paragens em média. Independentemente da velocidade máxima permitida aos veículos, não há variação do número absoluto de paragens.

Nos cenários 3 e 4 (com ciclovia) o número médio de paragens passou de 3 para 4 não se verificando, contudo, diferenças entre os dois cenários.

O número médio de paragens por veículo apresenta um aumento em todos os cenários. O cenário base (cenário base) é o que tem um menor valor (3,14 paragens); de seguida surge o cenário 2 (3,21 paragens). O maior número de paragens corresponde ao cenário 3 e 4, com 4,18 e 4,39 paragens, respetivamente.

De acordo com a simulação efetuada a maior velocidade média corresponde ao cenário base, 13,43km/h. Esta informação é consistente com as expectativas iniciais. Contudo, apesar de os veículos poderem circular até 50km/h, o facto é que, em contexto de simulação ao longo de duas horas, não se verifica essa possibilidade devido aos constrangimentos naturais das correntes de tráfego, nomeadamente o aumento da densidade do fluxo.

A menor velocidade média corresponde ao cenário 4 (9,84 km/h), que corresponde a um agravamento de 26,72%. O cenário 3 apresenta melhores resultados que o cenário 2 (10,87 km/h vs. 9,84 km/h). O cenário 3 tem uma velocidade média pior que o cenário base (10,87 km/h vs. 13,43 km/h que equivale a uma diferença de 19,02%).

Na variável velocidade, a variação é inversa à variação da variável anterior (paragens), sendo que as duas variáveis estão diretamente relacionadas: em condições semelhantes, quanto maior o número de paragens, menores serão as velocidades médias, naturalmente.

A análise desta variável permite também perceber que a velocidade das bicicletas é inferior nos cenários com ciclovia, quando comparados com cenários sem ciclovia (aproximadamente 7%). Embora não seja uma diferença expressiva é interessante explorar este aspeto na medida em que seria expectável que os ciclistas com uma via segregada circulassem a uma velocidade superior. Considera-se que a existência da ciclovia aumente o tempo de paragem em semáforos uma vez que os movimentos dos ciclistas deixam de ser prioritários, neste cenário simulado, conduzindo a um aumento da velocidade média.

Quadro 5 - Resultados gerais da rede 2

CENÁRIO	Veículos ativos			Veículos chegados			Atrasos de entrada (horas)	Procura não satisfeita
	Modelo	Automóvel	Bicicleta	Modelo	Automóvel	Bicicleta		
CENÁRIO BASE	370	338	11	13965	12493	508	7,54	7,7
CENÁRIO 2	388	356	11	13988	12513	508	10,17	12,4
CENÁRIO 3	446	393	26	14334	12359	1018	92,70	129,85
CENÁRIO 4	488	433	27	14324	12349	1017	120,81	145,65

Relativamente ao número de veículos ativos verificou-se que:

- O cenário com mais veículos ativos (488) foi o cenário 4 (ciclovia com veículos a 30km/h)

- O cenário com menos veículos ativos (370) foi o cenário base(cenário sem ciclovia com veículos a 50km/h)
- Verificou-se um menor número de veículos ativos nos cenários com 50Km/h (sem ciclovia, cenário base: 334 / cenário 2: 352 vs. com ciclovia, cenário 3: 361 / cenário 4: 402)

Relativamente ao número de veículos chegados verificou-se que:

- Há mais veículos chegados nos cenários com ciclovia (cenários 3 e 4) pois o número de bicicletas é superior. Com introdução da ciclovia no sistema, procedeu-se a um aumento de 100% do volume de bicicletas: sem ciclovia a 50km/h e 30km/h vs. com ciclovia a 50km/h e 30km/h: 508/508 vs. 1018/1017;

Dos cenários sem ciclovia (CB e C2), o cenário que apresenta um menor atraso de entrada no sistema foi o cenário base (7,54h vs. 10,17h). Esta relação mantém-se nos cenários com ciclovia (3 e 4), apresentando um menor atraso de entrada o cenário com 50km/h (92,70h vs. 120,81h).

Os cenários com ciclovia (3 e 4) apresentam um maior número de veículos que não entraram na simulação: com ciclovia a 50km/h e 30km/h vs. sem ciclovia a 50km/h e 30km/h (129.85h/145.65h vs. 7.70h/12.40h). No Anexo B está presente uma tabela com os valores dos atrasos de entrada e com o número de veículos que não entraram na simulação para cada um dos pontos de entrada na rede.

Verifica-se que com a introdução da ciclovia o número de veículos que não conseguiram entrar na simulação aumentou aproximadamente 17 vezes nos cenários a 50km/h e aproximadamente 12 vezes nos cenários de 30km/h.

De salientar que estes valores, quando comparados com os veículos chegados, assumem um significado não relevante. No pior dos casos (C4), representam 1% da totalidade de veículos que chegou ao fim da simulação e por isso não tem dimensão para que se possa afirmar que a introdução da ciclovia provocou uma perda capacidade.

4.2 RESULTADOS AUTOMÓVEIS SENTIDO NORTE – SUL

A análise do tráfego automóvel no sentido norte – sul foi feita apenas para o percurso de maior comprimento da Avenida de Roma no sentido contrário ao sentido em que a ciclovia foi introduzida. Este percurso foi selecionado de forma a permitir a comparação do impacto do tempo de percurso que a ciclovia vai provocar no tráfego no sentido contrário (quadro7).

Quadro 6 - Resultados tráfego automóvel (Norte - Sul)

PERCURSOS	CENÁRIO BASE						CENÁRIO 2					
	Tempo médio de percurso (s)		Tempo médio de atraso (s)		Tempo médio de atraso devido a paragens (s)		Tempo médio de percurso (s)		Tempo médio de atraso (s)		Tempo médio de atraso devido a paragens (s)	
Brasil O - Londres	332,49		196,97	59,24%	129,33	38,90%	420,85	26,58%	202,49	48,11%	147,79	35,12%
Brasil E - Londres	378,31		241,58	63,86%	168,53	44,55%	448,08	18,44%	228,17	50,92%	171,53	38,28%

PERCURSOS	CENÁRIO 3						CENÁRIO 4					
	Tempo médio de percurso (s)		Tempo médio de atraso (s)		Tempo médio de atraso devido a paragens (s)		Tempo médio de percurso (s)		Tempo médio de atraso (s)		Tempo médio de atraso devido a paragens (s)	
Brasil O - Londres	366,18	10,13%	230,57	62,97%	157,23	42,94%	442,70	5,19%	224,11	50,62%	169,55	38,30%
Brasil E - Londres	404,71	6,98%	267,44	66,08%	191,73	47,37%	470,85	5,08%	251,21	53,35%	195,81	41,59%

Foram escolhidos os percursos desde a Avenida do Brasil (Este e Oeste) até à Praça de Londres. Comparando os quatro cenários estudados, verifica-se que o cenário base apresenta o tempo mais reduzido nos dois percursos (332,49/378,31). O contrário ocorre no cenário 4, que apresenta o tempo mais longo em ambos os percursos (442,70/470,85), entre todos os cenários.

Ao estudar o fator ciclovía nos diferentes percursos para a mesma velocidade dos veículos, verifica-se um agravamento dos tempos em ambos os percursos entre os cenários base e 3 (veículos a 50km/h: 10,13% /6,98%), assim como entre os cenários 2 e 4 (veículos a 30km/h: 5,19% /5,08%).

Outra análise possível poderá ser feita comparando a diferença verificada entre cenários base e 3 com a diferença verificada entre cenários base e 2. Aqui, parece verificar-se que o fator introdução de ciclovía terá um impacto inferior quando comparado com o fator redução de velocidade de 50km/h para 30km/h (366,18s/404,71s vs. 420,85/448,08s).

Os resultados demonstram que o impacto é negativo, mas não superior a 10% do tempo. Não foram analisados percursos intermédios pois não se considerou relevante para o presente estudo.

Do total de tempo de viagem nos percursos Avenida do Brasil Oeste e Avenida do Brasil Este para a Praça de Londres, nos vários cenários, em geral, mais de metade do tempo foi de atraso (variação entre 48,11% e 66,08%). O tempo parado variou entre 35,12% e 47,37%.

O cenário com maior percentagem de atraso nos tempos de viagem, tal como o que apresentou tempos mais longos de paragem foi o cenário 3. O cenário com menor percentagem de atraso nos tempos de viagem, tal como o que apresentou tempos mais curtos de paragem foi o cenário 2.

Comparando os cenários com a mesma velocidade, com e sem ciclovía, verifica-se um agravamento do tempo de atraso aquando da introdução do fator ciclovía. Esta diferença também se verifica no agravamento percentual do tempo em que os veículos estiveram parados.

Podemos concluir que a grande diferença entre os cenários com a mesma velocidade está no aumento do tempo parado. Tal está de acordo com as alterações efetuadas nos cenários com ciclovía. Com introdução da mesma, houve necessidade criar uma fase semafórica própria para as bicicletas, aumentando o tempo de ciclo.

4.3 RESULTADOS AUTOMÓVEIS SENTIDO SUL – NORTE

Já no sentido contrário e analisando, de forma mais detalhada, o sentido Sul – Norte da Avenida de Roma, foram escolhidos 7 percursos que na sua totalidade traduzissem os impactos que a implementação da ciclovía provocou (quadro 8).

Quadro 7 - Resultados tráfego automóvel (Sul - Norte)

PERCURSOS	CENÁRIO BASE					CENÁRIO 2						
	Nº de Automóveis	Tempo médio de percurso (s)	Tempo médio de atraso (s)		Tempo médio de atraso devido a paragens (s)	Nº de Automóveis	Tempo médio de percurso (s)	Tempo médio de atraso (s)		Tempo médio de atraso devido a paragens (s)		
Londres - Brasil E	49	513,08	380,60	74,18%	271,61	52,94%	47	548,37	336,04	61,28%	250,25	45,64%
Londres - Brasil O	34	549,44	410,67	74,74%	296,48	53,96%	35	584,16	362,90	62,12%	274,47	46,99%
Londres - Alvalade E	32	377,12	258,02	68,42%	182,77	48,46%	35	429,76	241,83	56,27%	179,63	41,80%
Londres - Alvalade O	31	543,10	423,63	78,00%	321,60	59,21%	31	611,43	421,62	68,96%	330,30	54,02%
Joao XXI E - Alvalade E	18	356,84	236,00	66,13%	160,60	45,01%	19	403,48	218,04	54,04%	156,97	38,91%
Joao XXI E - Alvalade O	17	546,67	425,44	77,82%	318,53	58,27%	17	604,53	417,51	69,06%	322,61	53,37%
Joao XXI E - EUA O	19	196,03	118,13	60,26%	79,22	40,41%	19	218,48	103,67	47,45%	76,38	34,96%

PERCURSOS	CENÁRIO 3					CENÁRIO 4						
	Nº de Automóveis	Tempo médio de percurso (s)	Tempo médio de atraso (s)		Tempo médio de atraso devido a paragens (s)	Nº de Automóveis	Tempo médio de percurso (s)	Tempo médio de atraso (s)		Tempo médio de atraso devido a paragens (s)		
Londres - Brasil E	46	777,28	645,21	83,01%	452,43	58,21%	47	853,49	640,29	75,02%	477,62	55,96%
Londres - Brasil O	35	806,44	668,21	82,86%	476,10	59,04%	33	889,25	668,25	75,15%	502,02	56,45%
Londres - Alvalade E	34	449,79	330,50	73,48%	223,39	49,66%	32	519,59	331,41	63,78%	244,01	46,96%
Londres - Alvalade O	28	634,27	514,76	81,16%	380,15	59,94%	29	696,83	506,00	72,62%	393,84	56,52%
Joao XXI E - Alvalade E	18	460,17	339,08	73,69%	234,39	50,93%	17	516,51	331,15	64,11%	245,11	47,46%
Joao XXI E - Alvalade O	17	648,85	527,73	81,33%	393,73	60,68%	16	702,89	514,89	73,25%	404,09	57,49%
Joao XXI E - EUA O	18	229,65	151,83	66,11%	102,99	44,85%	20	277,91	162,78	58,57%	122,79	44,18%

O cenário base é, de todos os cenários analisados, o que apresenta menor tempo para a realização do percurso. No sentido contrário, o cenário 4 apresenta o maior tempo entre todos os percursos analisados.

De uma forma consistente, a introdução do fator ciclovía em ambos os cenários (50km/h e 30km/h) resulta no aumento do tempo de viagem em todos os percursos analisados.

Entre os cenários com ciclovía, o mais favorável, ou seja, o que apresenta menor tempo entre todos os percursos analisados é o cenário com veículos a 50km/h.

Ao analisar o número de automóveis que concluem os percursos (N) nos diferentes cenários e nos vários percursos não se verificam diferenças significativas.

Verifica-se uma diferença nos tempos de viagem com e sem ciclovía, sendo que esta diferença é provocada pela substituição de uma via de tráfego motorizado por uma ciclovía. Outro fator que terá contribuído para o aumento dos tempos de viagem terá sido a criação de uma nova fase semaforizada associada à própria ciclovía.

Entre todos os cenários, o cenário 3 foi o que apresentou as maiores percentagens de atraso em todos os percursos (variação entre 66,11% - 83,01%). Este foi também o cenário em que se verificou maior atraso com os veículos parados (variação entre 44,85% - 60,68%).

O cenário em que se verificam as menores percentagens de atraso entre todos os percursos foi o cenário 2 (variação entre 47,45%- 69,06%). Este foi também o cenário que apresentou menos atraso por paragem dos veículos (variação entre 34,96%- 54,02%).

Comparando os cenários com ciclovia (cenário 3 e 4) e sem ciclovia (cenário base e 2), verificou-se, de forma consistente, uma maior percentagem de agravamento dos tempos de atraso nos cenários com ciclovia, sendo o cenário 3 o que apresentou o maior agravamento.

Pode-se concluir que estando a semaforização adaptada para uma onda verde de 30km/h a fluidez do tráfego vai ser maior comparado com 50km/h (as percentagens de tempo parado em relação ao tempo total de viagem são, para todos os percursos, inferiores nos cenários com 30km/h)

Comparando agora, as diferenças em valores absolutos em relação ao cenário base (quadro 9), consegue-se verificar que, no pior caso, para uma viagem que seria, em média, cerca de 9 minutos e 10 segundos (549,44s), teve um acréscimo de 5 minutos e 40 segundos (339,81s). Em termo gerais, a média de tempo de diferença por viagem, em valor absoluto, para os percursos analisados, é de pouco mais de 2 minutos e meio (2,60min) para uma respetiva viagem média de 8 minutos e meio (8,55min), ou seja, um agravamento de 30%.

Quadro 8 - Resultados tráfego automóvel (Sul – Norte) 2

PERCURSOS	CENÁRIO BASE	CENÁRIO 2		CENÁRIO 3		CENÁRIO 4	
	Tempo médio de percurso (s)	Diferença		Diferença		Diferença	
		Absoluta	Relativa	Absoluta	Relativa	Absoluta	Relativa
Londres - Brasil E	513,08	35,28	6,88%	264,19	51,49%	340,41	66,34%
Londres - Brasil O	549,44	34,72	6,32%	257,00	46,78%	339,81	61,85%
Londres - Alvalade E	377,12	52,64	13,96%	72,67	19,27%	142,47	37,78%
Londres - Alvalade O	543,10	68,32	12,58%	91,17	16,79%	153,72	28,30%
Joao XXI E - Alvalade E	356,84	46,64	13,07%	103,33	28,96%	159,67	44,74%
Joao XXI E - Alvalade O	546,67	57,86	10,58%	102,18	18,69%	156,23	28,58%
Joao XXI E - EUA O	196,03	22,44	11,45%	33,61	17,15%	81,88	41,77%

4.4 INDICADORES SEMAFÓRICOS

No quadro 6 estão apresentados os indicadores: tamanho médio e tamanho máximo das filas de espera dos semáforos localizados nas interseções da figura 16, no sentido sul – norte (Praça de Londres – Av. do Brasil). É nesse sentido que foi retirada uma via, em quase toda a extensão da AV. de Roma (para a criação da ciclovia) e por isso o motivo desta análise ser feita para este sentido de tráfego.

Quadro 9 - Filas de espera (semáforos)

SEMÁFOROS	CENÁRIO BASE		CENÁRIO 2	
	Tamanho médio da fila (m)	Tamanho máximo da fila (m)	Tamanho médio da fila (m)	Tamanho máximo da fila (m)
13	62,25	190,69	36,15	163,07
12	9,25	70,49	12,81	92,80
11	89,50	205,54	91,96	210,80
10				
9	8,41	58,50	7,72	50,24
8	23,18	124,67	22,64	133,21
7	9,96	64,51	10,91	67,76
6	3,28	24,97	3,55	28,22
5	11,68	115,44	13,07	117,64
4	23,81	89,20	25,01	89,22
3	11,19	71,50	11,11	74,23
2	5,69	65,72	6,48	76,26
1	1,40	39,74	1,53	40,03

SEMÁFOROS	CENÁRIO 3		CENÁRIO 4	
	Tamanho médio da fila (m)	Tamanho máximo da fila (m)	Tamanho médio da fila (m)	Tamanho máximo da fila (m)
13	158,88	272,81	160,87	279,27
12	52,88	214,14	71,60	237,40
11	36,94	64,24	41,46	65,15
10	96,46	184,10	100,63	186,52
9	16,61	91,91	17,18	97,00
8	77,27	199,42	83,95	194,66
7	12,01	69,07	13,89	83,02
6	3,55	30,49	3,88	39,73
5	58,94	196,38	71,12	196,11
4	33,23	88,74	48,62	88,74
3	32,22	149,64	44,73	155,67
2	13,11	87,25	14,82	87,95
1	3,09	86,27	3,45	95,56

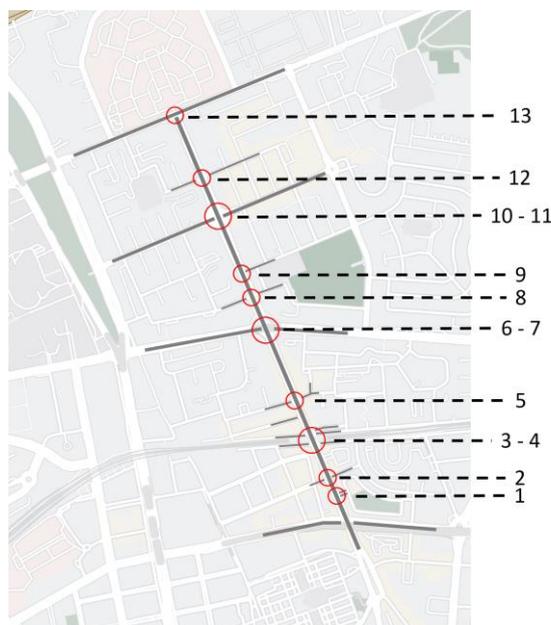


Figura 16 - Localização dos semáforos do Quadro 6

Nos cenários com ciclovia (C3 e C4), verifica-se um aumento generalizado do tamanho médio da fila de veículos, do tamanho máximo da fila e no número de paragens na fila, quando comparados com os cenários sem ciclovia (CB e C2).

Ao comparar cenários sem ciclovia (CB e C2) com diferentes velocidades (50km/h vs. 30km/h), não se verifica uma diferença significativa entre valores. Relativamente a cenários com ciclovia (C3 e C4), verifica-se que o cenário 4 apresenta valores mais elevados do que o cenário 3.

De salientar que não existe um cenário que se destaque pelo menor tamanho médio da fila de veículos, tamanho máximo da fila e número de paragens na fila. Tal verifica-se nos dois cenários sem ciclovia (CB e C2). Por outro lado, o cenário com maior tamanho médio da fila de veículos, tamanho máximo da fila e número de paragens na fila é o cenário com ciclovia a 30km/h (C4).

4.5 RESULTADOS BICICLETAS

Relativamente às bicicletas (quadro 10) foram definidos 12 percursos.

Quadro 10 - Resultados tráfego das bicicletas

PERCURSOS	CENÁRIO BASE						CENÁRIO 2					
	Nº de Bicicletas	Tempo médio de percurso (s)	Tempo médio de atraso (s)		Tempo médio de atraso devido a paragens (s)		Nº de Bicicletas	Tempo médio de percurso (s)	Tempo médio de atraso (s)		Tempo médio de atraso devido a paragens (s)	
Londres - Brasil O	7	745,22	336,09	45,10%	275,87	37,02%	5	703,84	273,91	38,92%	222,76	31,65%
Londres - Brasil E	5	695,10	311,23	44,77%	257,37	37,03%	3	656,17	299,30	45,61%	245,10	37,35%
Londres - RomaAreiro O	6	222,66	92,87	41,71%	76,51	34,36%	4	223,45	93,34	41,77%	76,10	34,06%
Londres - RomaAreiro E	7	178,62	61,99	34,71%	49,11	27,50%	5	183,62	65,75	35,81%	52,87	28,79%
RomaAreiro E - Brasil O	3	642,65	318,16	49,51%	269,08	41,87%	2	577,64	297,97	51,58%	250,26	43,32%
RomaAreiro E - Brasil E	2	601,77	287,06	47,70%	243,34	40,44%	3	627,15	267,02	42,58%	230,55	36,76%
RomaAreiro O - Brasil O	2	601,64	270,16	44,90%	231,82	38,53%	2	592,29	263,08	44,42%	226,69	38,27%
RomaAreiro O - Brasil E	1	586,85	279,47	47,62%	238,99	40,72%	0	-	-	-	-	-
Brasil E - RomaAreiro O	8	496,60	176,26	35,49%	152,68	30,75%	8	489,02	167,11	34,17%	143,95	29,44%
Brasil E - RomaAreiro E	0	-	-	-	-	-	0	-	-	-	-	-
Brasil O - RomaAreiro O	4	473,47	155,81	32,91%	135,52	28,62%	4	448,35	131,79	29,39%	112,61	25,12%
Brasil O - RomaAreiro E	0	-	-	-	-	-	0	-	-	-	-	-

PERCURSOS	CENÁRIO 3						CENÁRIO 4					
	Nº de Bicicletas	Tempo médio de percurso (s)	Tempo médio de atraso (s)		Tempo médio de atraso devido a paragens (s)		Nº de Bicicletas	Tempo médio de percurso (s)	Tempo médio de atraso (s)		Tempo médio de atraso devido a paragens (s)	
Londres - Brasil O	16	886,29	473,52	53,43%	414,97	46,82%	15	872,61	459,66	52,68%	403,15	46,20%
Londres - Brasil E	9	885,60	474,46	53,58%	417,17	47,11%	9	881,62	468,70	53,16%	412,67	46,81%
Londres - RomaAreiro O	10	280,87	167,45	59,62%	154,66	55,07%	11	279,98	167,06	59,67%	154,25	55,09%
Londres - RomaAreiro E	16	290,58	172,64	59,41%	160,01	55,07%	15	291,02	173,07	59,47%	160,38	55,11%
RomaAreiro E - Brasil O	6	707,65	375,63	53,08%	324,12	45,80%	6	675,35	343,92	50,92%	296,95	43,97%
RomaAreiro E - Brasil E	3	659,13	331,28	50,26%	287,71	43,65%	3	689,89	360,20	52,21%	313,77	45,48%
RomaAreiro O - Brasil O	9	684,75	351,46	51,33%	301,64	44,05%	9	699,33	364,48	52,12%	314,45	44,96%
RomaAreiro O - Brasil E	5	688,45	358,36	52,05%	307,69	44,69%	5	678,06	353,71	52,17%	302,00	44,54%
Brasil E - RomaAreiro O	17	654,93	325,51	49,70%	300,22	45,84%	16	641,52	312,77	48,75%	288,12	44,91%
Brasil E - RomaAreiro E	0	-	-	-	-	-	0	-	-	-	-	-
Brasil O - RomaAreiro O	8	650,34	320,39	49,26%	295,26	45,40%	8	646,65	316,62	48,96%	291,09	45,01%
Brasil O - RomaAreiro E	0	-	-	-	-	-	0	-	-	-	-	-

Verifica-se que o tempo de viagem aumenta com a introdução da ciclovia, pois, como referido anteriormente, as bicicletas nestes cenários têm uma fase semafórica própria para assegurar os seus movimentos com segurança face ao tráfego automóvel.

Um fator que poderá também aumentar o tempo de viagem das bicicletas no cenário em estudo é a perda de prioridade quando criada a ciclovia.

No CB e C2 as bicicletas coexistem com os automóveis o que, as coloca como prioritárias.

Já no C3 e C4, cenários nos quais é introduzida a ciclovia, os movimentos das bicicletas deixam de ser prioritários pois é criada uma nova fase semafórica específica para estas.

Desta forma, pode pensar-se que não obstante as vantagens de segurança, saúde pública e qualidade ambiental, o tempo médio de viagem poderá verificar um aumento como evidenciado no quadro 10 (média de tempo parado aumentou aproximadamente 50%, CB e C3, e aproximadamente 80% nos cenários C2 e C4).

Em 6 de um total de 10 percursos de bicicletas, verifica-se um menor tempo de viagem no cenário sem ciclovia a 30km/h vs. 50km/h. Nos cenários com ciclovia (cenário 3 e 4) a totalidade dos percursos de bicicletas apresenta tempos semelhantes, independentemente da velocidade dos veículos. Como referido anteriormente, o número de bicicletas nos cenários com ciclovia (cenário 3 e 4), é geralmente mais do dobro, de acordo com o pré-definido na simulação.

O cenário 2 (sem ciclovia com veículos a 30km/h) tem menor tempo de atraso (variação entre 34,17%- 51,58%) sendo que desse tempo a maior parte do atraso é parado (variação entre 25,12%- 43,32%).

O cenário 3 (com ciclovia com veículos a 50km/h) é, na maior parte dos percursos analisados, o que tem maior tempo de atraso (variação entre 49,26%- 59,62%) sendo que desse tempo a maior parte do atraso é parado (variação entre 43,65%- 55,07%).

Os cenários com ciclovia (cenário 3 e 4) vs. cenários sem ciclovia (cenário base e 2) apresentam um agravamento consistente do tempo de atraso.

4.6 COMPARAÇÃO QUALITATIVA DOS CENÁRIOS

No quadro 11 é esquematicamente a comparação qualitativa do impacto dos diferentes cenários quando comparados com o cenário base.

Quadro 11 - Comparação qualitativa dos impactos com o cenário base

Indicadores	Sem ciclovia	Com ciclovia	
	CENÁRIO 2	CENÁRIO 3	CENÁRIO 4
Tempo de viagem (automóveis)			
Tempo de viagem (bicicletas)			
Tempo de atraso			
Estacionamento			

Nota: define-se o vermelho como agravamento; o amarelo é utilizado quer na melhoria ligeira (inclinação positiva), quer no agravamento ligeiro (inclinação negativa); utiliza-se o traço para representar a não variação.

Da análise do quadro 11 pode-se perceber que:

- O tempo de viagem dos automóveis piora em todos os cenários quando comparados com o CB, sendo que o impacto é maior nos cenários com ciclovia;
- O tempo de viagem dos ciclistas melhora no C2, quando reduzida a velocidade média dos automóveis, contudo, piora nos C3 e C4, quando é introduzida a ciclovia;

- O tempo de atraso melhora no C2, contudo, piora nos C3 e C4, quando é introduzida a ciclovia;
- O estacionamento não apresenta alterações do CB para o C2 contudo verifica um impacto negativo quando introduzida a ciclovia pois é necessário retirar alguns lugares de estacionamento.

O quadro 12 sistematiza a análise qualitativa dos possíveis impactos dos cenários 2, 3 e 4 quando comparados com o CB nomeadamente ao nível de: emissão de gases poluentes, saúde dos ciclistas, segurança dos ciclistas, segurança dos peões e interação social. De referir que estes parâmetros não foram objeto do presente estudo, contudo, não podem nunca ser desconsiderados na discussão de resultados e conclusões ou até mesmo, em última instância, na tomada de decisão.

Quadro 12 - Comparação qualitativa dos impactos com o cenário base 2

Indicadores	Sem ciclovia	Com ciclovia	
	CENÁRIO 2	CENÁRIO 3	CENÁRIO 4
Emissões gases poluentes			
Saúde dos ciclistas			
Segurança dos ciclistas			
Segurança dos peões			
interação social			

Nota: define-se o verde como melhoria; o amarelo é utilizado na melhoria ligeira

Desta forma salienta-se que:

A emissão de gases poluentes, a saúde e segurança dos ciclistas e a interação social melhoram no C2, quando reduzida a velocidade média dos automóveis, contudo, apresenta uma melhoria ainda mais evidente nos cenários C3 e C4, quando é introduzida a ciclovia;

A segurança dos peões melhora substancialmente no C2 e C4, quando reduzida a velocidade média dos automóveis, não obstante de também ter uma melhoria com a introdução da ciclovia.

Apesar do cenário 2 mostrar-se mais vantajoso nos itens analisados, a introdução da ciclovia nos cenários 3 e 4 não representou um significativo agravamento face ao cenário 2 nos mesmos itens, traduzindo-se por sua vez em vantagens significativas como a diminuição dos gases poluentes, melhoria da saúde e da segurança dos ciclistas. Em suma, a introdução da ciclovia representa um ganho potencial na segurança e na qualidade de vida dos residentes e visitantes da Av. de Roma.

5 CONCLUSÃO

O presente trabalho teve o objetivo geral de compreender qual o potencial da utilização da microsimulação através da utilização do *software* VISSIM da PTV no apoio ao desenho e na análise de redes clicáveis recorrendo para tal ao caso de estudo da Avenida de Roma, em Lisboa. Desta forma, procedeu-se à análise de qual estrutura cicloviária se adequa melhor à via em estudo, à viabilidade da implantação e análise da melhor estrutura cicloviária, através dos resultados obtidos nas microsimulações.

A simulação realizada e a análise dos resultados obtidos permitiram perceber que a criação de uma ciclovia introduziu atrasos (como era já esperado antes de proceder à simulação). Contudo, se considerados em termos de valor absoluto, os atrasos traduzem-se em aproximadamente 5 minutos (no percurso de maior comprimento). Estes 5 minutos perdidos na realização do percurso são amplamente compensados pelos ganhos nomeadamente ao nível dos níveis de poluição e benefício para a condição física dos utilizadores (com impacto positivo ao nível da saúde pública). Por outro lado, a possibilidade de redução do limite de velocidade máxima, dentro das cidades, de 50km/h para 30km/h (que de acordo com as simulações não produziu alterações significativas no trânsito motorizado) parece melhorar os tempos efetivos de viagem dos ciclistas com otimização da segurança dos mesmos.

A introdução da ciclovia e a redução da velocidade máxima poderão melhorar as condições de segurança de forma que mais pessoas possam usar bicicleta com impactos significativos a nível ambiental e de saúde pública.

Com a elaboração deste trabalho foi possível constatar que o VISSIM revelou ser um *software* de microsimulação, capaz de reproduzir os cenários em análise, prático, e útil na análise dos problemas colocados.

Como limitações pode referir-se o facto da contagem de carros para introdução na simulação ter sido efetuada em período de pandemia e férias escolares. De forma a procurar ultrapassar esta limitação foi aumentado o volume de tráfego em 30%. Contudo, ainda assim, o valor utilizado poderá não ser um valor ajustado à realidade do contexto das horas de ponta na avenida em estudo. A presente simulação parece indicar uma tendência, contudo, mais estudos necessitam de ser efetuados para poder retirar outras conclusões.

Como sugestão, propõe-se que, de futuro pudesse ser considerada a avaliação do impacto ao nível das emissões e dos níveis de poluição bem como a realização de uma simulação macro que pudesse avaliar também a área envolvente.

7 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Barceló, J., Bernauer, E., Breheret, L., Canepari, G., Taranto, C. Di, Ferrer, J., Fox, K., Gabard, J.-F., & Liu, R. (1999). *SMARTTEST - Simulation Modelling Applied to Road Transport European Scheme Tests*.
- Carr, T., & Dill, J. (2003). Bicycle Commuting and Facilities in Major U.S. Cities: If You Build Them, Commuters Will Use Them. *Transportation Research Record*, 1828(1), 116–123.
- CML. (2012). *Plano Diretor Municipal de Lisboa*. https://informacoese-servicos.lisboa.pt/fileadmin/download_center/normativas/regulamentos/urbanismo/Regulamento_PDM.pdf, consultado em setembro de 2021
- CML. (2015). *Lisboa: o Desenho da Rua - Manula do espaço público*.
- Comissão Europeia. (2000). Cidades para bicicletas, Cidades de Futuro. In *Serviço das Publicações Oficiais das Comunidades Europeias*.
- Conway, M. W., Salon, D., Silva, D. C. da, & Mirtich, L. (2020). How Will the COVID-19 Pandemic Affect the Future of Urban Life? Early Evidence from Highly-Educated Respondents in the United States. *Urban Science*, 50. <https://doi.org/10.3390/urbansci4040050>
- Costa, A. H. P. da. (2008). *Manual Anula do Planeamento de Acessibilidades e Transportes* (Vol. 0, Issue 0).
- Dowling, R., Skabardonis, A., & Alexiadis, V. (2004). Traffic Analysis Toolbox Volume III : Guidelines for Applying Traffic Microsimulation Modeling Software. *Rep. No. FHWA-HRT-04-040, U.S. DOT, Federal Highway Administration, Washington, D.C, III*(July), 146.
- Félix, R. (2012). *Gestão da Mobilidade em Bicicleta Engenharia do Território* (Issue June). Dissertação de mestrado [Universidade de Lisboa, Instituto Superior Técnico]. <https://doi.org/10.13140/RG.2.1.4295.6407>
- Félix, R., Moura, F., & Clifton, K. J. (2017). Typologies of Urban Cyclists. *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*. <https://doi.org/10.3141/2662-14>
- Ferreira, J. P. C. B. e P. (2008). *Aplicação De Modelos De Tráfego (Dracula) Na Avaliação Dos Impactos Em Redes Rodoviárias Urbanas Resultantes Das Alterações Nas Infra-Estruturas*. Dissertação de mestrado [Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto]. <http://www.fe.up.pt>
- Gehl, J. (2010). *Cities for People*. Island Press.
- Hochmair, H. (2005). Towards a Classification of Route Selection Criteria for Route Planning Tools. *Evaluation*.
- IMTT. (2011). Rede Ciclável - Princípios de Planeamento e Desenho. *Pacote Da Mobilidade - Território, Acessibilidade e Gestão de Mobilidade*, 41. <http://www.imt-ip.pt>
- Morgan, C. J., & Veysey, M. (2013). Traffic Modelling Guidelines. In *NSW, Roads and Maritime Services* (Vol. 1, Issue February).

- Moura, F. (2021). *Documentos de apoio à cadeira de Transportes - Mestrado integrado de Engenharia Civil - Universidade de Lisboa, Instituto Superior Técnico.*
- Nações Unidas. (2018). *68% of the world population projected to live in urban areas by 2050, says UN.* <https://www.un.org/development/desa/en/news/population/2018-revision-of-world-urbanization-prospects.html>), consultado em outubro de 2021
- Neto, M. de C., Alpalhão, N., Pereira, M., Gomes, A. M., & Baptista, A. (2021). *Mobilidade Inteligente: Uma nova abordagem no planeamento e gestão da mobilidade urbana – o caso das ciclovias.*
- New York City DOT. (2009). <https://www1.nyc.gov/html/dot/html/about/projects-2009.shtml>, consultado em outubro de 2021
- Ortuzar, J. de D., & Willumsen, L. G. (2011). *Modelling Transport.*
- Pinheiro, D. R. R. (2018). *Microssimulação de tráfego aplicada a um caso de estudo na cidade do Porto.* Dissertação de mestrado [Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto]. <http://www.fe.up.pt>
- Público, O. (2021). *Velo-city 2021: Lisboa recebe o maior evento de mobilidade em bicicleta do mundo.*
- Quelhas, N. M. de A. e. (2016). *Estratégias de Microrregulação em Interseções Controladas por Sinais Luminosos.*
- Tavares, J. P., & João, P. (2015). *Modelos de Simulação e de Previsão de Tráfego.* Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto
- Tavares, J. P. M. P. (2003). *Aplicabilidade e Robustez de Modelos de Afectação de Tráfego em Redes Urbanas.* Dissertação de Doutoramento. 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 da Universidade do Porto.
- Winters, M., Davidson, G., Kao, D., & Teschke, K. (2011). Motivators and deterrents of bicycling: Comparing influences on decisions to ride. *Transportation, 38*(1), 153–168. <https://doi.org/10.1007/s11116-010-9284-y>

A ANEXO – CONTAGENS

Interseção	Movimento															
	OE	O	OD	Total O	NE	N	ND	Total N	EE	E	ED	Total E	SE	S	SD	Total S
Av. do Brasil																
Automóvel ligeiro	27	87	-	114	25	-	39	64	-	76	120	196	-	-	-	-
Mercadorias	0	3	-	3	1	-	5	6	-	6	4	10	-	-	-	-

Interseção	Movimento															
	OE	O	OD	Total O	NE	N	ND	Total N	EE	E	ED	Total E	SE	S	SD	Total S
Rua Violante do Céu																
Automóvel ligeiro	-	-	-	-	2	25	2	29	-	-	-	-	15	78	1	94
Mercadorias	-	-	-	-				0	-	-	-	-				0

Interseção	Movimento															
	OE	O	OD	Total O	NE	N	ND	Total N	EE	E	ED	Total E	SE	S	SD	Total S
Av. da Igreja																
Automóvel ligeiro	14	21	7	42	9	31	11	51	3	11	4	18	13	88	20	121
Mercadorias	2	1	0	3	2	0	0	2	0	1	0	1	0	8	0	8

Interseção	Movimento															
	OE	O	OD	Total O	NE	N	ND	Total N	EE	E	ED	Total E	SE	S	SD	Total S
Rua Maria Amália Vaz de Carvalho																
Automóvel ligeiro	16	-	4	20	-	71	-	71	-	-	-	-	-	122	-	122
Mercadorias		-		0	-		-	0	-	-	-	-	-		-	0

Interseção	Movimento															
	OE	O	OD	Total O	NE	N	ND	Total N	EE	E	ED	Total E	SE	S	SD	Total S
Rua Silva e Albuquerque																
Automóvel ligeiro	-	-	-	-	-	79	11	90	4	1	9	14	5	149	-	154
Mercadorias	-	-	-	-	-	6	0	6	0	0	4	4	1	7	-	8

Interseção	Movimento															
	OE	O	OD	Total O	NE	N	ND	Total N	EE	E	ED	Total E	SE	S	SD	Total S
Av. Estados Unidos da América																
Automóvel ligeiro	52	-	42	94	22	120	36	178	54		27	81	69	55	16	140
Mercadorias	1	-	3	4	0	7	0	7	6		0	6	2	4	0	6

Interseção	Movimento															
	OE	O	OD	Total O	NE	N	ND	Total N	EE	E	ED	Total E	SE	S	SD	Total S
Rua Conde Sabugosa																
Automóvel ligeiro	18	2	25	45	22	135	11	168	-	-	-	-	16	169	11	196
Mercadorias	2	0	1	3	4	3	1	8	-	-	-	-	2	2	4	8

Interseção	Movimento															
	OE	O	OD	Total O	NE	N	ND	Total N	EE	E	ED	Total E	SE	S	SD	Total S
Travessa Henrique Cardoso																
Automóvel ligeiro	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	5	5	-	-	-	-
Mercadorias	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

Interseção	Movimento															
	OE	OeD*	OD	Total O	NE	N	ND	Total N	EE	E	ED	Total E	SE	S	SD	Total S
Av. Frei Miguel Contreiras																
Automóvel ligeiro	48	11	25	84	-	118	18	136	-	-	14	-	4	155	22	181
Mercadorias	1	0	2	3	-	4	0	4	-	-	0	-	0	5	0	5

* Viram à esquerda, mas no cruzamento a seguir viram à direita

Interseção	Movimento															
	OE	O	OD	Total O	NE	N	ND	Total N	EE	E	ED	Total E	SE	S	SD	Total S
Av. São João Deus																
Automóvel ligeiro	14	14	27	55	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Mercadorias	0	0	0	0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

Interseção	Movimento															
	OE	O	OD	Total O	NE	N	ND	Total N	EE	E	ED	Total E	SE	S	latera	Total S
Av. Oscar Monteiro Torres																
Automóvel ligeiro	-	-	-	-	-	75	2	77	9	3	8	20	-	138	7	145
Mercadorias	-	-	-	-	-	2	0	2	0	0	1	1	-	3	0	3

Interseção	Movimento															
	OE	O	OD	Total O	NE	N	ND	Total N	EE	E	ED	Total E	SE	S	SD	Total S
Jardim Fernando Pessa																
Automóvel ligeiro	-	-	5	5	-	58	2	60	-	-	-	-	23	125	-	148
Mercadorias	-	-	0	0	-	1	0	1	-	-	-	-	0	5	-	5

Interseção	Movimento															
	OE	O	OD	Total O	NE	N	ND	Total N	EE	E	ED	Total E	SE	S	SD	Total S
Av. João XXI																
Automóvel ligeiro	21	23	19	63	-	34	8	42	-	22	6	28	-	110	12	122
Mercadorias	1	3	0	4	-	2	1	3	-	5	1	6	-	10	1	11

Nota: exemplo ilustrativo do código de movimentos. Primeira letra representa o sentido do movimento de chegada à interseção (Norte, Sul, Este, Oeste) e a segunda letra representa a mudança de direção caso haja (Esquerda e Direita).



B ANEXO – ATRASOS DE ENTRADA NO SISTEMA

PONTO DE ENTRADA NO SISTEMA	CENÁRIO BASE		CENÁRIO 2		CENÁRIO 3		CENÁRIO 4	
	Nº de carros em falta	Atraso na entrada (s)	Nº de carros em falta	Atraso na entrada (s)	Nº de carros em falta	Atraso na entrada (s)	Nº de carros em falta	Atraso na entrada (s)
Av. Brasil O	-	1276,70	-	533,71	-	972,98	-	889,71
Av. Brasil E	-	1515,68	-	5192,71	-	2395,49	-	4091,09
Praça de Alvalade O	-	0,39	-	1,12	-	0,69	-	1,52
Praça de Alvalade E	-	0,07	-	0,21	-	0,07	-	0,22
Rua Maria Amália Vaz de Carvalho	-	0,40	-	0,69	-	0,43	-	0,69
Rua António Patrício	-	638,99	-	737,87	-	603,22	-	775,72
Av. Estados Unidos da América O	3	5803,25	6	7181,99	111	251230,23	116	298071,72
Av. Estados Unidos da América E	-	110,83	-	283,70	-	62,11	-	110,98
Rua Conde Sabugosa	1	11559,28	1	14775,16	-	5818,61	-	6210,60
Travessa Henrique Cardoso	-	0,45	-	0,61	-	0,53	-	0,83
Av. Miguel Frei Contreiras	3	5581,83	4	7028,43	17	66651,48	25	91298,41
Rua Infante Dom Pedro	-	39,58	-	43,62	-	34,97	-	38,94
Av. São João de Deus	-	324,94	-	457,92	2	5750,07	4	33177,15
Av. Óscar Monteiro Torres	-	0,02	-	0,02	-	0,72	-	0,98
Jardim Fernando Pessa	-	1,47	-	1,80	-	1,61	-	1,84
Av. João XXI O	-	36,50	-	56,49	-	37,13	-	51,71
Av. João XXI E	-	2,73	-	4,18	-	2,72	-	4,19
Praça de Londres	-	3,47	-	5,60	-	103,83	-	145,55
Av. Brasil E Bicicletas	-	91,70	-	153,55	-	13,82	-	13,82
Av. Brasil O Bicicletas	-	140,41	-	134,50	-	23,77	-	23,80
Praça de Alvalade E Bicicletas	-	0,47	-	0,66	-	1,84	-	2,38
Praça de Alvalade O Bicicletas	-	0,40	-	0,75	-	0,96	-	1,66
Rua Infante Dom Pedro Bicicletas	-	0,19	-	0,19	-	1,23	-	1,23
Av. Miguel Frei Contreiras Bicicletas	-	0,30	-	0,30	-	2,38	-	2,38
Av. Óscar Monteiro Torres Bicicletas	-	0,00	-	0,02	-	0,13	-	0,13
Praça de Londres Bicicletas	-	2,08	-	3,58	-	1,66	-	1,66
Rua Edison Bicicletas	-	0	-	0	-	0	-	0