



Tânia Lopes Pereira

**Soluções de apoio ao transporte público em
interseções semaforizadas**



Universidade de Aveiro Departamento de Engenharia Civil
2015

Tânia Lopes Pereira

**Soluções de apoio ao transporte público em
interseções semaforizadas**

Dissertação apresentada à Universidade de Aveiro para cumprimento dos requisitos necessários à obtenção do grau de Mestre em Engenharia Civil, realizada sob a orientação científica do Doutor Joaquim Miguel Gonçalves Macedo, Professor Auxiliar do Departamento de Engenharia Civil da Universidade de Aveiro.

Aos meus pais e irmã

o júri

presidente

Prof^a Doutora Ana Luísa Pinheiro Lomelino Velosa
Professora Associada da Universidade de Aveiro

Prof^a Doutora Margarida Isabel Cabrita Marques Coelho
Professora Auxiliar da Universidade de Aveiro

Prof. Doutor Joaquim Miguel Gonçalves Macedo
Professor Auxiliar da Universidade de Aveiro

agradecimentos

Agora que estou a escrever esta página é porque consegui! Chegou a hora de agradecer a todas as pessoas que influenciaram e contribuíram na concretização deste projeto.

Assim, começaria por agradecer ao meu orientador Professor Doutor Joaquim Macedo, pela partilha de conhecimentos e auxílio prestado ao longo desta Dissertação. Agradeço ainda toda a disponibilidade e amizade que me ofereceu ao longo deste trabalho.

À Engenheira Ana Cristina da Câmara Municipal de Aveiro, um especial agradecimento pela disponibilidade e auxílio prestado sempre que solicitado.

Deixo também uma palavra de agradecimento à Professora Doutora Margarida Coelho, pela simpatia e disponibilidade demonstrada.

Ao Engenheiro Paulo Fernandes, gostava de agradecer o enorme interesse que demonstrou no apoio à realização deste projeto.

Aos meus amigos, em particular a Filipa Teixeira, Martinique Nunes, Marina Gomes, Ana Silva, entre outros, que sempre acreditaram em mim e me deram forças para superar todos os obstáculos que esta passagem me levou tornando cada momento especial, lembrando-me que o tempo não passa pela amizade, mas a amizade passa pelo tempo e é preciso segurá-la enquanto ela há.

Aos meus colegas de Atletismo, em especial às minhas colegas de treino, um especial agradecimento pelos momentos de descontração tão importantes para o meu equilíbrio.

Ao meu treinador José Pedro Silva, um obrigado pela amizade ao longo destes anos, pelas conversas alheias aos problemas, pela preocupação e companheirismo e por partilhar momentos e vivências.

Aos meus colegas de curso, um muito obrigado por sempre me lembrarem que tinha uma tese para elaborar, perguntando: “Então, como está a tese?”.

E por último, mas não menos importante, à minha família.

Um agradecimento muito especial aos meus pais José e Maria, por sempre me incentivarem perante os desafios, a fazer mais e melhor. Obrigada pelo vosso enorme amor, pelos valores que me ensinaram e me tornaram na pessoa que hoje sou. Obrigada por me ensinarem a encarar a vida com aquilo que temos, conquistando aos poucos aquilo que não temos, dando oportunidade de crescer e atingir os objetivos.

À minha irmã, pela confiança que sempre depositou no meu trabalho. Obrigado “mana” pelos xi-corações muito apertados, pela paciência e pela força em todos os momentos.

Muito obrigada!

palavras-chave

AIMSUN, Transportes Públicos, simulação de tráfego, modelos de simulação

resumo

A implementação de medidas de prioridade aos Transportes Públicos em interseções semaforizadas visa uma melhoria das suas condições operacionais. Estas medidas podem ser uma opção para o benefício da circulação deste tipo de veículos garantindo assim melhorias globais para o sistema de transporte. No entanto, deverá ser necessário avaliar os impactos das medidas não só nos veículos que se pretende prioritários, mas também no restante tráfego.

Os modelos de simulação de tráfego são programas informáticos que têm vindo a ser cada vez mais utilizados pelos técnicos. Esta constatação deve-se em muito ao facto de estas ferramentas serem um importante apoio na resolução de problemas relacionados com o tráfego, já que estes apresentam um elevado grau de complexidade. Assim sendo, a simulação torna-se uma ótima ferramenta para ultrapassar a variabilidade dos sistemas de transporte com maior facilidade. Desta forma, pode-se referir que estes modelos foram criados com o intuito de permitir testar e analisar soluções, antes que estas sejam implementadas na rede rodoviária existente.

No entanto, os resultados obtidos em modelos de simulação deverão ter um significado claro, bem como serem adequados à realidade, pelo que as fases de calibração e, sua posterior validação são fundamentais no grau de confiança dos resultados obtidos pelo modelo.

O presente trabalho consistiu na apresentação e respetiva avaliação de várias soluções de apoio ao Transporte Público, mais concretamente autocarros, nas interseções semaforizadas numa Avenida da cidade de Aveiro, a Avenida Dr. Lourenço Peixinho. Para avaliar a implementação das medidas de prioridade foi utilizado o programa de simulação AIMSUN, que permitiu comparar o cenário atual com os diferentes cenários propostos, através dos resultados obtidos para vários indicadores de desempenho.

Neste contexto foram testados três cenários, sendo que no primeiro foi introduzida uma via BUS nos dois sentidos da Avenida, no segundo foram colocados detetores para a deteção dos autocarros e por último, foram combinadas as soluções dos dois primeiros cenários.

Por fim, e uma vez alcançado o objetivo deste trabalho, os resultados obtidos indicam que todos os cenários são benéficos para o Transporte Público. No entanto, e tendo em conta como indicador de desempenho, o atraso dos veículos, com o terceiro cenário houve uma redução deste indicador de cerca 38% no eixo (toda a avenida Dr. Lourenço Peixinho) e de 15% na rede total. Assim, este cenário é o que assegura melhores condições de circulação e garante um melhor desempenho destes veículos.

Também, no eixo, com a implementação do primeiro e segundo cenários houve uma diminuição do indicador de desempenho, de 22% e 19%, respetivamente. Já na rede total o primeiro cenário apresentou uma melhoria de 4% e o segundo cenário de 16%.

keywords

AIMSUN, Public Transport, traffic simulation, simulation models

abstract

The implementation of priority measures relatively to public transportation in signalized intersections seeks to the improvement of its operational conditions. These measures can be an option to the benefit of the circulation of these types of vehicles safeguarding thereby overall improvements to the transport system. However, it is necessary to assess the impact of the measures not only to the vehicles intended to have higher primacy but also to the remaining traffic.

The traffic simulation models are software, which have been more increasingly used by the technicians. This phenomenon is owed to the fact that these tools are an important support to the resolution of traffic related problems, since they present an extreme complexity level. Thereby, the simulation becomes an excellent tool to overpass the variability of transport systems with some easiness. In this way, it may be referred that the models were created with the aim to allow the test and analysis of solutions, before they are implemented in the current highway network.

Although the obtained results in simulation models should have an obvious meaning, as well as they may be suited to the reality, the calibration stages and the afterward validation of the model are fundamental in the level of confidence obtained by the model.

The present work consisted in the presentation and the respective assessment of several solutions of support of public transportation, namely buses, in the signalized intersections in a particular avenue in the city of Aveiro, named "Dr. Lourenço Peixinho". To evaluate the implementation of the priority measures it was used the simulation program AIMSUN that allowed comparing the actual scenario with different suggested scenarios, through the obtained results of performance indicators. In this context, it were tested three scenarios, in the first one it was introduced a BUS route in both ways of the avenue, in the second one they were placed sensors to detect the buses and at last, they were combined the first two scenarios.

Lastly, and once achieved the goal of this work, the obtained results indicate that all scenarios are beneficial for Public Transport. However, and taking into consideration as a performance indicator the delay of the vehicle, with the third scenario there was a reduction of this index around 38% on the axis (entire Dr. Lawrence Avenue) and 15% of the total network. Thus, this scenario is what assures better flow conditions and ensures better performance of such vehicles. Also, in axis with the implementation of the first and second scenarios there was a decrease in the performance index of 22% and 19%, respectively. In the first scenario the overall network was improved by 4% and on the second scenario of 16%.

Índice Geral:

1.	Introdução.....	1
1.1.	Considerações gerais	1
1.2.	Objetivos.....	2
1.3.	Estrutura da dissertação	3
2.	O transporte público e as interseções	7
2.1.	Importância do Transporte Público	7
2.2.	Tipologia das interseções.....	8
2.2.1.	Caracterização das interseções semaforizadas	9
2.3.	Medidas de prioridade ao Transporte Público.....	13
2.3.1.	Prioridade ao Transporte Público nas interseções semaforizadas	13
2.3.2.	Corredores exclusivos para Transportes Públicos (Vias BUS).....	15
2.3.3.	Utilização e implementação das vias BUS	20
2.3.4.	Sistemas inteligentes de ajuda ao Transporte Público.....	24
3.	Metodologia – caso de estudo	31
3.1.	Identificação e caracterização da área em estudo.....	32
3.2.	Análise da situação atual	35
3.2.1.	Oferta no concelho Concelhio (MoveAveiro).....	35
3.2.2.	Serviços de Transporte Extra-Concelhios	38
3.3.	Descrição das interseções analisadas.....	41
3.4.	Tráfego na Rede Viária.....	48
3.5.	Temporização e fases dos sinais luminosos	50
3.6.	Modelo Microscópico de Simulação – AIMSUN	53
3.6.1.	Modelos de simulação de tráfego	53
3.6.2.	Descrição do modelo de simulação AIMSUN	53
3.6.3.	Construção do modelo	55
3.7.	Codificação do modelo.....	59
3.7.1.	Verificação.....	59
3.7.2.	Calibração e Validação do modelo.....	61
4.	Resultados e discussão	67
4.1.	Desenvolvimento dos cenários	67
4.1.1.	Cenário base	67
4.1.2.	Cenário 1	69
4.1.3.	Cenário 2	70
4.1.4.	Cenário 3	71
4.2.	Indicadores de desempenho.....	73
4.3.	Apresentação e discussão dos resultados.....	74
5.	Conclusões e desenvolvimentos futuros.....	83
5.1.	Conclusões.....	83
5.2.	Desenvolvimentos Futuros	85
6.	Referências Bibliográficas.....	89
	ANEXO A. DIAGRAMAS DE FASES.....	97
	ANEXO B. CONTAGENS DE TRÁFEGO.....	103
	ANEXO C. CALIBRAÇÃO DOS RESULTADOS	135
	ANEXO D. FOTOGRAFIAS DA ÁREA DE ESTUDO	143

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Poster na cidade de Muenster, Alemanha, numa sensibilização do espaço ocupado pelos veículos ligeiros e pelo autocarro para transportar o mesmo número de pessoas (Gregório, 2009).....	7
Figura 2. Exemplo de uma estratégia de divisão de fases (Zhang, 2001).....	14
Figura 3. Exemplo de via BUS (Stoyanov e Plamena, 2012).....	17
Figura 4. Atrasos devido ao congestionamento do tráfego em Washington (Gregório, 2009).....	17
Figura 5. Via BUS no sentido da corrente de tráfego (Gregório, 2009).....	18
Figura 6. Esquema de uma via BUS no sentido da corrente de tráfego (Gregório, 2009).....	19
Figura 7. Via BUS no sentido contrário ao da corrente de tráfego (Gregório, 2009).....	20
Figura 8. Esquema de uma via BUS no sentido contrário ao da corrente de tráfego (Gregório, 2009).....	20
Figura 9. Corredor de aproximação a uma interseção com paragem (Gregório, 2009).....	22
Figura 10. Solução de regulação com geometria sem interrupção do corredor BUS (CCDRN, 2008).....	22
Figura 13. Sinalização vertical e horizontal para informação aos condutores (Viegas et al., 2007).....	25
Figura 14. Esquema de pré- sinal (Otan, 1976).....	26
Figura 15. Fluxograma da metodologia.....	31
Figura 16. Aveiro no mapa de Portugal (Fonte: Google).....	32
Figura 17. Avenida Dr. Lourenço Peixinho (Fonte: Google).....	33
Figura 18. Zona estudada para implementação da prioridade a TP (Foto retirada do Bing Maps).....	34
Figura 19. Identificação das interseções semaforizadas pertencentes à ALP (Foto retirada do Bing Maps).....	34
Figura 20. MoveAveiro - Linha 1.....	36
Figura 21. MoveAveiro - Linha 2.....	36
Figura 22. MoveAveiro – Linha 3a e 3b.....	37
Figura 23. MoveAveiro – Linha 4.....	37
Figura 24. Rede Intermodal de Aveiro (RIA).....	39
Figura 25. Interseção A.....	41
Figura 26. Movimento dos autocarros na interseção A.....	43
Figura 27. Interseção B.....	44
Figura 28. Movimento dos autocarros na interseção B.....	44
Figura 29. Interseção C.....	45
Figura 30. Movimento dos autocarros na interseção C.....	46
Figura 31. Interseção D.....	47
Figura 32. Movimento dos autocarros na interseção D.....	48
Figura 33. Localização dos postos de contagem na rede modelada no programa AIMSUN.....	50
Figura 34. Ambiente AIMSUN.....	55
Figura 35. Representação de velocidades no AIMSUN.....	56

Figura 36.	Exemplo de ficha de programação da interseção A da ALP	57
Figura 37.	Diagrama lógico da validação de um modelo (adaptado de Barceló e Casas, 2004)	63
Figura 38.	Cenário Base (retirado do programa AIMSUN).....	68
Figura 39.	Percurso da Linha 4, da empresa de transportes da Move Aveiro, usado na validação da rede.	69
Figura 40.	Cenário 1 (retirado do programa AIMSUN)	70
Figura 41.	Cenário 2 (retirado do programa AIMSUN)	71
Figura 42.	Cenário 3 (retirado do programa AIMSUN)	72
Figura 43.	Secções seleccionadas para a análise do eixo em estudo (ao longo da ALP)	75
Figura 44.	Comparação do indicador de desempenho, atraso, para todos os autocarros na rede total	77
Figura 45.	Comparação do indicador de desempenho, atraso, para todos os autocarros no eixo (toda a Avenida Dr. Lourenço Peixinho).....	77
Figura 46.	Comparação do indicador de desempenho, atraso, para todos os veículos na rede total	78
Figura 47.	Comparação do indicador de desempenho, atraso, para todos os veículos ligeiros na rede total	79
Figura 48.	Comparação do indicador de desempenho, atraso, para todos os veículos no eixo (toda a Avenida Dr. Lourenço Peixinho).....	79
Figura 49.	Comparação do indicador de desempenho, atraso, para todos os veículos ligeiros no eixo (toda a Avenida Dr. Lourenço Peixinho).....	80
Figura 50.	Nível de serviço das interseções	80

ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 1.	Descrição (resumida) das interseções pertencentes à ALP	35
Tabela 2.	Empresas operadoras no concelho de Aveiro.....	40
Tabela 3.	Identificação das interseções referentes aos postos de contagem de tráfego	49
Tabela 4.	Temporização média dos sinais luminosos	51
Tabela 5.	Critérios de calibração para modelos de autoestradas do Departamento de Transportes do Wisconsin (WDoT, 2002).....	62
Tabela 6.	Tabela de síntese de todos os cenários	72
Tabela 7.	Definição dos Níveis de serviço (Fonte: HCM,2010).....	74
Tabela 8.	Valores gerais referentes aos 3 grandes cenários existentes para todos os veículos	75
Tabela 9.	Valores gerais referentes aos 3 grandes cenários existentes para o total de carros	76
Tabela 10.	Valores gerais referentes aos 3 grandes cenários existentes para o total de autocarros	76

Capítulo 1

INTRODUÇÃO

1. INTRODUÇÃO

1.1. Considerações gerais

Os transportes têm uma influência direta e uma importância vital no desenvolvimento económico e social das sociedades modernas, onde se verifica um aumento de exigência ao nível da mobilidade. (Figueiredo, 2005)

Atualmente, o uso do Transporte Público (TP), que por definição é um serviço de transporte coletivo ou individual, em que mediante uma determinada retribuição os veículos são postos à disposição de quaisquer pessoas, sem ficarem exclusivamente ao serviço de nenhuma delas (IMTT, 2009), está cada vez mais a ser promovido não só por razões ambientais, mas também por questões económicas uma vez que se trata de um modo de transporte mais sustentável (Gregório, 2009). Isto deve-se ao facto do preço do petróleo estar em constante variação, resultando no aumento do custo de transporte, com principal incidência no Transporte Individual (TI), pelo que o uso do TP principalmente o de uso coletivo torna-se um meio alternativo, proporcionando uma maior poupança por parte da população.

O congestionamento, a poluição (atmosférica e sonora), o aumento do consumo de combustíveis e a sinistralidade rodoviária, são problemas cada vez maiores e que obrigam a uma melhor gestão e dimensionamento das redes viárias, bem como à adoção de novas políticas de transportes que fomentem a utilização de modos de transportes sustentáveis em detrimento do TI. (Macedo, 2005)

O transporte coletivo de passageiros rodoviário, vulgarmente conhecido por “autocarro”, e que será o objeto deste trabalho, desempenha um papel marcante em todo o conceito de TP devido à sua capacidade de transportar um maior número de pessoas e de ocupar um menor espaço na infraestrutura rodoviária quando comparado com um veículo ligeiro de passageiros de uso individual. No entanto, e ao contrário de outros tipos de TP (como por exemplo, o metro ou o elétrico) a inexistência de infraestruturas dedicadas para a sua circulação leva a que sejam igualmente afetados pelos mesmos problemas de tráfego que os demais veículos. (Gregório, 2009)

Torna-se assim necessário a otimização do desempenho das redes viárias, para que em condições de tráfego misto, em vias cada vez mais congestionadas, o TP não seja afetado por uma série de problemas que comprometem a sua eficiência e a sua capacidade de competição, tais como: baixas velocidades comerciais e longos tempos de viagem. (Neto, 2004)

Nesse contexto, as interseções são os pontos críticos das redes viárias, pois são pontos de acumulação de congestionamento devido à necessária partilha do direito de passagem pelos diferentes fluxos de tráfego, sendo portanto uma das principais causas de atrasos. Estes atrasos nas interseções provocam o aumento do tempo de viagem, despesas de deslocação, bem como a redução da velocidade dos veículos. (Minh et al., 2009)

A gestão de tráfego em interseções, através de medidas simples de carácter especial, baseadas em medidas de regulação das prioridades relativas das diferentes correntes de tráfego, ou na alteração do desenho geométrico, deixam de ser funcionais, quando em presença de grandes volumes de tráfego.

O recurso à sinalização luminosa aparece portanto como uma solução para este problema, sendo uma medida de gestão de tráfego com um custo de instalação e manutenção relativamente baixo e com níveis de eficácia elevados. (Gonçalves, 2013)

A avaliação dos níveis de desempenho de uma interseção controlada por sinais luminosos tem sido desde sempre um tema de preocupação, de modo a se aumentar o desempenho deste tipo de interseções.

Uma vez que este tipo de interseções é muito utilizado dentro das zonas urbanas, é fundamental a existência de soluções que possibilitem priorizar o TP no sentido de minimizar o atraso sofrido pelos seus utilizadores. Tal possibilitará a promoção de uma maior sustentabilidade do sistema de transportes.

1.2. Objetivos

O principal objetivo deste trabalho é a apresentação e respetiva avaliação de várias soluções de apoio ao transporte coletivo de passageiros rodoviário nas interseções semaforizadas na cidade de Aveiro, tendo sido para tal selecionada a Avenida Doutor Lourenço Peixinho (ALP). A opção por esta zona específica de Aveiro deve-se ao facto de esta ser a principal zona da cidade de Aveiro e por conseguinte onde existe um maior fluxo de tráfego, nomeadamente de TP.

Pretende-se assim, realizar um levantamento da rede de TP existente e proceder à sua caracterização, detetando pontos críticos existentes no eixo em análise, isto é, nas interseções semaforizadas, para proceder à implementação de soluções de apoio a estes veículos.

As soluções foram testadas e posteriormente avaliadas utilizando o modelo de simulação microscópico AIMSUN. Antes de iniciar o processo de escolha de cenários possíveis de implementação foi necessário desenvolver um modelo da rede urbana tendo para tal sido

necessário recolher dados geométricos e de tráfego, codificar o moledo, calibrá-lo e validá-lo para as condições atuais, o que constituiu o cenário base.

1.3. Estrutura da dissertação

A presente dissertação está organizada em cinco capítulos, cujo conteúdo será o seguinte.

O capítulo 1 consiste na parte introdutória do trabalho, apresentando-se também os principais objetivos que se pretendem alcançar com a sua realização.

No capítulo 2 é realizada uma pesquisa bibliográfica acerca da importância do TP de forma a adquirir um conhecimento geral acerca do tema. Também é feita uma introdução às tipologias das interseções, nomeadamente as interseções semaforizadas, apresentando-se todas as características referentes a este sistema de gestão de tráfego. Por fim, são apresentadas e caracterizadas as principais medidas existentes de prioridade ao TP aplicáveis a este tipo de interseções.

No capítulo 3 é descrita a metodologia utilizada na realização do trabalho. Começando pela caracterização da área de estudo, estudo dos padrões de tráfego e das interseções existentes, segue-se para a descrição do modelo de simulação, calibração e validação do modelo.

No capítulo 4 são avaliados e discutidos todos os resultados desenvolvidos ao longo do trabalho. Caracterizaram-se todos os cenários existentes e avalia-se o comportamento de cada um em relação ao cenário base através de diferentes indicadores de desempenho.

E por fim, no Capítulo 5 são expostas as conclusões finais e os pontos importantes a estudar no futuro.

Capítulo 2

O TRANSPORTE PÚBLICO E AS INTERSEÇÕES

2. O TRANSPORTE PÚBLICO E AS INTERSEÇÕES

2.1.Importância do Transporte Público

Está inerente na vida quotidiana das sociedades modernas a utilização do TP como meio de deslocação, encontrando-se atualmente a inverter-se esta tendência no sentido de uma menor procura por estes modos de transporte.

Por um lado, esta menor procura do TP deve-se a uma menor promoção deste meio de transporte mas também à diminuição da qualidade oferecida.

Assim, hoje em dia são cada vez mais frequentes os fenómenos de congestionamento, sobretudo nos grandes centros urbanos, o que leva à degradação da qualidade de vida. Estes começam também a afetar cidades menores, muito por causa do aumento da taxa de motorização e da utilização intensiva do TI.

Numa perspetiva urbanística, o autocarro, por passageiro, apenas necessita de aproximadamente 5% da área de ocupação da infraestrutura rodoviária, quando comparada a um veículo ligeiro. Na Figura 1 representa-se este conceito fundamental para a sensibilização da utilização do TP, onde de uma forma visual se evidenciam as vantagens do uso do TP em relação ao TI, transmitindo-se a ideia de que a redução quer do espaço quer da qualidade de movimento é benéfica para o quotidiano das pessoas. (Gregório, 2009)

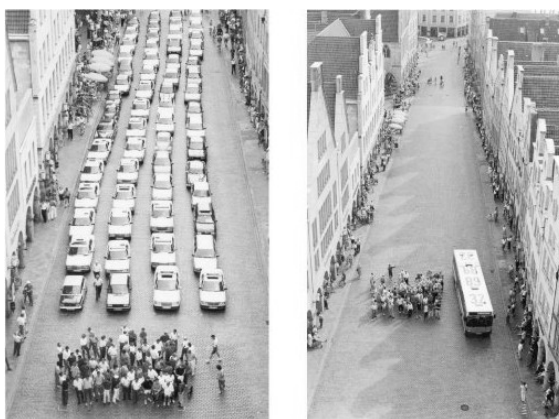


Figura 1. Poster na cidade de Muenster, Alemanha, numa sensibilização do espaço ocupado pelos veículos ligeiros e pelo autocarro para transportar o mesmo número de pessoas (Gregório, 2009)

Sendo assim, fica realçada a importância do TP como meio de deslocação. No entanto, é necessário aumentar a sua utilização e neste contexto torna-se necessário implementar

medidas de prioridade que os tornem mais eficientes e rápidos e fomentem assim uma maior procura pelo TP.

A necessidade de implementação destas medidas de prioridade ao TP num meio urbano e mais concretamente nas interseções, onde as semaforizadas são uma das tipologias mais comuns, torna-se fundamental, para uma melhoria das condições de operação do TP e da sua consequente atratividade.

2.2. Tipologia das interseções

As interseções são normalmente consideradas pontos críticos do sistema rodoviário, pois nelas existem várias correntes de tráfego que convergem para um mesmo local, o que gera situações em que é grande o potencial de ocorrência de congestionamento por falta de capacidade o que afeta o desempenho global do sistema de forma significativa (Setti e Widner, 1997).

Relativamente à tipologia das interseções rodoviárias, existe um conjunto muito variado de soluções e configurações. Os tipos de interseções, no que diz respeito à sua regulação, são habitualmente classificados nos seguintes grupos, dos quais os quatro primeiros correspondem a interseções de nível: (Macedo, 2005)

- Interseções de prioridade à direita;
- Interseções prioritárias;
- Rotundas;
- Interseções semaforizadas;
- Interseções desniveladas.

As interseções de prioridade à direita são habitualmente interseções simples, pouco exigentes quer em termos geométricos quer em sinalização e que não possuem qualquer género de sinalização horizontal ou vertical reguladora de atribuição de prioridades (CCDRN, 2008).

Quanto às interseções prioritárias são o tipo de cruzamento mais comum ao nível das redes rural e urbana portuguesas. Neste tipo de cruzamentos, os condutores que circulam na estrada secundária (não prioritária) são sujeitos à perda de prioridade, devidamente sinalizada, em relação aos que circulam na estrada principal (prioritária) (Macedo, 2005).

Uma rotunda é um tipo de interseção caracterizada pela convergência de diversos ramos numa placa central, com uma forma geralmente circular, em torno da qual é estabelecido um sentido único de circulação (expeto em soluções muito particulares), assumido como prioritário em relação aos ramos de entrada. Por sua vez, de acordo com o estabelecido na alínea p) do artigo

1º do Código da Estrada, uma rotunda é “ uma praça formada por cruzamento ou entroncamento, onde o trânsito se processa em sentido giratório e sinalizada como tal”.

A um conjunto de ramos que asseguram a ligação entre estradas que se cruzam a níveis diferentes, são chamados de interseções desniveladas (Macedo, 2005).

No que diz respeito às interseções semaforizadas, são o tipo de interseções existentes no estudo, pelo que serão apresentadas mais detalhadamente a seguir.

2.2.1. Caracterização das interseções semaforizadas

As interseções semaforizadas ou reguladas por sinais luminosos correspondem a soluções em que a gestão do tráfego na interseção é efetuada com recurso a sinalização luminosa.

Segundo o Regulamento de Sinalização de Tráfego, neste tipo de regulação, o semáforo determina a indicação da permissão ou proibição dada aos condutores de avançarem. No caso dos semáforos para veículos, estes consistem num sistema de luzes circulares convencionais constituídas pelas cores verde, amarelo e vermelho, a que correspondem os seguintes significados:

- Luz vermelha - passagem proibida, o que obriga os condutores a parar antes de atingirem a zona regulada pelo sinal;
- Luz amarela fixa – transição da luz verde para a luz vermelha. Passagem proibida salvo se os condutores já se encontrem tão perto da linha de paragem que não o possam fazer em segurança;
- Luz verde – passagem permitida. Permite a entrada na zona regulada pelo sinal, a não ser que tendo em conta a intensidade do tráfego se preveja que se fique nele imobilizado.
- Luz amarela intermitente – passagem permitida, desde que feita com precaução e com respeito pelas regras de prioridade.

Os sinais luminosos têm uma grande influência na fluidez do tráfego, e como tal é fundamental ter em atenção que é necessária uma aplicação adequada do tipo, operação e manutenção dos sinais luminosos, para que a interseção funcione nas melhores condições possíveis. (Gonçalves, 2013)

Um dos objetivos principais dos sinais luminosos é a diminuição dos atrasos das diversas correntes de tráfego presentes no local, bem como conduzir a um aumento da capacidade e da segurança, e do equilíbrio do nível de serviço entre as correntes de tráfego.

As interseções reguladas por sinais luminosos caracterizam-se pela atribuição em diferentes períodos de tempo do direito absoluto ou parcial de entrada na interseção aos diferentes movimentos de tráfego, havendo deste modo uma segregação temporal dos conflitos entre veículos e peões, o que se traduz num aumento da segurança. Trata-se de um tipo de solução bastante flexível e “ativa”, uma vez que permite atribuir qualquer correlação de prioridades relativas entre os diferentes movimentos presentes na interseção, tendo apenas que ser garantido que não existem movimentos considerados incompatíveis na mesma fase. (Macedo, 2005)

Uma fase representa uma fração de tempo durante a qual uma ou várias correntes de tráfego têm direito de avançar, enquanto as outras estão impedidas de o fazer. O seu início é determinado quando há pelo menos uma corrente de tráfego que ganha o direito de passagem (sinal verde) e o seu fim quando pelo menos uma das correntes de tráfego perde esse direito (início de verde ou verde intermitente).

As indicações dos sinais das diferentes fases sucedem-se com uma determinada periodicidade, designando-se por ciclo, de acordo com o Vocabulário de Estradas e Aeródromos (LNEC, 1962), a sequência das indicações dadas por um sinal luminoso até retomar a indicação inicial. (Macedo, 2005)

A regulação dos sinais luminosos pode ser efetuada em três níveis: (Gonçalves, 2013)

- Nível local: gestão de uma interseção isolada;
- Nível intermédio ou “controlo por artérias”: coordenação das interseções, ao longo de um eixo ou itinerário, no qual os percursos mais importantes são privilegiados em detrimento de outros secundários;
- Nível global ou “controlo por zona”: coordenação das interseções de uma zona, tal como o nome indica.

Ao nível local, numa interseção isolada, os semáforos atuam independentemente uns dos outros, ou seja, não ocorre nenhum tipo de coordenação e é possível encontrar dois tipos de regulação da sinalização luminosa: (Gonçalves, 2013)

- Sinais luminosos de tempo fixo;
- Sinais luminosos atuados pelo tráfego (micro-regulação).

Na regulação a tempos fixos, a duração do ciclo, as fases, os tempos de verde e de inter-verde (tempo de amarelo e de “tudo vermelho”¹) não mudam durante um determinado período e são

¹ O tempo de “tudo vermelho” corresponde ao período de alguns segundos durante o qual todas as correntes de tráfego servidas na fase que termina e na que se inicia recebem sinal vermelho.

calculados para atender a volumes médios de tráfego nas aproximações. É um tipo de regulação para áreas urbanas onde o tráfego se comporta de forma cíclica e os volumes de tráfego se repetem nas mesmas horas do dia para os diferentes dias da semana, sendo possível dispor de vários planos de regulação que mudam automaticamente a determinadas horas, para atender às variações de tráfego que vão ocorrendo ao longo do dia.

A existência destes planos pré-calculados, tal como dito anteriormente, deve-se à necessidade do sistema responder de forma adequada a períodos característicos do dia, onde os volumes de tráfego são diferentes. São exemplos desses períodos, as horas de ponta, as horas mortas e os fins-de-semana.

Nos sinais luminosos atuados pelo tráfego, que podem ser totalmente atuados ou semi-atuados, são usados nos casos em que o tráfego não apresenta um comportamento cíclico, procurando-se ajustar, em tempo real, a duração das fases e por vezes até a sua sequência aos volumes de tráfego que se observam nesse momento. Isto é conseguido através da recolha de dados de tráfego por intermédio de sensores que são colocados numa entrada ou em todas as entradas das interseções, resultando numa interseção semi-atuada ou atuada, respetivamente. (Macedo, 2005)

Estes sensores podem ser de três tipos: (Terra, 2002)

- Detetor de pressão: consiste numa chapa de contacto revestida de borracha e montada numa armação de aço que fica embutida no pavimento. A roda do veículo ao entrar em contato com a superfície do detetor fecha o circuito, indicando a presença do mesmo ao sistema de controlo.
- Detetor magnético: consiste numa simples bobina cilíndrica cujo circuito magnético se fecha na passagem dos veículos sobre a sua zona de influência.
- Detetor de radar: normalmente é suspenso sobre a via pública, evitando assim a escavação do pavimento. Quando se aproxima um veículo do campo de ação do radar, a presença deste é assinalada no sistema de controlo.

A utilização deste tipo de regulação prende-se com o facto de se procurar responder, de uma forma imediata, às variações da procura, ou seja, aos volumes de tráfego. Esta regulação usa o princípio de ciclo variável, podendo ser considerado como um método empírico, devido ao facto do seu “cálculo” não ter em conta nenhum método de otimização. Hoje em dia, este tipo de solução tende a ser mais utilizada do que a de tempos fixos, especialmente, para interseções isoladas, uma vez que a sua eficácia está comprovada. As ações mais frequentes deste tipo de regulação são, a eliminação de uma fase, a adaptabilidade do tempo de verde e a prevenção de bloqueio. (Gonçalves, 2013)

Estas duas técnicas de regulação permitem atender a dois tipos de variações de tráfego, isto é, às variações regulares e previsíveis e às variações excepcionais e aleatórias. Assim, se os fluxos de tráfego apresentarem um comportamento cíclico, variando pouco de dia para dia, e se as suas flutuações em períodos relativamente curtos forem fracas, é preferível recorrer-se à multi-programação em tempos fixos. Se pelo contrário os fluxos de tráfego variam de um dia para o outro e estas são acompanhadas de flutuações significativas ao longo do dia é melhor optar por sinais luminosos atuados pelo tráfego. (Macedo, 2005)

Em resumo, as interseções semaforizadas tornam-se num tipo de solução muito flexível, capaz de funcionar numa vasta gama de fluxos de tráfego e praticamente com qualquer repartição direcional do tráfego. (Macedo, 2005)

Quanto ao seu desempenho, estas interseções apresentam potencialidades que permitem gerar níveis elevados de capacidade.

Nos locais onde existe um conjunto de interseções reguladas por sinais luminosos, quer ao longo de um determinado itinerário, quer numa dada zona de uma cidade, é possível a coordenação dos sistemas de sinais luminosos das várias interseções com o objetivo de proporcionar um escoamento mais fluído diminuindo o número de paragens e atrasos. A coordenação dos sinais luminosos pode ser realizada por intermédio de dois processos, um em que coordenam as interseções semaforizadas existentes ao longo de um itinerário ou eixo, criando as chamadas “ondas verdes” ou, em alternativa, quando se tratam de interseções dentro de uma dada zona, recorrendo a sistemas de controlo de tráfego do tipo UTC (*Urban Traffic Control*). Nos sistemas do tipo UTC, as várias interseções com sinais luminosos encontram-se ligadas a uma central, a partir da qual são lançados os vários planos de regulação que melhor se ajustam às condições de tráfego existentes na zona controlada pelo sistema. (Tavares, 1994)

Assim, é a única tipologia adequada quando é necessário integrar uma interseção num sistema coordenado de controlo de tráfego do tipo UTC ou quando se pretende alterar as condições de funcionamento do cruzamento de modo a adaptá-lo melhor às condições existentes. (Macedo, 2005)

Em suma, uma das vantagens das interseções semaforizadas que interessa estudar é a flexibilidade para favorecer determinada entrada do cruzamento ou categoria de utilizador da estrada, bem como responder as diferentes condições de tráfego, possibilitando assim a prioridade, aos TP.

2.3. Medidas de prioridade ao Transporte Público

O aumento da velocidade de operação dos veículos de TP, fazendo com que sejam verdadeiramente competitivos quando comparados com as viagens em TI é uma medida importante para o encorajamento da sua utilização. Para que tal aconteça, devem ser implementadas medidas de prioridade aos TP nas interseções reguladas por sinais luminosos, de modo a reduzir as demoras impostas a esses veículos neste tipo de interseções.

Para tal, existe descrito na literatura um conjunto de medidas que permite atribuir a prioridade a estes veículos para melhorar as condições de tráfego nas interseções semaforizadas e que irão ser expostas de seguida.

2.3.1. Prioridade ao Transporte Público nas interseções semaforizadas

As paragens provocadas pelos sinais luminosos são o principal fator responsável no atraso dos autocarros (Sunkari et al., 1995).

Segundo um estudo realizado pela STCP (1992), os autocarros são prejudicados em cerca de 20% do seu tempo de operação devido a estas paragens.

Assim, a atribuição da prioridade ao TP nas interseções com sinais luminosos é uma técnica que consiste em antecipar ou ajustar a programação dos sinais luminosos para favorecer os veículos de TP. Esta prioridade tem como objetivo não só a diminuição do tempo de atraso nas interseções semaforizadas, como a diminuição do tempo de viagem e aumento da velocidade (Sunkari et al., 1995).

Existem algumas estratégias de prioridade que podem ser implementadas nas interseções semaforizadas, para promover a prioridade ao TP. A seguir apresenta-se a descrição dessas estratégias.

2.3.1.1. Prioridade passiva

A prioridade passiva consiste em reorganizar as fases dos sinais luminosos, não havendo deteção das viaturas.

As principais estratégias de prioridade passiva ao TP são: (Sunkari et al., 1995)

- Ajuste no tempo do ciclo: em interseções isoladas, a sequência verde – amarelo - vermelho é reduzida para diminuir os atrasos dos veículos de TP, no entanto esta estratégia reduz a capacidade de escoamento de tráfego das interseções;

- Divisão da fase: consiste em dividir a fase que promove a passagem ao TP em mais fases sem reduzir necessariamente o ciclo, para permitir assim a passagem destes veículos em dois momentos diferentes dentro do mesmo ciclo. Na Figura 2 é apresentado um exemplo de uma fase de prioridade, em que o TP usa a fase A para atravessar a interseção, e esta fase é separada em duas para permitir a sua passagem em dois momentos.

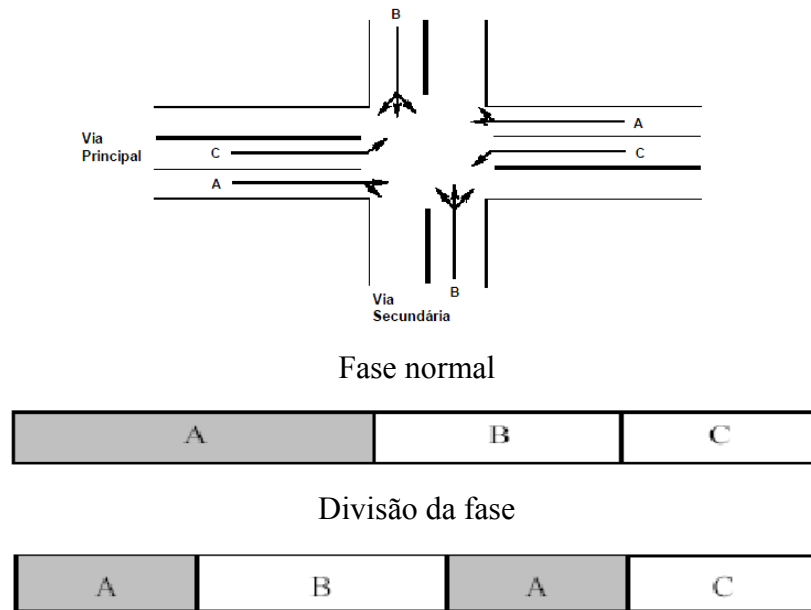


Figura 2. Exemplo de uma estratégia de divisão de fases (Zhang, 2001)

- Programação por área: em interseções com semáforos muito próximas, pode ser dada a prioridade nas interseções com um maior fluxo de TP, considerando também para a atribuição desta prioridade o número de passageiros que estes veículos transportam, aumentando a fase de verde de passagem destes veículos.

2.3.1.2. Prioridade ativa

A prioridade ativa implica a deteção em tempo real dos veículos prioritários nas proximidades das interseções, proporcionando prioridades a estes veículos de maneira individual.

Para que seja efetuada a prioridade ativa, o sistema deteta a presença do TP e prevê o tempo que este demora até à interseção. Para isso, os TP devem estar equipados com dispositivos de identificação, tais como, *transponders* (com ou sem código de identificação do veículo), antenas recetoras, GPS ou dispositivos similares. (Neto, 2004)

As principais estratégias de prioridade ativa são: (Sunkari et al., 1995; Zhang, 2001)

- Extensão do verde: extensão do tempo verde numa fase do ciclo para permitir a passagem do TP detetado;
- Antecipação do verde: o tempo de verde é antecipado quando o veículo de TP se encontra próximo da interseção;
- Interrupção do vermelho: o sinal vermelho é interrompido por um período de tempo verde assim que seja detetada a aproximação de um TP;
- Supressão de fases: sempre que uma ou mais fases se encontrem com reduzidas passagens de tráfego, estas podem ser suprimidas num determinado ciclo, para dar prioridade ao TP;
- Interrupção do verde: se o TP for detetado a uma distância considerada da interseção, poderá interromper-se o período de verde, aumentando assim a probabilidade deste veículo chegar á interseção no próximo período de verde.

As medidas de prioridade ativa também podem ser classificadas dentro de dois diferentes conceitos: prioridade incondicional e prioridade condicional. (Neto, 2003)

- Prioridade incondicional: também conhecida como prioridade absoluta. É dada sempre que o *transponder* envia ao detetor do sinal a presença do TP.
- Prioridade condicional: a prioridade pode ser ou não garantida uma vez que são consideradas as condições que existem no instante em que é cedida a prioridade ao TP. As condições podem ser: o grau de saturação nas aproximações por parte do restante tráfego, a pontualidade ou adesão à programação dos TP, o número de passageiros e o tempo decorrido desde a última deteção de um veículo prioritário.

2.3.2. Corredores exclusivos para Transportes Públicos (Vias BUS)

Estes corredores consistem numa via destinada à circulação de veículos de TP, sendo proibida a sua utilização pelos condutores de quaisquer outros veículos. No entanto, é permitida a sua utilização, na extensão estritamente necessária, para acesso a garagens, a propriedades e a locais de estacionamento ou, quando a sinalização o permita, para efetuar a manobra de mudança de direção na interseção ou entroncamento mais próximo. No caso da autorização de uso por outros veículos, este consentimento poderá gerar conflitos de interesse pois se há consenso que os veículos de emergência médica devem usar estas vias para escapar às filas de espera, já o uso por parte dos táxis suscita algumas interrogações, pelo que a sua autorização

terá de ser consentida pela entidade responsável dado que tal ocupação retira fluência aos TP. Em alguns países é também possível a circulação de motociclos e bicicletas nestes corredores. (Gregório, 2009)

As vantagens e desvantagens destes corredores são intrínsecas a cada género de corredores BUS, podendo no geral ser feita uma compilação sobre a utilização deste tipo de vias em meio urbano.

As principais vantagens são as seguintes (Gregório, 2009):

- Velocidade: devido à utilização de uma via de circulação exclusiva, onde a movimentação é restrita aos TP, este parâmetro reflete um impacto significativo na implementação desta medida, traduzindo-se numa redução do tempo viagem em aproximadamente 10%, contribuindo para uma melhoria da velocidade comercial;
- Pontualidade: a esta característica está associado o tempo de viagem, fator importante na qualificação de uma rede de TP, e o tempo de espera em cada paragem BUS, estando ambos dependentes, maioritariamente, do nível de congestionamento em zonas exteriores aos corredores BUS;
- Frequência: com uma diminuição nos tempos referidos, associados a uma utilização mais comum das vias BUS, é possível aumentar a frequência das linhas de TP mantendo os recursos e mão-de-obra;
- Detrimento do uso do TI: a viatura particular será penalizada quer pela redução da capacidade da via quer pela perceção de que, efetivamente, o autocarro circula em melhores condições (principalmente em hora de ponta) quando comparado com o tráfego ligeiro normal.

No que toca às desvantagens podem ser indicadas as seguintes (Gregório, 2009):

- Funcionalidade do Sistema Global: retrata uma das maiores dificuldades de aplicação desta medida, devido ao elevado número de variáveis a ter em conta na ponderação da sua aplicação, como por exemplo, a necessidade de partilha do corredor com o tráfego de viragem à direita ou a acessibilidade dos passageiros para vias à esquerda bem como a inércia com diversas atividades diárias realizadas ao longo da rua (exemplo comum - Cargas e Descargas, Estacionamento) e acesso a garagens;
- Falta de Espaço Físico: regra geral os congestionamentos verificam-se em vias estreitas, sem grandes opções para os veículos ligeiros quanto mais para implementação de um corredor exclusivo;

- Reajustamento das Linhas de TP: ao perceber que certo percurso foi melhorado, a tendência das Companhias será concentrar o serviço nessas zonas, em detrimento de outras, reduzindo a cobertura da rede;
- Fiscalização: elevados custos inerentes, principalmente no decurso inicial da exploração face a eventuais utilizações abusivas do mesmo.

A imagem presente na Figura 3 representa a facilidade/comodidade disponibilizadas aos TP na utilização das vias BUS, enquanto na imagem relativa à Figura 4 estão representados os problemas afetos ao congestionamento urbano a que este tipo de serviço está sujeito.



Figura 3. Exemplo de via BUS (Stoyanov e Plamena, 2012)



Figura 4. Atrasos devido ao congestionamento do tráfego em Washington (Gregório, 2009)

Existe um conjunto de diferentes soluções aplicáveis às situações em que um, ou mais dos eixos de acesso a uma interseção regulada por sinais luminosos apresenta corredores BUS. Estas soluções podem apresentar diferentes níveis de prioridade relativa atribuída aos modos mais eficientes, dependendo do impacto negativo que for considerado aceitável relativamente ao TI ou das consequências ao nível sistémico que as soluções adotadas ao nível de um cruzamento possam ter.

O corredor BUS deverá, então, seguir certas linhas orientadoras para que o seu desempenho seja o mais eficaz: (Allen,1973)

- Beneficiar de forma significativa o TP;
- Não reduzir a fluidez do tráfego ou causar congestionamento em vias secundárias;
- Oferecer um rácio custo/benefício adequado economicamente;
- Ser de fácil execução;
- Ter em consideração a frequência e ocupação dos autocarros, que deverão ser elevados para provocar impacto nos restantes condutores;
- Não aumentar a propensão a acidentes;
- Minimizar os impactos ambientais.

Estes critérios demonstram uma preocupação acrescida de que o objetivo fundamental das vias BUS seja concretizado com o máximo de benefício, minimizando o impacto no tráfego circundante.

A prioridade ao TP tem-se mostrado eficiente através das vias BUS com sinalização adequada e específica, possibilitando um fluxo operacional livre do restante tráfego. A existência de vias BUS junto a interseções semaforizadas leva a que sejam necessárias soluções específicas. De seguida serão apresentadas as principais soluções de implementação de vias BUS.

2.3.2.1. Via BUS no sentido da corrente de tráfego (*With - Flow*)

Este tipo de via BUS funciona no mesmo sentido ao da corrente de tráfego normal (Figura 5). Facilita a circulação dos veículos de TP devido ao facto de, com estas vias, estes veículos poderem circular separados do restante tráfego motorizado, designadamente dos veículos ligeiros, cujos fluxos são habitualmente responsáveis pelos congestionamentos em zonas urbanas (Gregório, 2009). A Figura 6 mostra um esquema de implementação de uma via BUS no sentido da corrente de tráfego.



Figura 5. Via BUS no sentido da corrente de tráfego (Gregório, 2009)

As vias BUS representam um exemplo clássico das medidas de prioridade aos autocarros, sendo que os benefícios resultantes da sua execução irão-se refletir em melhorias nas suas condições operacionais. Estas vias BUS, ao serem implementadas junto às interseções semaforizadas permitem que os TP se libertem dos restantes veículos que se encontram na zona congestionada. Assim, a existência destas vias melhora a qualidade de circulação, diminuindo os tempos de viagem e melhorando a qualidade do serviço prestado.

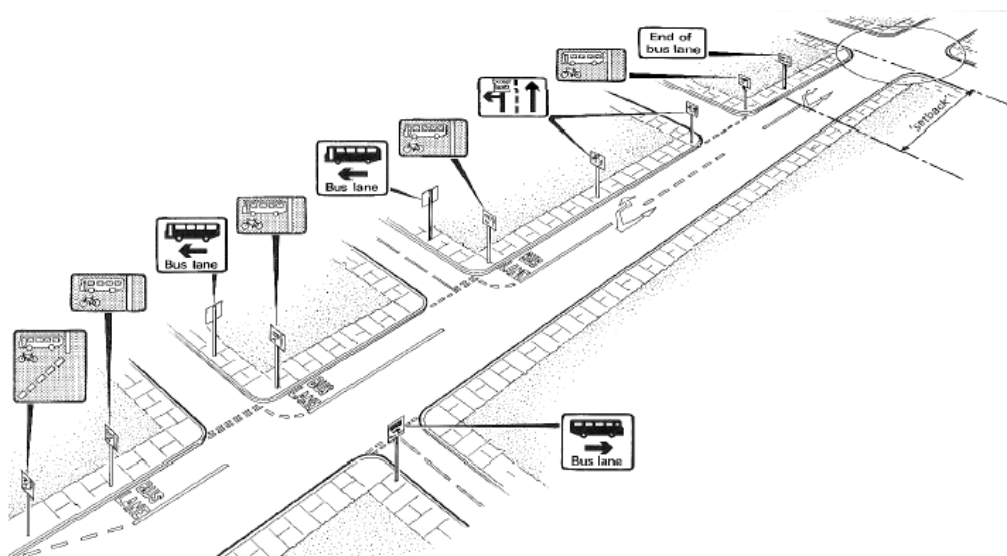


Figura 6. Esquema de uma via BUS no sentido da corrente de tráfego (Gregório, 2009)

2.3.2.2. Via BUS no sentido contrário ao da corrente de tráfego (*Contra-Flow*)

Ao contrário do tipo de via BUS descrito no ponto anterior, este tipo de vias funciona no sentido contrário ao da corrente de tráfego (Figura 7).

Tal como o tipo de via BUS descrita no ponto anterior, este tipo de via também confere ao TP uma melhoria nos tempos de viagem e qualidade dos serviços prestados.



Figura 7. Via BUS no sentido contrário ao da corrente de tráfego (Gregório, 2009)

Este tipo de via BUS são implantadas em ruas de sentido único (Figura 8) para facilitar a passagem por percursos mais curtos e assim poupar combustível e tempo.

Os dois tipos de Vias BUS descritos são separados do restante tráfego pela respetiva sinalização horizontal, a qual inclui a inscrição BUS, e tem de se encontrar de acordo com o Regulamento de Sinalização de Trânsito ou por um material saliente no pavimento que permita materializar a separação das correntes de tráfego.

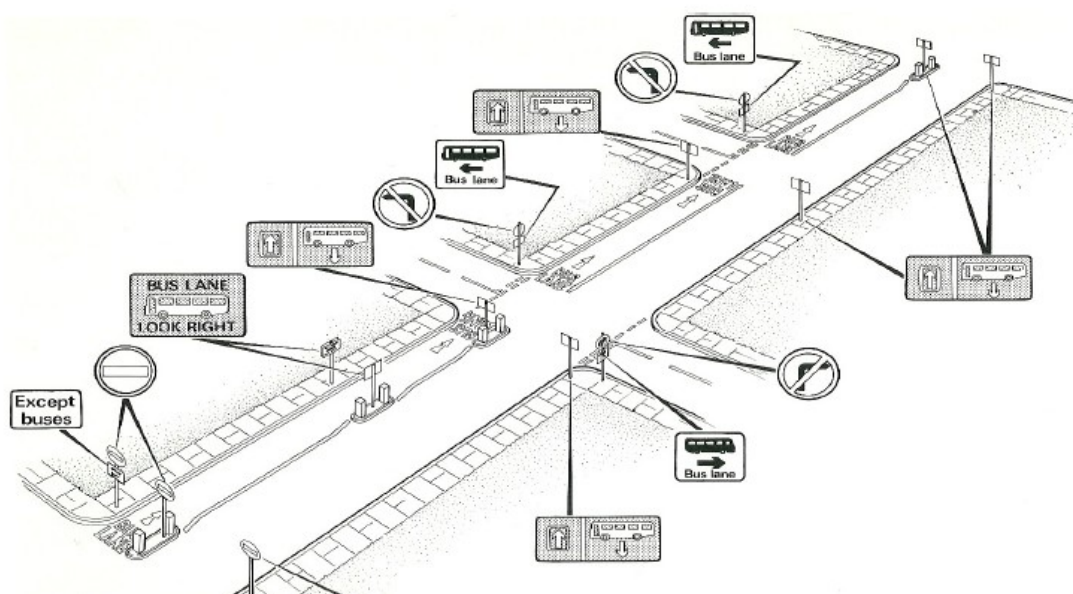


Figura 8. Esquema de uma via BUS no sentido contrário ao da corrente de tráfego (Gregório, 2009)

2.3.3. Utilização e implementação das vias BUS

A implementação de uma via BUS implica alterações na situação existente, quer seja na substituição de uma via já existente (tornando-a numa via BUS) ou na diminuição da largura

das vias existentes de modo a que seja possível criar uma extra ou ainda no aumento da largura efetiva da rua de forma a conseguir implantar uma nova via destinada à circulação de TP. Existe outra alternativa, talvez a mais utilizada, que passa por eliminar o estacionamento existente na via pública, seja ele legal ou ilegal, formalizando esse espaço como uma zona exclusiva à passagem do TP.

É de esperar que os efeitos futuros no serviço aos passageiros sejam positivos, pois a intenção é diminuir os tempos de viagem e aumentar a velocidade comercial, não sendo no entanto de esperar que o restante tráfego acompanhe a evolução da via BUS devido a ser privado de certos movimentos e de espaço de circulação, o que traduzirá necessariamente numa diminuição de capacidade das vias para estes veículos. (Gregório, 2009)

Porém, segundo um estudo realizado por Shalaby e Soberman (1994) que consistiu a implementação de uma via BUS em cerca de 3 kms do centro de Toronto, demonstrou-se que o tempo de viagem do TP diminuiu significativamente, sem provocar impacto no restante tráfego. Também um outro trabalho realizado na cidade grega de Thessaloniky (Tos, 1997) apontou para um aumento da velocidade dos TP de 7,8 km/h para 11,8 km/h com a implementação de vias BUS.

2.3.3.1. Corredores de aproximação a semáforos

Existe um conjunto diferenciado de soluções aplicáveis às situações em que um, ou mais, dos eixos de acesso a uma interseção regulada por sinais luminosos apresenta corredor BUS (Figura 9). Este tipo de corredores possuem curtas extensões e situam-se a montante das interseções.

Estas soluções podem apresentar diferentes níveis de prioridade relativa atribuída aos modos mais eficientes, dependendo do impacto negativo que for considerado aceitável relativamente ao TI ou das consequências ao nível sistémico que as soluções adotadas ao nível de uma interseção possam ter. (CCDRN, 2008)



Figura 9. Corredor de aproximação a uma interseção com paragem (Gregório, 2009)

Uma solução concetualmente muito simples e que representa uma atribuição de grande prioridade ao TP corresponde á situação em que o corredor BUS na via de acesso à interseção é prolongado mesmo até à linha de paragem, como mostra a Figura 10.

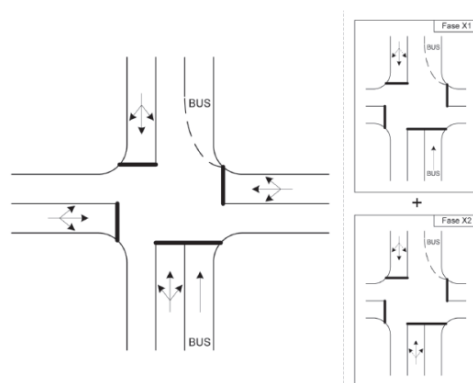


Figura 10. Solução de regulação com geometria sem interrupção do corredor BUS (CCDRN, 2008)

Neste caso é necessário adotar duas fases consecutivas para servir a mesma entrada da interseção, para evitar conflitos entre as correntes de tráfego de TI e TP. Esta situação tende a resultar em soluções de regulação dos sinais luminosos muito pouco eficientes do ponto de vista da otimização da capacidade de circulação de veículos, gerando em alguns casos situações de congestionamento significativas que se poderão espalhar pelos restantes elementos da rede, resultando nesses casos em impactos negativos para o TP.

Em alternativa a esta solução, é mais comum o desenvolvimento de soluções de regulação de interseções por sinais luminosos onde se interrompe o desenvolvimento dos corredores BUS em determinados troços imediatamente a montante e a jusante das interseções. (ver Figura 11) Este tipo de solução ao permitir o serviço a todas as correntes de tráfego da entrada de uma só vez representa um compromisso interessante entre a necessidade de privilegiar a circulação

dos TP ao longo de eixos prioritários, e a necessidade de garantir níveis significativos de capacidade na interseção. (CCDRN, 2008)

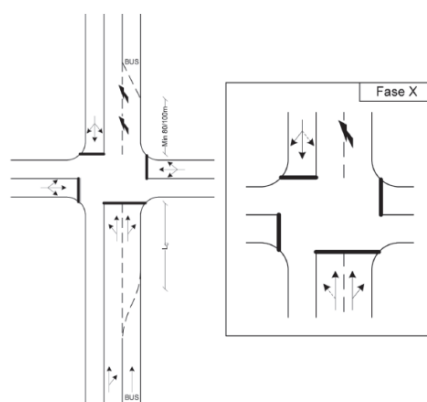


Figura 11. Solução de regulação com geometria com interrupção do corredor BUS
(CCDRN, 2008)

No entanto, para que a solução permita oferecer adequadas condições de fluidez para a circulação dos TP será necessário que a interrupção do corredor BUS seja implantada obedecendo a algumas regras.

Uma das regras é que a montante da interseção a interrupção do corredor BUS crie uma via adicional com uma capacidade de armazenamento inferior ao número total de veículos passíveis de entrar na interseção durante o período de verde da fase que serve a entrada, criando assim uma via curta para o tráfego geral, de modo a que qualquer veículo de TP tenha praticamente certa a possibilidade de ser servido no primeiro período de verde disponível após a sua chegada às proximidades da interseção.

Uma outra regra que deverá ser seguida é a de que a jusante da interseção o reaparecimento do corredor BUS deverá ocorrer a uma distância mínima que garanta que os veículos automóveis que acedam à interseção pela entrada oposta e que se deslocam paralelamente ao sentido do corredor BUS, são suficientemente atraídos a utilizarem a via curta aí criada.

Sendo assim, é recomendável que esse reaparecimento ocorra a pelo menos 100 metros após a interseção, com um mínimo desejável de 80 metros, garantindo assim uma transição suficientemente suave de um perfil com duas vias para outro com apenas uma (ver ainda a Figura 11) (CCDRN, 2008).

As soluções descritas anteriormente, ao contrário da apresentada na Figura 12, destinam-se à regulação de situações em que os circuitos de TP que acedem ao cruzamento usando o corredor BUS só poderão seguir em frente ou efetuar viragens à direita.

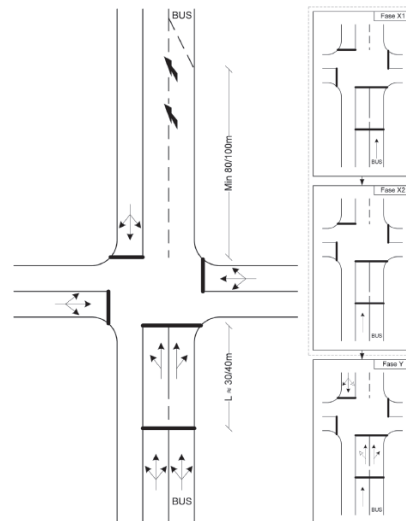


Figura 12. Solução de regulação com semáforo viabilizando viragem à esquerda dos TP (CCDRN, 2008)

Quando alguns autocarros necessitam de virar à esquerda, a solução de regulação tendencialmente ótima implica a utilização de uma linha de paragem semaforizada auxiliar e a aplicação de uma sequência de subfases específica (Figura 12) capaz de garantir que todos os veículos de TP vindos do corredor BUS têm a possibilidade de se posicionarem na via adequada ao movimento da direção desejada, e que poderão fazê-lo à frente dos outros veículos comuns quando a fase principal que os serve for ativada.

Segundo (O'Flaherty,1997), na Grã-Bretanha o corredor de aproximação às interseções sinalizadas por sinais luminosos esta é das medida de prioridade mais comum. A maioria destes corredores não atinge mais de 250 metros de extensão, exigindo assim um constante policiamento para garantir que o restante tráfego não condiciona a circulação nestes corredores.

2.3.4. Sistemas inteligentes de ajuda ao Transporte Público

Atualmente, os Sistemas de Tráfego Inteligentes (STI ou Intelligent Transportation Sytems - ITS), também designados por Sistemas de Controlo de Tráfego Urbano (CTU ou Urban Traffic Control Sytems – UTC) são objeto de estudo em todo o mundo para servirem de ferramentas para o melhor controlo de tráfego. Estes sistemas surgiram da necessidade de melhorar os sistemas de tráfego, em zonas congestionadas, onde não é possível ou desejável o aumento da capacidade por aumento ou modificação da geometria das vias. Assim, recorre-se cada vez mais a estes sistemas em virtude dos bons resultados obtidos por eles (Moniz, 2007).

Atualmente são muitos os sistemas de STI implementados ou em estudo, fazendo parte destes estudos os Sistemas de gestão de Transportes Públicos (Advanced Public Transportation Systems) que pretendem melhorar a eficiência, produtividade e segurança de sistemas de transportes públicos rodoviários (Chowdhury e Sadek, 2003).

Assim, um sistema utilizado é o denominado como pré-sinal e consiste na definição de um tempo de verde fixo para um semáforo que atuará separadamente sempre com um tempo igual, quer hajam veículos ou não na via. Outro dos sistemas utilizados é o sistema de detecção de veículos, com detetores implementados na via a uma determinada distância da interseção e cujos respetivos emissores nos autocarros são capazes de emitir impulsos passíveis de reconhecimento em tempo real por recetores localizados a montante da interseção, e cuja detecção manipula o semáforo no sentido de atrasar a passagem a vermelho quando o veículo de TP se aproxima durante o final da fase, ou antecipa o verde se este se aproxima mais cedo evitando assim a sua paragem (Gregório, 2009).

Outro sistema inteligente consiste num “Corredor Bus Intermitente” (CBI). Este sistema foi desenvolvido pelo Instituto Superior Técnico (IST) para áreas em que a frequência reduzida dos autocarros não justifica a atribuição em permanência de uma faixa exclusiva para os TP. Este sistema inteligente foi testado na Alameda da Cidade Universitária, em Lisboa, sendo o espaço de circulação reservado aos autocarros apenas pelo período de tempo estritamente necessário para que estes atravessem a secção rodoviária abrangida por este sistema. Assim, o CBI será uma via de trânsito cujo estatuto, pode ser alterado em tempo real, podendo funcionar como via de trânsito regular (acessível a qualquer veículo), ou como corredor BUS (reservado a TP). Os condutores são informados através de sinalização luminosa vertical ou horizontal (Figura 13) o acesso ou não a esta via, isto é, quando a sinalização está ativa, o tráfego geral não pode entrar nessa via e o que já lá está continua até sair. (Viegas et al., 2007)



Figura 13. Sinalização vertical e horizontal para informação aos condutores (Viegas et al., 2007)

Os resultados obtidos com a implementação deste sistema revelam que existe um aumento de até 20% na velocidade média dos autocarros. (Viegas et al., 2007)

Um estudo realizado em Columbia Pike, em Arlington, Virgínia (Dion et al., 2004) avaliou os benefícios da implementação de medidas de prioridade ao TP recorrendo a estes sistemas inteligentes de prioridade ao longo de uma parte da rede rodoviária onde existem interseções semaforizadas. No estudo realizado, foram selecionados dois períodos do dia para avaliação, o período de pico da manhã (7h00-9h00) e o período do meio-dia (11h00-13h00). Os resultados indicaram que a atribuição da prioridade era benéfica para os veículos de TP nos dois períodos do dia sem afetar significativamente o tráfego em geral. Também em ambos os períodos do dia analisados, os resultados da simulação indicaram que houve redução no tempo de viagem, diminuindo-se assim o atraso, o número de paragens e o consumo de combustíveis nos veículos de TP.

Na Figura 14 está esquematizado um caso de pré-sinal, onde se verifica que o “*pre-signal*” (semáforo onde atua o verde exclusivamente para a via BUS) tem uma fase completamente separada do “*main-signal*” (semáforos da interseção) e que possibilita as mudanças de via, se necessárias, para os autocarros sem interferir com o tráfego normal que se encontra parado no “*pre-signal*”.

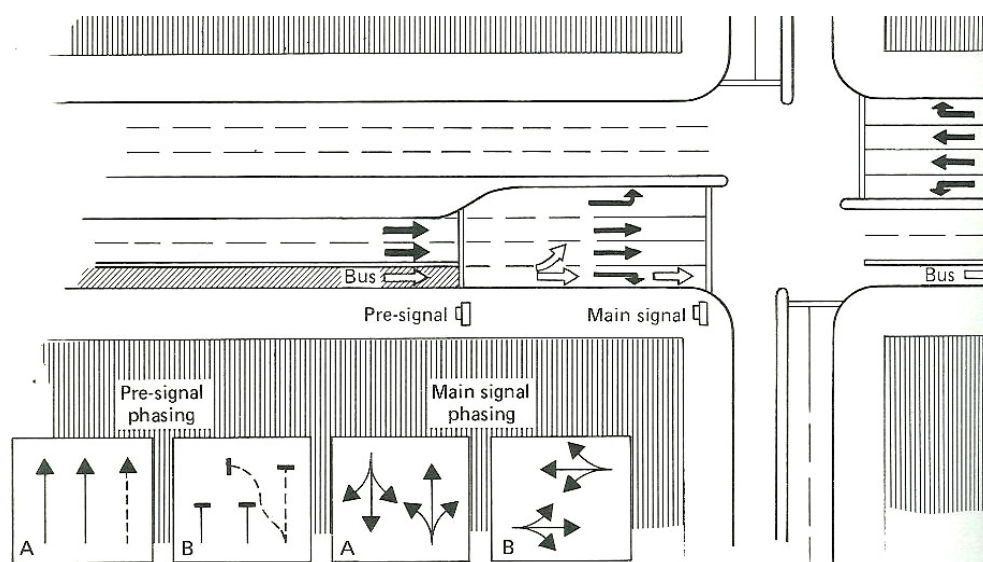


Figura 14. Esquema de pré- sinal (Otan, 1976)

Em suma, a prioridade aos TP utilizando sistemas inteligentes, podem ser de programação de ajuste fixo, denominado de pré-sinal, ou de ajuste automático, utilizando detetores de veículos.

Estas medidas de prioridade inteligentes, tornam-se ainda mais importantes quando se pretende atribuir a prioridade aos TP sem que exista possibilidade de alterar a geometria do traçado na interseção. No entanto, deve-se ter especial atenção para que estas medidas não motivem atrasos significativos para o restante tráfego, pelo que as estratégias devem ser corretamente adotadas. (SEDU/PR e NTU, 2002)

Encontram-se assim apresentadas neste capítulo, todas as medidas de prioridade existentes para o TP nas interseções semaforizadas.

Capítulo 3

METODOLOGIA – CASO DE ESTUDO

3. METODOLOGIA – CASO DE ESTUDO

A metodologia seguida no trabalho será explicada neste capítulo recorrendo ao fluxograma representado na Figura 15. Após a recolha de informação e revisão da literatura que se encontram descritos no capítulo 2, efetuou-se a planificação dos trabalhos necessários para a elaboração da dissertação.

Numa primeira fase procedeu-se à identificação e caracterização da área em estudo, sendo também estudada a situação atual. Isto é, foi realizada uma descrição das interseções existentes na Avenida Doutor Lourenço Peixinho e recolhidos volumes de veículos e temporização e fases dos sinais luminosos em toda a rede viária. Serão explicadas a seguir as metodologias e limitações encontradas.

Numa segunda fase serão apresentados alguns *softwares* de microsimulação, descrevendo-se o *software* utilizado, o AIMSUN e todos os passos elaborados para a construção do modelo.

Finalmente, na última parte é demonstrada como se faz a calibração e validação do modelo, utilizando o parâmetro GEH e o tempo de percurso da Linha 4 da empresa de Transportes da MoveAveiro.

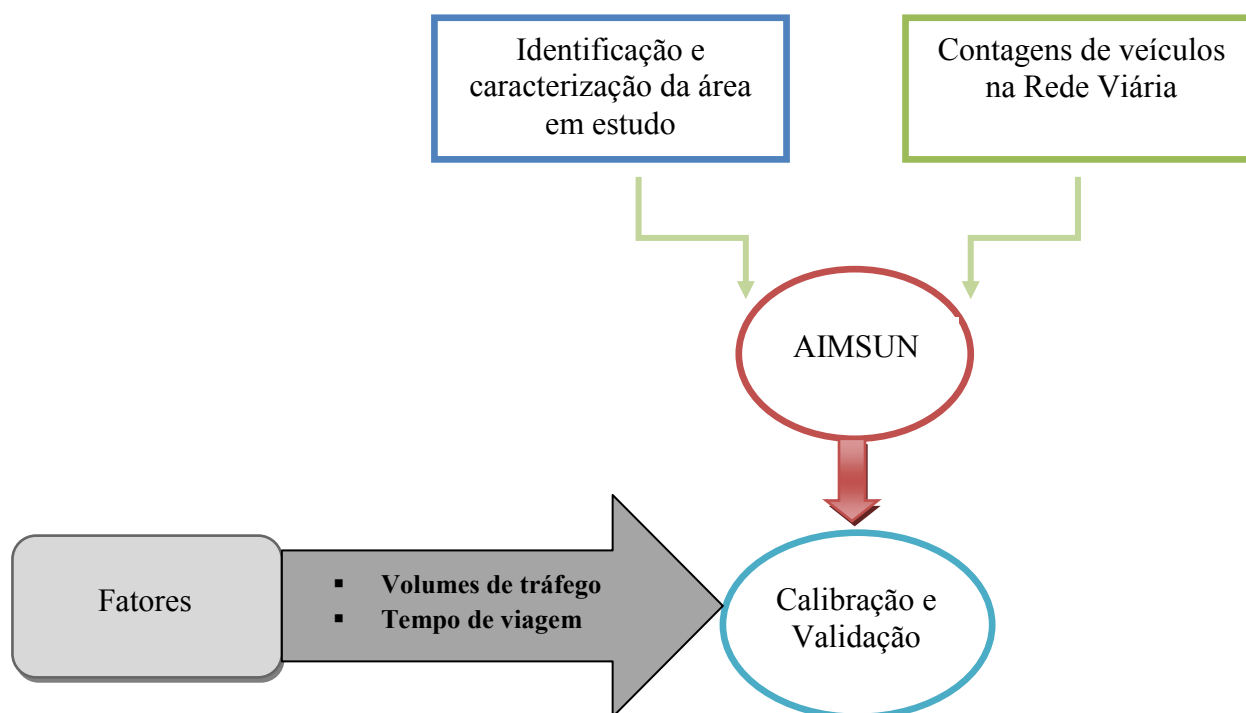


Figura 15.

Fluxograma da metodologia

3.1. Identificação e caracterização da área em estudo

Aveiro é uma cidade com importante área industrial e comercial e um ponto estratégico para o comércio internacional, beneficiando de várias redes de transporte, incluindo o transporte rodoviário, ferroviário e ligações marítimas. Está localizada na costa noroeste de Portugal a 78 Km do Porto e a 275 Km de Lisboa (Capital) (Figura 16). (Amorim et al., 2010)

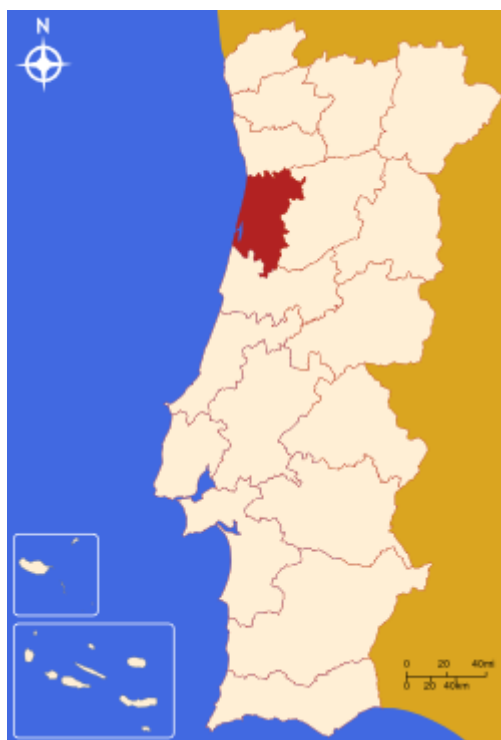


Figura 16. Aveiro no mapa de Portugal (Fonte: Google)

O município de Aveiro tem uma área de 200 Km², possui uma população de 75.000 habitantes e um campus universitário, com cerca de 15.000 estudantes. (Amorim et al., 2010)

O caso de estudo escolhido consiste na análise da avenida principal da cidade de Aveiro, a Avenida Lourenço Peixinho (ALP). (Figura 17)

Esta avenida ocupa um lugar de destaque na cidade de Aveiro (ver figura 18), e é nesta zona onde existe maior concentração de TP. De acordo com o documento *Plano Municipal de Mobilidade de Aveiro* (Julho, 2012) nesta avenida chegam e partem de Aveiro cerca de 4.500 pessoas por dia nos diversos TP que servem a cidade, pelo que a decisão de se efetuar este estudo adveio de uma necessidade de favorecer os TP nas interseções semaforizadas existentes, pois como foi dito anteriormente, são estas interseções que provocam o seu atraso, garantindo assim uma melhoria das ligações intermodais (comboios vs autocarros) através da

melhoria das condições de operação dos autocarros o que se traduz numa potencial maior atratividade das populações por este modo de transporte.



Figura 17. Avenida Dr. Lourenço Peixinho (Fonte: Google)

A Avenida inicia-se na periferia do centro da cidade de Aveiro, na Ponte da Praça junto a uma interseção e termina na Estação de Comboios. Esta apresenta um perfil transversal com cerca de 30 metros, com duas faixas de rodagem, uma em cada sentido de 8 metros, com passeios de 3 metros e uma placa central de 8 metros com duas filas de árvores. A placa central é dividida e cortada em fatias para permitir a circulação do tráfego nas ruas transversais. No final da Avenida, a placa central dá ainda lugar a um túnel que é utilizado pelos veículos motorizados.

Quanto ao estacionamento existem 212 lugares, sendo 194 lugares de estacionamento pago, 15 lugares de estacionamento reservado a entidades e 3 lugares destinados a deficientes (CMA, 2013).

Ao longo da sua extensão existem 4 interseções semaforizadas. (ver Figura 19)



Figura 18. Zona estudada para implementação da prioridade a TP (Foto retirada do Bing Maps)

A área em estudo caracteriza-se por uma ocupação de solo destinado a comércio e serviços, edifícios de habitação e uma estação de comboios. Devido à conjugação destes fatores, a principal preocupação será promover a prioridade aos TP não perturbando o restante tráfego nem efetuar demasiadas modificações geométricas do traçado e tendo uma especial atenção ao estacionamento legal e ilegal existente.

Face ao exposto e devido a aspetos como as particularidades de cada interseção, houve necessidade de numerar as interseções existentes, tornando assim o estudo mais simples e organizado e de melhor compreensão.



Figura 19. Identificação das interseções semaforizadas pertencentes à ALP (Foto retirada do Bing Maps)

Para melhor perceção das interseções, apresenta-se na Tabela 1 alguma informação relativa à localização e respetivos arruamentos que confluem para cada uma delas. Mais adiante neste

capítulo irão ser descritas mais detalhadamente cada uma das interseções, encontrando-se no Anexo A, imagens mais pormenorizadas (fornecidas pela Câmara Municipal de Aveiro) de cada interseção.

Tabela 1. Descrição (resumida) das interseções pertencentes à ALP

INTERSEÇÃO	LOCALIZAÇÃO (RUAS)
A	Rua Viana do Castelo; Rua Conselheiro L. Magalhães; Avenida Doutor Lourenço Peixinho
B	Rua de Agostinho Pinheiro; Avenida Doutor Lourenço Peixinho
C	Rua Doutor Alberto Souto; Avenida Doutor Lourenço Peixinho; Rua Engenheiro Silvério Pereira da Silva
D	Rua do Engenheiro Oudinot; Avenida Doutor Lourenço Peixinho

3.2. Análise da situação atual

Trata-se de um eixo particularmente exigente no que toca à circulação de autocarros que operam no concelho de Aveiro uma vez que muitas das linhas dos vários operadores que operam no concelho de Aveiro passam na Avenida Dr. Lourenço Peixinho. São de igual importância tanto os movimentos de entrada como de saída da avenida, pelo que as alterações a implementar terão de oferecer vantagens em ambos os sentidos, sendo pertinente uma análise interseção-a-interseção para captar todas as consequências relativas a cada uma delas.

3.2.1. Oferta no concelho Concelhio (MoveAveiro)

De modo a analisar-se o número de circulações de autocarros que utilizam a Avenida Dr. Lourenço Peixinho nos seus trajetos realizou-se uma análise à oferta dos vários operadores existentes. Quanto à MoveAveiro, empresa municipal que assegura o transporte coletivo rodoviário no contexto concelhio, esta organiza a sua oferta em 4 linhas - numeradas de 1 a 4 (ver figuras 20,21,22 e 23) – servindo a totalidade das freguesias do concelho à exceção de S.Jacinto.

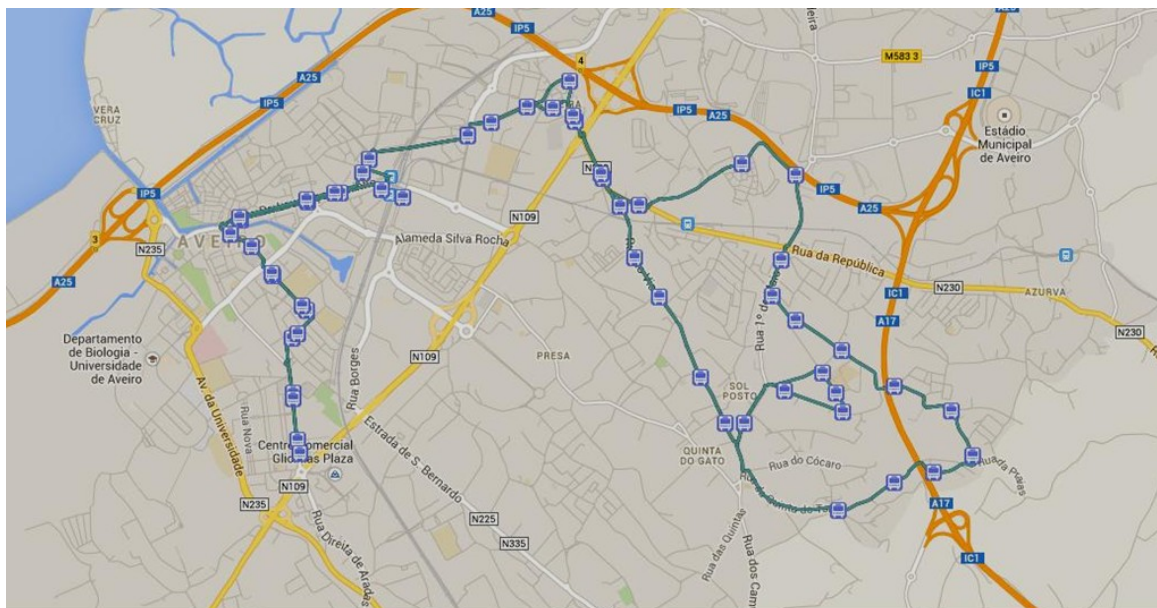


Figura 20. MoveAveiro - Linha 1

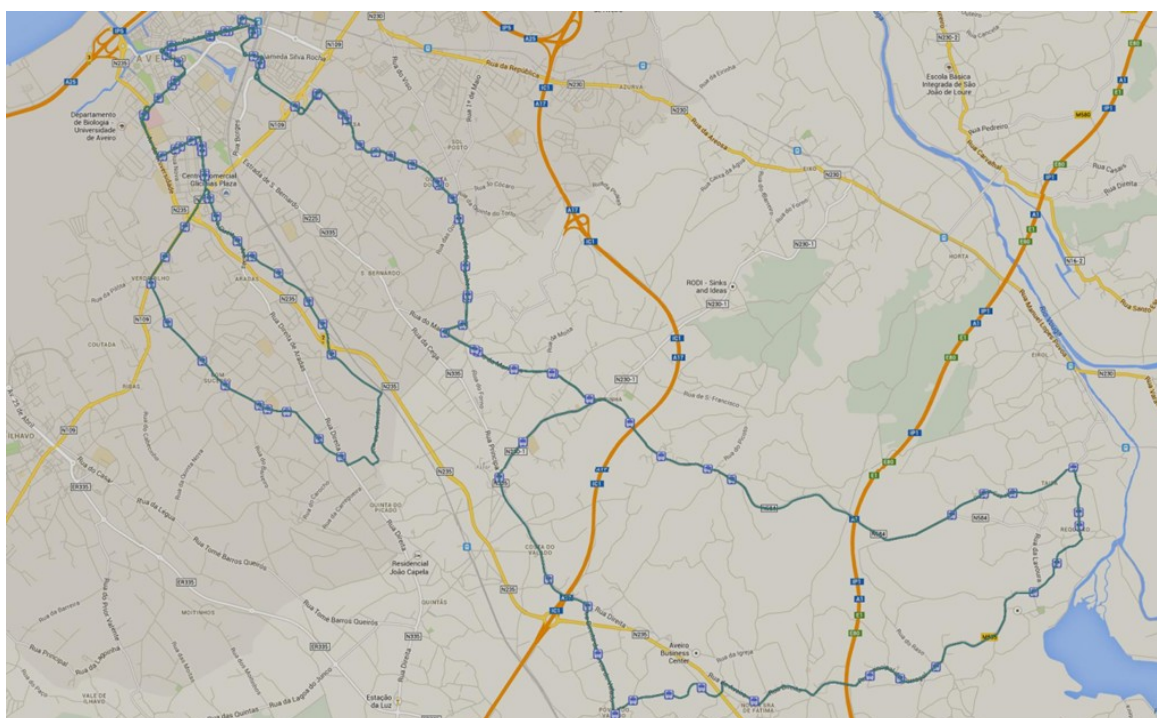


Figura 21. MoveAveiro - Linha 2

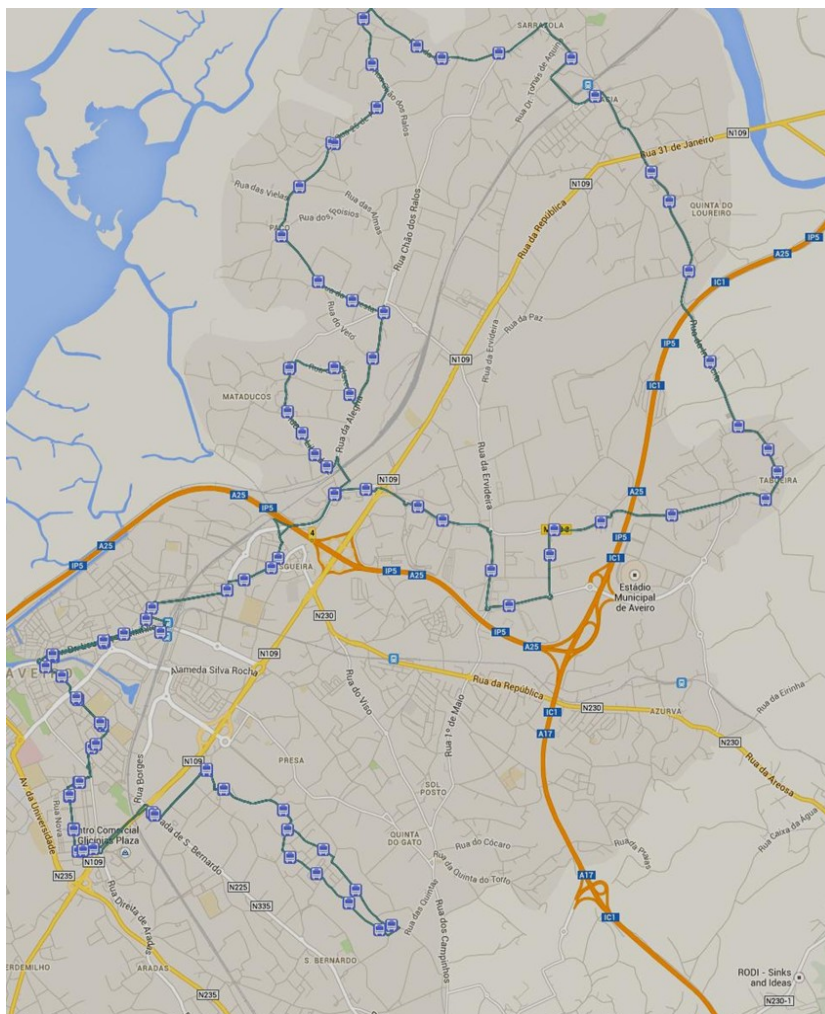


Figura 22. MoveAveiro – Linha 3a e 3b

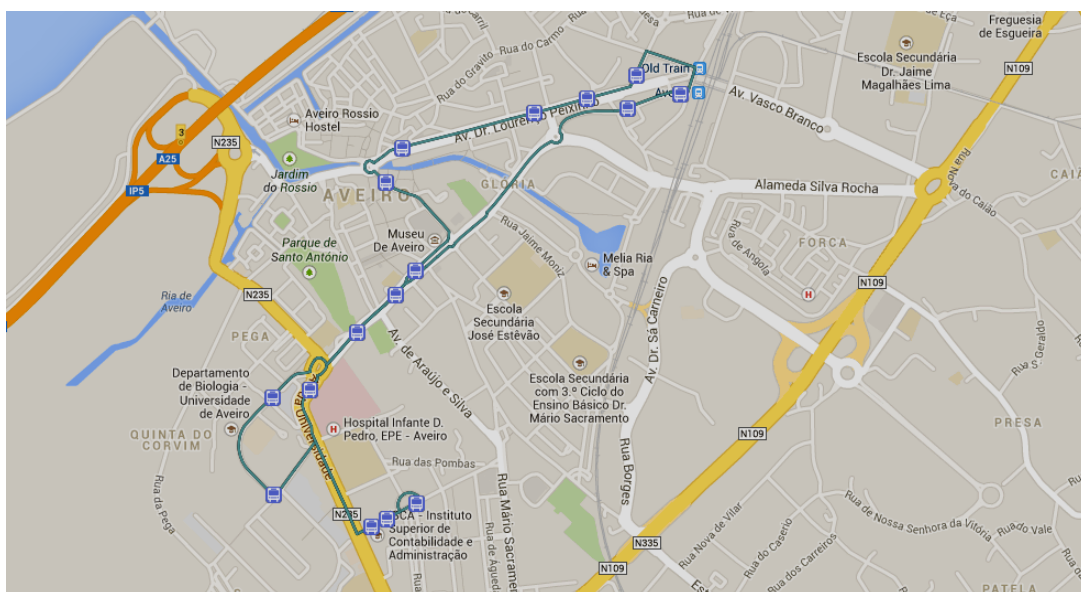


Figura 23. MoveAveiro – Linha 4

Deste conjunto, apenas uma das linhas (linha 4) tem desenvolvimento exclusivamente interno à cidade de Aveiro sendo que a esta acresce ainda uma "nova" linha que irá ao Crasto em três horários de manhã, dois na hora de almoço e três ao fim da tarde, uma vez que com a entrada da nova Escola Superior de Saúde – ESSUA e do Complexo de Residências de Crasto registou-se um grande aumento do afluxo de pessoas para o Campus do Crasto.

As restantes linhas se entrecruzam no espaço urbano estabelecendo ligações entre as restantes freguesias do concelho, criando assim uma rede, centrada na sede de concelho, que se articula em ambos os extremos da ALP, sobrepondo-se assim no hipercentro da cidade.

3.2.2. Serviços de Transporte Extra-Concelhios

Para além da oferta proporcionada pela MoveAveiro, o concelho é ainda servido por uma Rede Intermodal de Aveiro (RIA) (ver figura 24), atualmente detida pelo Grupo Transdev, que se passam a enumerar: (<http://www.transdev.pt/ria/>)

- Rede UrbAveiro;
- Albergaria-a-Velha – Aveiro;
- Águeda – Aveiro;
- Cantanhede – Aveiro;
- Costa Nova – Praia da Barra – Aveiro;
- Figueira da Foz – Ílhavo – Aveiro;
- Mamodeiro – Aveiro.

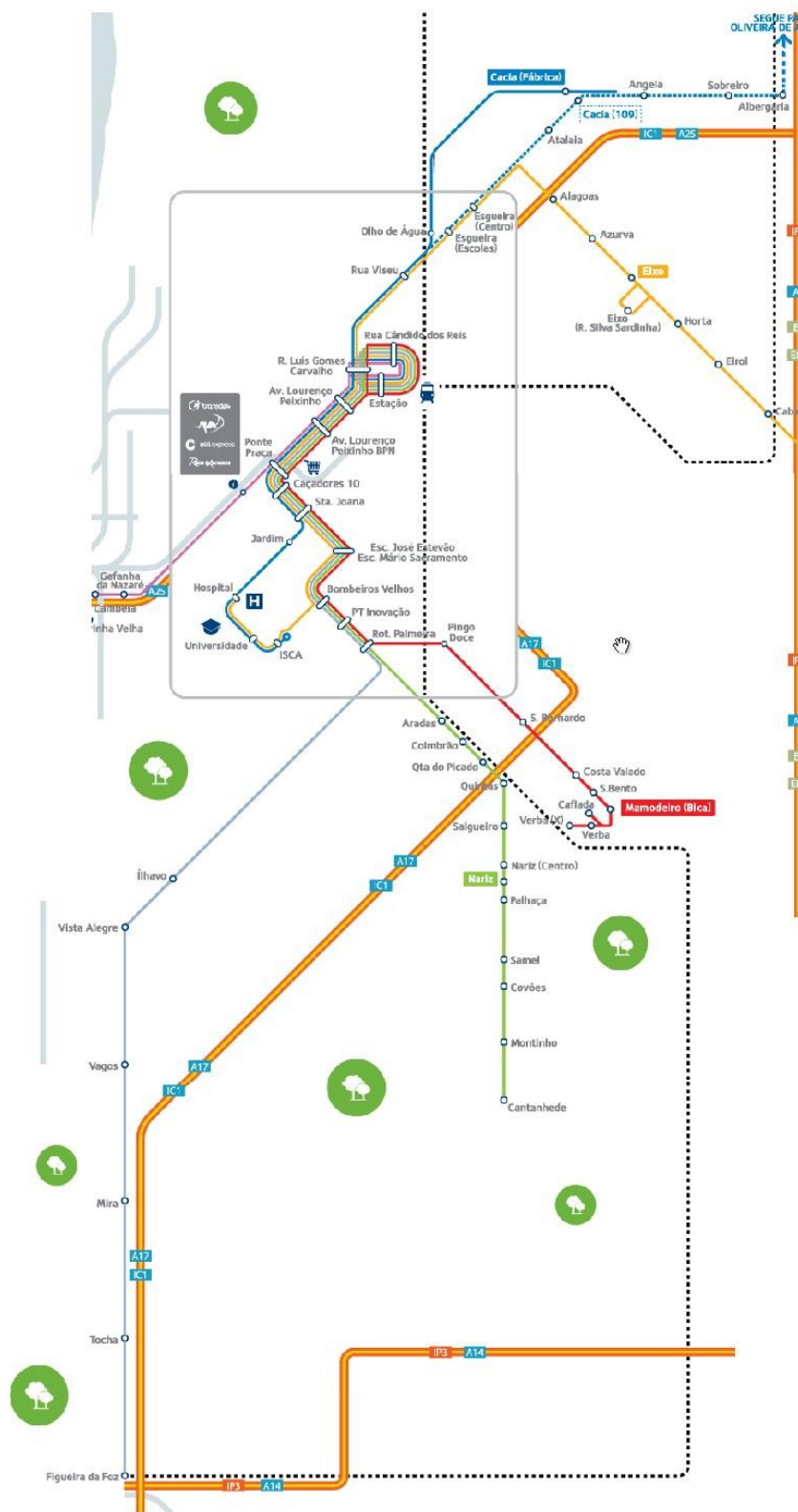


Figura 24. Rede Intermodal de Aveiro (RIA)

Este conjunto de autocarros estabelecem as ligações rodoviárias do concelho para a sua envolvente imediata.

Para melhor entendimento das linhas e dos seus itinerários das empresas operadoras no concelho de Aveiro, apresenta-se de seguida uma tabela com todos os autocarros do serviço municipal e privado tido em atenção neste estudo. (ver Tabela 2)

Tabela 2. Empresas operadoras no concelho de Aveiro

LINHA	OPERADOR	CARREIRA
Linha 1	MoveAveiro	Solposto - Quinta do torto
Linha 2	MoveAveiro	Quinta do Picado - Oliveirinha - Carregal
Linha 3a	MoveAveiro	Vilar - Quintã Loureiro - Taboeira
Linha 3b	MoveAveiro	Santiago – Sarrazola - Taboeira
Linha 4	MoveAveiro	Estação – CP/Hospital/Universidade/ Crasto
RIA (Rede Intermodal de Aveiro)	Urbaveiro	Cacia - Aveiro
	Urbaveiro	Mamodeiro - Aveiro
	Urbaveiro	Nariz - Aveiro
	Urbaveiro	Eixo - Aveiro
	Transdev	Vale de Cambra - Aveiro
	Transdev	Oliveira de Azeméis - Albergaria-Aveiro
	Ava Aveirense	Aveiro - Barra - Costa Nova
	Ava Aveirense	Aveiro - Barra
	Ava Aveirense	Aveiro - Praia de Mira
	Ava Aveirense	Aveiro - Praia da Vagueira
	Ava, Joalto Mondego, Tansdev	Aveiro - Mira - Figueira da Foz
	Ava, Joalto Mondego, Tansdev	Aveiro - Cantanhede
	Ava, Joalto Mondego, Tansdev	Aveiro - Vista Alegre - Vagos

De realçar também os elevados volumes de tráfego ligeiro, uma vez que se trata de um eixo muito procurado devido à ligação que possibilita a alguns dos locais mais importantes da Cidade de Aveiro e também constituir o centro linear da cidade. A conjugação destes fatores leva ao aparecimento de constrangimentos dispersos ao longo de diversos pontos na área, fator relevante para a necessidade de implementação de algumas medidas de prioridade aos TP. Também, segundo o *Plano Municipal de Mobilidade de Aveiro* (Julho, 2012) o facto de a pressão de estacionamento ilegal (estacionamentos em segunda fila) ser elevada induz ainda mais o aparecimento de pontos de conflito entre o tráfego rodoviário o que prejudica o desempenho da rede neste local.

Sendo assim, ao longo de toda a Avenida Dr. Lourenço Peixinho existem problemas com a fluidez dos veículos, nuns locais mais visíveis que outros, mas que prejudicam o desempenho dos autocarros e motivam desta forma o estudo da possível implementação de medidas de prioridade a estes veículos.

3.3. Descrição das interseções analisadas

Nesta secção será descrita de forma pormenorizada todas as interseções citadas no ponto 3.1. Para facilitar a compreensão da interseção em estudo serão proporcionadas algumas fotos aéreas (www.livemaps.com.br). Nas figuras estão representadas todos os ramos de cada interseção.



Figura 25. Interseção A

Relativamente a esta interseção (Figura 25) é de salientar que se trata da primeira interseção na entrada para a ALP e a última que dá acesso ao centro de Aveiro.

Atualmente a interseção encontra-se regulada por sinais luminosos usando a estratégia do tipo fixo. O plano de regulação é composto por duas fases, sendo que a fase A avança o tráfego proveniente A.1 (Rua Viana do Castelo) e A.3 (ALP), na fase B recebe o sinal verde o tráfego da Rua Conselheiro Luís Magalhães (A.4).

Em termos geométricos, todas estas vias apresentam um perfil transversal do tipo estrada de quatro vias, ou seja, uma faixa de rodagem com duas vias de tráfego em cada sentido com larguras por via que variam entre os 3,5 e os 4,0 m.

Um dos grandes inconvenientes desta interseção é sem dúvida a necessidade dos autocarros no troço A.1 se terem que juntar à corrente de tráfego que circula neste troço para prosseguirem, isto devido a uma paragem existente no local. A paragem do autocarro é feita em parte, na via de circulação, existindo apenas uma marcação de paragem no pavimento e um abrigo. Este inconveniente gera algum desconforto, uma vez que, por vezes, quando para mais que um autocarro é ocupada grande parte das vias de tráfego, afetando o restante tráfego. Um outro inconveniente que agrava ainda mais a sua circulação é o facto de existir um semáforo logo na transição do troço A.1 para o troço A.2, interrompendo o fluxo de tráfego e provocando filas de espera. Esta situação afeta fortemente os autocarros, já que estes não se conseguem juntar ao fluxo de tráfego de outros veículos.

Quanto às condições no troço A.3, este possui duas vias de trânsito, sendo que a circulação de tráfego só pode seguir em frente podendo este ser afetado pelo semáforo existente no troço em causa.

Nos restantes troços não existem inconvenientes, uma vez que no troço A.4 não existe circulação de autocarros e no troço A.5, apesar de existir uma paragem de autocarros estes não são afetados por grandes paragens, uma vez que não existe controlo semafórico e possui uma via reservada onde o autocarro para sem interferir com o restante tráfego.

O movimento dos autocarros é feito apenas em dois sentidos (ver Figura 26), não efetuando viragens à direita nem à esquerda.

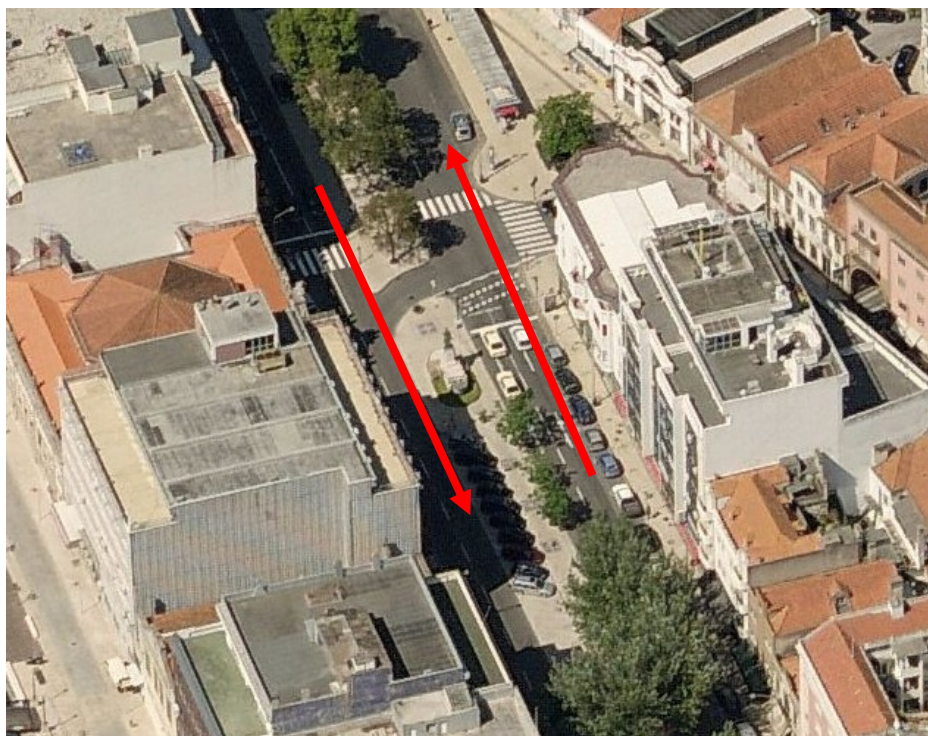


Figura 26. Movimento dos autocarros na interseção A

A interseção B (ver Figura 27) situa-se junto ao Fórum Aveiro, constituindo-se como a intersecção entre a ALP e a Rua de Agostinho Pinheiro. Quanto à ALP serve predominantemente o trânsito que sobe e desce a Avenida até à Estação de Comboios.

Quanto à estratégia de regulação dos sinais luminosos encontra-se regulada por tempos fixos. Os veículos que circulam no troço B.1 apenas têm controlo semafórico quando pretendem efetuar a viragem á esquerda (para o troço B.3 e B.4), constituindo a fase A. A fase B serve o tráfego que desce a Avenida e que pretenda efetuar a viragem para a Rua de Agostinho Pinheiro.

Em termos geométricos, a via da ALP que sobe até à Estação de Comboios apresenta um perfil transversal de três vias, ou seja, duas para seguir em frente e uma de viragem à esquerda. Quanto ao itinerário oposto, que desce a ALP, apresenta um perfil transversal de duas vias. A Rua de Agostinho Pinheiro é uma rua de sentido único. As larguras das vias variam entre os 3,5 e os 4,0 m e todas apresentam estacionamento legal.

No geral é uma zona de grande movimento pedonal uma vez que dá acesso ao Fórum Aveiro. Em termos de paragens BUS, não existe nenhuma.

Em relação às condicionantes, é um local onde não ocorrem grandes contingências uma vez que os autocarros não efetuam quaisquer movimentos de viragem (ver Figura 28), nem estão sujeitos a paragem em nenhuma paragem BUS.

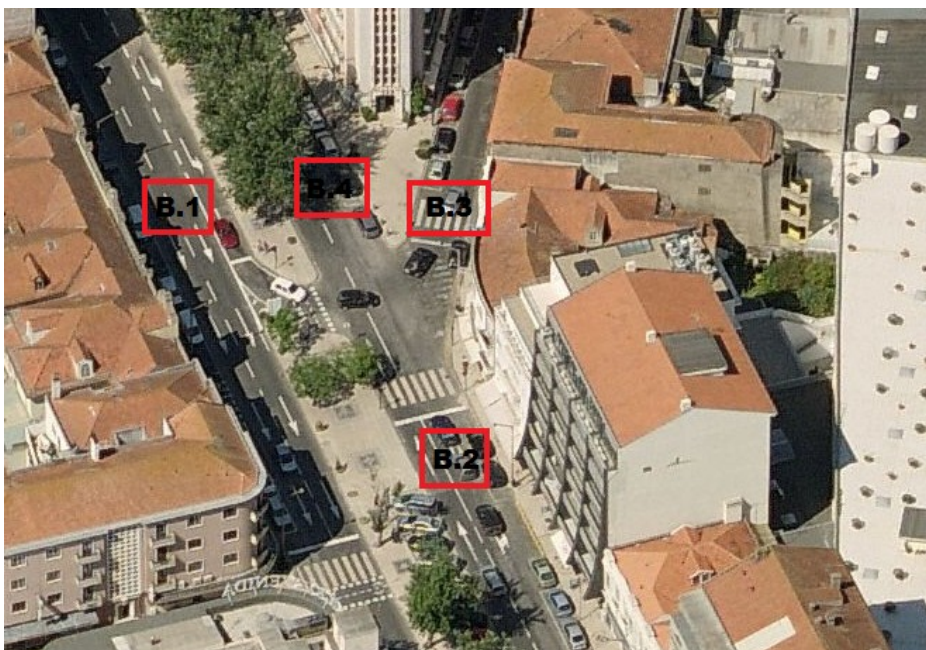


Figura 27. Interseção B

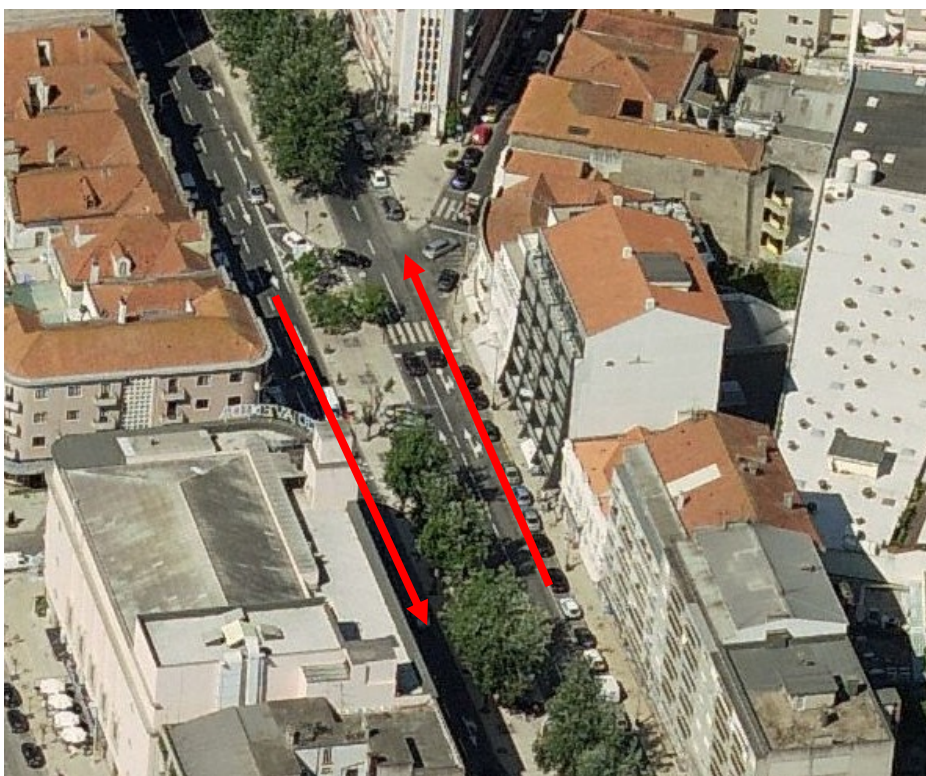


Figura 28. Movimento dos autocarros na interseção B

A interseção C (figura 29) situa-se tal como a interseção anterior junto ao Fórum Aveiro, constituindo-se como interseção entre a Rua Doutor Alberto Souto, a Rua Engenheiro Silvério Pereira da Silva e a ALP. A Rua Engenheiro Silvério Pereira da Silva faz a ligação ao Fórum

Aveiro. A ALP, como referido anteriormente serve predominantemente o tráfego que sobe e desce a Avenida até à Estação de Comboios.

A interseção atualmente encontra-se regulada por sinais luminosos usando uma estratégia de tempos fixos. O plano de regulação é composto por três fases, sendo que na fase A avança o tráfego que pretenda efetuar viragem à esquerda proveniente dos dois sentidos da ALP, na fase B recebe o sinal verde o tráfego que pretende seguir em frente e virar à direita nos dois sentidos da ALP e finalmente a fase C dá sinal verde a todas as passadeiras existentes no local.

Em termos geométricos, o troço C.1 e C.4 apresenta três vias de circulação, uma para efetuar a viragem à esquerda e duas para seguir em frente. Os troços C.2 e C.5 são ruas de sentido único, apresentando a rua C.2 duas vias de circulação e a rua C.5 três vias de circulação. As larguras por via variam entre 3,5 e os 4,0 m.

Em ambas as ruas de sentido único existe estacionamento ilegal, não interferindo na circulação dos autocarros, uma vez que estes não utilizam estas ruas no seu trajeto. Existe uma paragem BUS, com marcação no pavimento e abrigo. Esta está situada no troço C.4.

A paragem do autocarro faz-se num espaço entre estacionamento legal. A dificuldade surge quando os autocarros se tentam juntar à corrente de tráfego. Esta dificuldade surge devido à paragem dos autocarros não ser efetuada fora das vias de circulação ocupando assim uma delas, fazendo com que o tráfego apenas circule numa via, o que combinado com um semáforo que se encontra próximo do local de paragem provoca por vezes filas de tráfego tornando o movimento dos autocarros ainda mais condicionado.

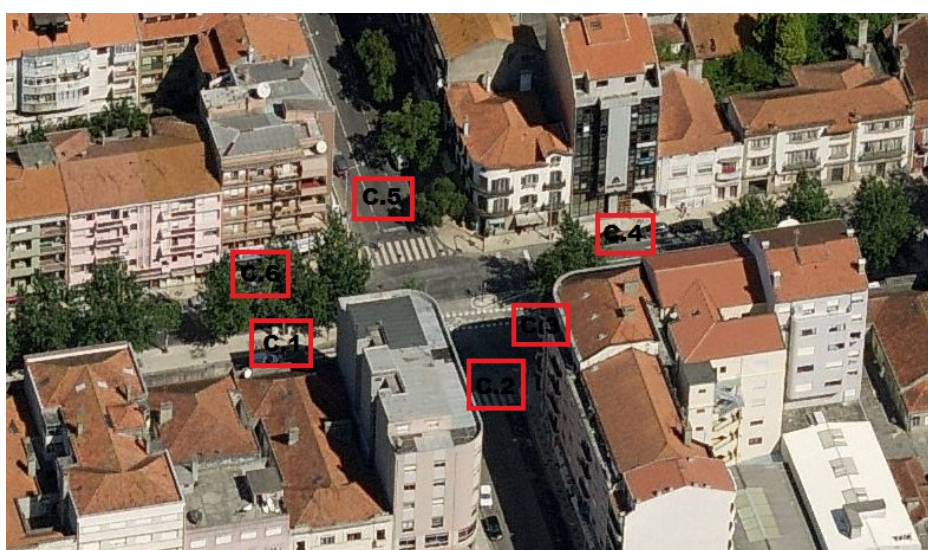


Figura 29. Interseção C



Figura 30. Movimento dos autocarros na interseção C

No que se refere à interseção D (figura 31), tal como a interseção B, esta interseção apresenta um movimento pedonal abundante, uma vez que neste local existe um pequeno Centro Comercial (Oita), constituindo-se como a interseção entre a Rua do Engenheiro Oudinot e a ALP. A Rua do Engenheiro Oudinot faz a ligação à Rotunda Oita que por sua vez dá acesso à Avenida Congressos de Oposição Democrática.

Quanto ao plano de regulação encontra-se atualmente regulado por sinais luminosos usando uma estratégia do tipo fixo. O plano de regulação é composto por três fases, sendo que na fase A avança o tráfego que sai da Rua do Engenheiro Oudinot e que pretenda realizar qualquer outro movimento de direção, na fase B recebe sinal verde o tráfego que pretenda seguir em frente (sentido descendente da Avenida) e à esquerda. Finalmente a fase C dá autorização para avançar o sentido ascendente e descendente da Avenida e o movimento de direção à direita para a Rua do Engenheiro Oudinot.

Em termos geométricos, os troços D.2 e D.5 são vias de sentido único com duas vias de tráfego, os troços D.3 e D.4 apresentam uma faixa de rodagem com duas vias de tráfego em cada sentido e por fim o troço D.1 apresenta três vias de tráfego, duas para seguir em frente e uma de viragem à esquerda, enquanto o troço D.6 apresenta duas vias de tráfego. A largura destas vias varia entre os 3,5 e os 4,0 m.

No troço D.1 existe uma paragem de autocarros apenas com marcação no pavimento. Esta paragem fica condicionada pelo estacionamento ilegal efetuado imediatamente a seguir. A dificuldade para os autocarros, tal como em situações anteriores, surge quando estes se têm que juntar à corrente de tráfego. Aqui também surge um semáforo imediatamente a seguir o que ainda dificulta mais a sua circulação. A circulação de autocarros é feita sempre em frente, sem viragens para a esquerda ou para a direita. (ver Figura 32)

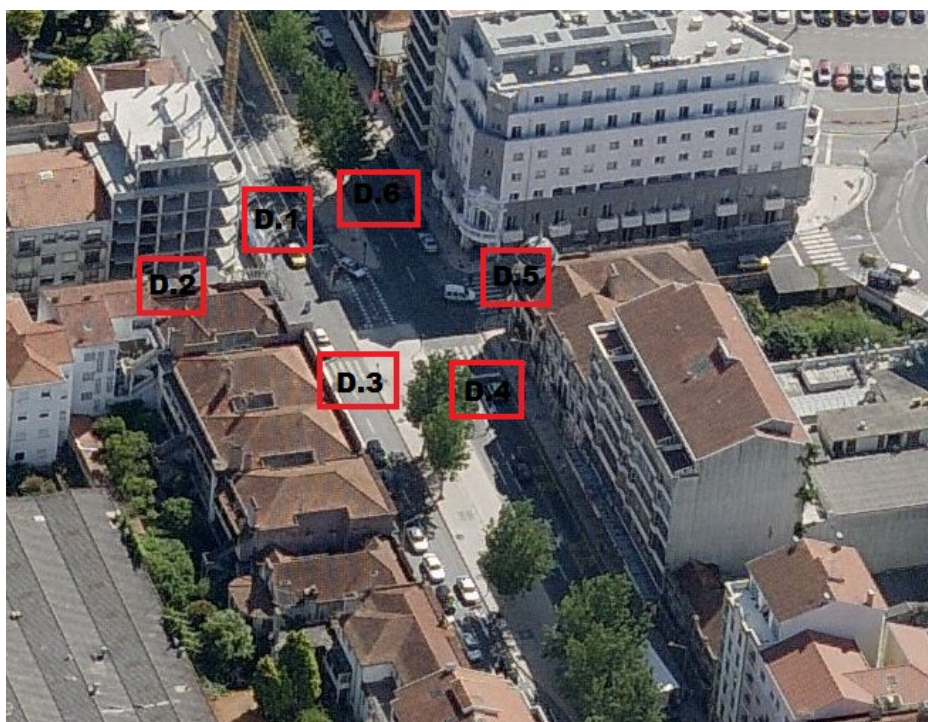


Figura 31. Interseção D



Figura 32. Movimento dos autocarros na interseção D

3.4. Tráfego na Rede Viária

Neste ponto será descrito o fluxo de tráfego que foi modelado na rede elaborada para o caso de estudo. Os dados disponibilizados pela Câmara Municipal de Aveiro, o documento *Plano Municipal de Mobilidade de Aveiro* (Julho, 2012), a Dissertação de Mestrado “O papel da mobilidade pedonal na eficiência energética”, bem como os dados recolhidos em campanhas de contagens realizadas para estudos anteriores foi fundamental. Estas contagens reportam a realidade existente nos anos de 2012 e 2013, período em que foram realizadas. Contudo apesar deste desfasamento temporal algumas das contagens foram usadas na modelação da rede, uma vez que, embora desejável, seria dispendioso e exigente em termos de recursos humanos efetuar contagens em todos estes locais e em simultâneo.

Apesar destas considerações, decidiu-se realizar novas contagens de tráfego adicionais na ALP. Um forte fator que levou à realização destas novas contagens foi a escala de aplicação, visto ser muito diferente tratar integralmente uma cidade ou apenas estudar uma zona bem específica situada dentro da cidade, mas também de obter contagens atuais e controlar os cruzamentos existentes, aprimorando assim a caracterização da procura nesta zona.

As contagens existentes correspondem a 12 postos diferentes, sendo que existem contagens realizadas em períodos de quinze em quinze minutos, de cinco em cinco minutos e de hora em hora, sempre nas horas de ponta matinal, entre as oito horas e quinze minutos até às nove horas e quinze minutos.

De referir que o fluxo de veículos que circulam na rede nos Postos 1,2,3 e 4 foram contabilizados por contagens feitas manualmente no local e nos restantes postos foram retirados de contagens existentes nos documentos já anteriormente citados.

O tráfego contabilizado foi diferenciado em apenas veículos ligeiros e autocarros.

No que respeita às interseções analisadas (ver Tabela 3 e Figura 33), foram escolhidas segundo a importância que detêm no funcionamento de alguma zonas críticas para os TP e onde as alterações serão de maior relevo.

Tabela 3. Identificação das interseções referentes aos postos de contagem de tráfego

LOCALIZAÇÃO	POSTO
Rua Conselheiro Luís de Magalhães (Interseção A)	1
Rua Viana do Castelo (Interseção B)	2
Rua Doutor Alberto Souto (Interseção C)	3
Rua do Engenheiro Oudinot (Interseção D)	4
Rua Comandante Rocha e Cunha – Rua Senhor dos Aflitos	5
Túnel	6
EN 109 - Alameda Silva Rocha - Avenida Doutor Vasco Branco - Rua da Sofia	7
Rotunda das Pirâmides	8
Rua Condessa Mumadona Dias – Rua Santos Mártires – Rua da Pega – Rua Calouste Gulbenkian	9
Rotunda do Hospital	10
Avenida da Universidade – Rua dos Bombeiros Velhos	11
EN335 – EN109	12

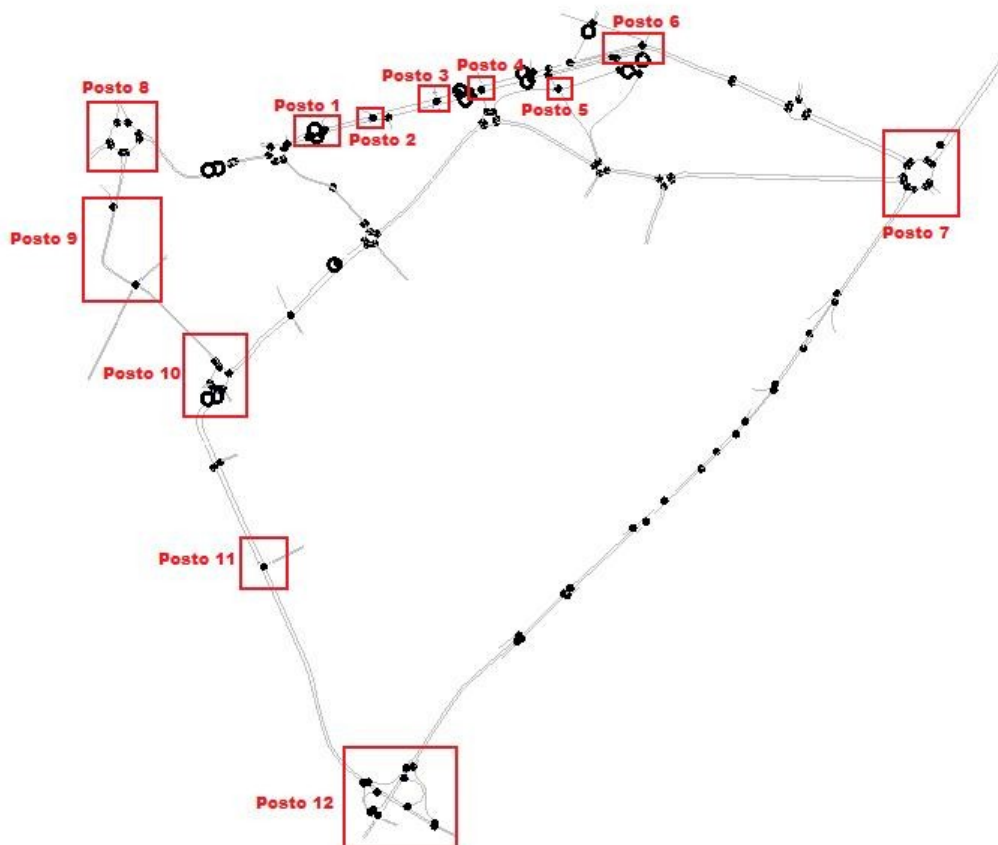


Figura 33. Localização dos postos de contagem na rede modelada no programa AIMSUN

Para uma melhor compreensão houve necessidade de elaborar esquemas individuais de cada interseção, com os movimentos necessários para que toda a interseção ficasse definida em termos de procura de veículos. (Ver anexo B)

3.5. Temporização e fases dos sinais luminosos

Tanto os diagramas de fases, como a temporização dos sinais luminosos foram retirados *in situ*, uma vez que a informação disponível e fornecida pela Câmara Municipal de Aveiro não era suficiente.

Os diagramas de fases correspondentes a cada interseção encontram-se representados no Anexo A.

Quanto à temporização dos sinais luminosos (tabela 4), estes foram retirados recorrendo a uma cronometragem do tempo de verde, amarelo e vermelho sendo posteriormente feita a média, retirando assim o tempo para cada semáforo.

Tabela 4. Temporização média dos sinais luminosos

INTERSEÇÃO A	
Rua Conselheiro L. Magalhães virando para a Avenida Doutor Lourenço Peixinho	
Verde: 22s	
Amarelo:3s	
Vermelho:64s	
Estação CP – Avenida Doutor Lourenço Peixinho (Banco BES)	
Verde: 49s	
Amarelo:3s	
Vermelho:36s	
Avenida Doutor Lourenço Peixinho – Estação CP (Capitania)	
Verde: 49s	
Amarelo:3s	
Vermelho:36s	
INTERSEÇÃO B	
Estação CP – Avenida Doutor Lourenço Peixinho (Loja Marques Soares)	
Verde: 57s	
Amarelo:3s	
Vermelho:28s	
Avenida Doutor Lourenço Peixinho virando para a Rua Agostinho Pinheiro	
Verde: 20s	
Amarelo:3s	
Vermelho:66s	
INTERSEÇÃO C	
Avenida Doutor Lourenço Peixinho – Estação CP (Loja Oxigénio) virando para a R. Doutor Alberto Souto	
Verde: 23s	
Amarelo:3s	
Vermelho:80s	
Estação CP (Loja Oxigénio)	

Verde: 48s

Amarelo:3s

Vermelho:45s

Estação CP - Avenida Doutor Lourenço Peixinho (Centro Yoga) virando para a Rua Engenheiro Silvério P. Silva

Verde: 26s

Amarelo:3s

Vermelho:72s

Estação CP – Avenida Doutor Lourenço Peixinho (Centro Yoga)

Verde: 52s

Amarelo:3s

Vermelho:48s

INTERSEÇÃO D

Avenida Doutor Lourenço Peixinho – Estação CP (Centro Oita)

Verde: 29s

Amarelo:3s

Vermelho:60s

Estação CP – Avenida Lourenço Peixinho (Seguradora Global)

Verde: 50s

Amarelo:3s

Vermelho:46s

Estação CP - Avenida Doutor Lourenço Peixinho (Seguradora Global) virando para a Rotunda da Oita

Verde: 23s

Amarelo:3s

Vermelho:72s

Rua do Engenheiro Oudinot

Verde: 31s

Amarelo:3s

Vermelho:70s

3.6. Modelo Microscópico de Simulação – AIMSUN

De seguida irá ser descrito o programa de simulação usado no caso de estudo desta dissertação.

3.6.1. Modelos de simulação de tráfego

Atualmente, existem vários *softwares* de microssimulação que são referidos na literatura, dos quais são exemplo: AIMSUN, CORSIM, PARAMICS, TEXAS e VISSIM. (Archer, 2005).

O AIMSUN é um simulador microscópico de tráfego que permite modelar o comportamento de cada veículo numa rede durante o tempo de simulação estabelecido e de acordo com as várias teorias de comportamento dos veículos. Este modelo foi desenvolvido e implementado como uma ferramenta de apoio aos Engenheiros de Tráfego de modo a poderem analisar situações de tráfego e a auxiliar no projeto de soluções. Segundo o manual do programa (AIMSUN 6.1, 2010), o AIMSUN tem provado ser muito útil no teste de novos sistemas de controlo de tráfego e na gestão de políticas baseadas na tecnologia tradicional ou na implementação de Sistemas Inteligentes de Transporte (ITS – *Intelligent Transport Systems*). (Vilarinho, 2008)

3.6.2. Descrição do modelo de simulação AIMSUN

O modelo AIMSUN combina a escala temporal contínua com a discreta, o que significa que existem elementos (veículos) cujo estado se altera continuamente durante a simulação e existem outros elementos (sinais luminosos) que se alteram de forma discreta, isto é, apenas em específicos instantes de simulação. (Vilarinho, 2008)

Este modelo possui um alto nível de detalhe na modelação da rede, sendo possível fazer distinção os vários tipos de veículos existentes (ligeiros, pesados, autocarros...) bem como os diferentes comportamentos que os condutores apresentam. A modelação de peões também é possível neste modelo.

As redes físicas são simbolicamente representadas por arcos que definem as faixas de rodagem, e por nós que definem as interseções ou locais onde as características dos arcos se alteram. (Vilarinho, 2008)

Existem outros equipamentos no sistema real que também podem ser representados na rede modelada tal como os sinais verticais, os sinais luminosos, os detetores de veículos, os painéis de mensagem variável (VMS), paragens de autocarros, entre outros.

Ao nível de sistemas de controlo, o modelo AIMSUN permite simular os sinais luminosos e sinais verticais (STOP e cedência de passagem). O sistema de controlo através de semáforos pode ser de tempos fixos ou de controlo atuado.

Quanto às ações de microregulação, este modelo admite vários modos: (Vilarinho, 2008)

- Eliminação de fase (*no recall*), a fase atuada apenas é ativada quando houver deteção de veículos;
- Variação da duração de fases, a fase será sempre ativada pelo menos por tempo igual ao mínimo, sendo desativada quando exercer o tempo máximo de verde ou o valor da extensão;
- Tudo vermelho, todos os sinais luminosos apresentam sinal vermelho. Assim que uma fase seja ativada, por passagem de um veículo no detetor o sinal correspondente à fase passará imediatamente a verde;
- Verde permanente, a fase que tem o verde ativo permanecerá fixa até que outra fase seja ativada por deteção.

Outra potencialidade do modelo AIMSUN é a de permitir a simulação de medidas de prioridade ao TP, designadamente a deteção da presença deste tipo de veículos e assim antecipar a fase que lhe dá passagem evitando a sua paragem. Neste caso, o detetor deve estar localizado a uma determinada distância da interseção de modo a dar tempo á mudança de fase (tempo de amarelo e de limpeza) sem que seja necessário interromper a marcha do veículo.

Por defeito, o AIMSUN não estabelece nenhum movimento como prioritário numa interseção, pelo que deverá ser definido para cada movimento o seu nível de prioridade, enquanto na realidade os sinais verticais regulam uma interseção no seu todo. Em qualquer um dos tipos de sinais, a decisão de atravessar ou aguardar faz-se segundo o intervalo crítico (*gap acceptance*). (Vilarinho, 2008)

3.6.3. Construção do modelo

3.6.3.1. Dados geométricos

O início da modelação consistiu na colocação do cenário no simulador AIMSUN. Para esse efeito, utilizou-se um mapa (retirado do sítio web maps.google.pt) que foi definido como fundo e devidamente ajustado à escala (Figura 34), facilitando a introdução de toda a configuração geométrica dos acessos motorizados e pedonais, de maneira a desenhar os arcos reproduzindo assim o modelo de forma o mais realista possível.



Figura 34. Ambiente AIMSUN

3.6.3.2. Tipo de vias

Uma rede viária pode ser constituída por diferentes tipos de vias no que respeita às condições oferecidas para a circulação (por exemplo vias rápidas ou arruamentos urbanos locais). Poderão também existir vias próprias para a circulação de TP. Assim, no AIMSUN existem vários tipos de vias predefinidas, caracterizadas pela velocidade máxima permitida, capacidade e localização da via, entre outros parâmetros.

As vias (arcos) e as interseções (nós) foram definidas de acordo com a sua localização, tratando-se de uma zona urbana levou a que fossem classificados de “urban road” (estrada urbana).

Relativamente às dimensões das vias, uma vez que a rede é de elevada dimensão, estas foram calculadas recorrendo às escalas observadas no sítio anteriormente citado e no “SMIGA -

Mapa Interativo”. Relativamente à apresentação estão representadas a cinzento-claro as vias nas quais circulam veículos motorizados, a cinzento-escuro as vias reservadas ao TP para a recolha de passageiros e a amarelo os abrigos existentes para os passageiros.

3.6.3.3. Velocidade nos arcos e nós

De seguida, foi necessário definir a velocidade nos arcos, estas velocidades foram facultadas pela observação dos sinais existentes nos locais. Na Figura 35 encontra-se representado o método de introdução das velocidades no AIMSUN.

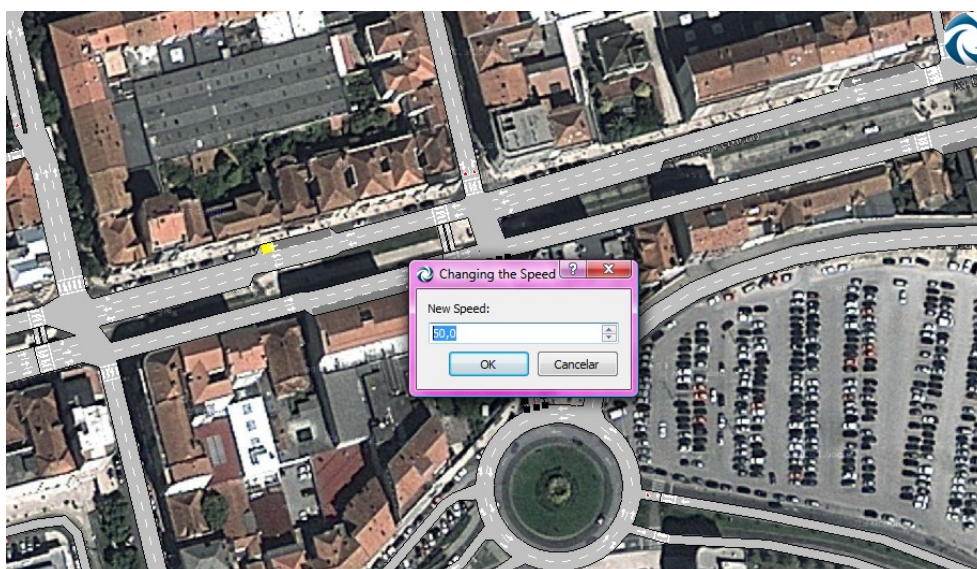


Figura 35. Representação de velocidades no AIMSUN

3.6.3.4. Elementos de controlo

Quanto aos elementos de controlo, estes regulam a prioridade de passagem dos veículos num nó/intersecção sendo os mais usuais as regras de prioridade (interseções prioritárias ou de prioridade à direita) e os sistemas de sinalização luminosa.

Cada conjunto de sinais luminosos obedece a um determinado ciclo, que está dividido em fases. Uma fase representa o tempo o qual pelo menos um grupo/corrente de tráfego tem a permissão de avançar. Na transição de uma fase para a outra existe um tempo de aviso para os condutores (amarelo) seguido por um tempo de limpeza (tudo vermelho), designado de tempo interverde (Vilarinho, 2008). Todos os sinais luminosos abrangidos neste estudo têm tempos de aviso e de limpeza iguais a 3 segundos, perfazendo um total de 6 segundos.

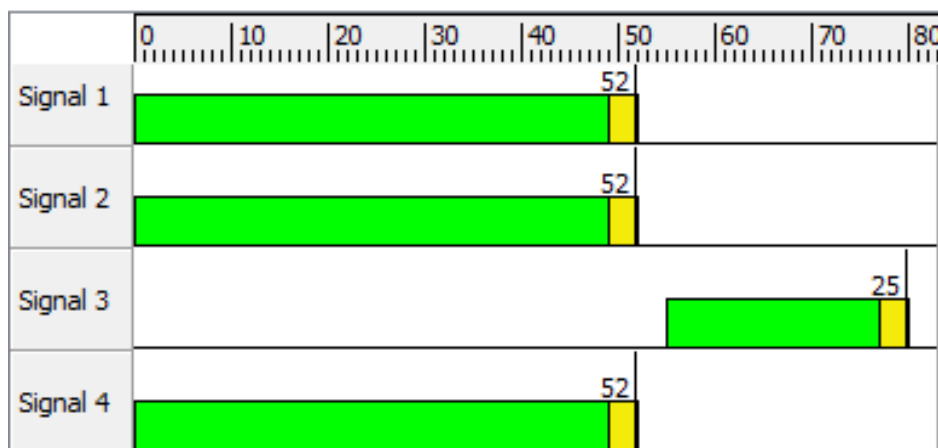


Figura 36. Exemplo de ficha de programação da interseção A da ALP

Os sinais luminosos presentes na rede são de tempo fixo (ver ponto 3.5) e foram programados no AIMSUN através da introdução dos tempos no plano de controlo.

Os sinais verticais possíveis de inserção na rede dizem apenas respeito a elementos de controlo de prioridade, o sinal STOP e o de Cedência de Passagem. Foram identificados todos os sinais existentes através do “*Google street view*” e de visitas ao local em estudo, seguindo-se a sua introdução na rede modelada.

3.6.3.5. Tipo e classe dos veículos

Os veículos são divididos em diferentes classes conforme as suas características físicas e operacionais. Na área em estudo foram distinguidos o veículo ligeiro e o autocarro.

Cada tipo de veículo pode pertencer a nenhuma, uma ou até várias classes de veículos. Cada classe de veículos está associada a um determinado corredor reservado. No caso de estudo foi definida apenas uma classe, a classe pública (autocarros) para os corredores BUS.

3.6.3.6. Linhas de Transporte Público

Os TP são simulados através de implementação das rotas de cada linha e respetivas paragens. Ao serem definidos os horários e tempos de paragem – que tanto podem ser representados por um valor médio como por um valor específico – para cada paragem numa determinada linha, o *software* reúne condições de gerar os veículos não sendo necessário proceder à sua quantificação *in situ* (Vilarinho, 2008).

As linhas geradas foram as referidas no ponto 3.2 e correspondes às dos operadores já referidos, sendo que a informação relativa a rotas, horários e localização das paragens foi

retirada do site das empresas e da recolha dos horários que são fornecidos aos utilizadores para planeamento das suas viagens. (sitio web moveaveiro.pt e transdev.pt)

O tempo de paragem adotada para os autocarros, foi calculada através de várias contagens do tempo de paragem nas diferentes paragens sendo fixado um valor médio das contagens efetuadas para cada uma delas.

3.6.3.7. Modelação de tráfego (Procura)

A codificação da procura depende do tipo de dados disponíveis, existindo no modelo usado duas formas distintas de simular a circulação dos veículos na rede. A primeira tem por base uma matriz Origem-Destino e a segunda, a adotada no caso de estudo, é baseada nos dados referentes aos volumes de tráfego de entrada na rede e as probabilidades de realizarem um dado movimento em cada nó.

Na segunda hipótese, os veículos são inseridos nos arcos de entrada e distribuídos aleatoriamente de acordo com as probabilidades de viragem definidas para cada arco da rede. Deste modo, não existe um conhecimento prévio do percurso total de um veículo, apenas se sabe em cada arco qual a probabilidade de optar por determinado movimento.

A procura também pode ser configurada através de matrizes de Origem – Destino, por tipo de veículo, sendo cada uma definida pelo número de viagens entre cada centróide de origem e de destino. O percurso é definido pelo “caminho mais curto” entre o centróide de origem e o de destino. (Vilarinho, 2008)

A procura na zona estudada foi definida através de contagens manuais e contagens já existentes, para períodos de tempo de quinze em quinze minutos, de cinco em cinco minutos e de uma hora, na hora de ponta durante a manhã, entre as oito horas e quinze minutos e as nove horas e quinze minutos, como foi referido anteriormente no ponto 3.4.

As contagens realizadas manualmente nas quatro interseções decorreram na quarta semana do mês de setembro, de segunda a quinta-feira, cada dia para uma interseção, perfazendo assim um total de quatro dias. Nestes quatro dias procedeu-se à recolha das 4 interseções, num total de 25 movimentos. Os restantes valores (8 interseções) foram obtidos a partir de estudos realizados anteriormente.

3.7. Codificação do modelo

Terminada a recolha de informação segue-se a etapa da codificação da rede. Esta fase tem como objetivo transformar a informação que caracteriza a rede, recolhida anteriormente, num formato que seja passível de leitura pelo *software* de modelação.

A codificação em AIMSUN comparada com outros programas de simulação é realizada de um modo mais amigável, não sendo necessário construir folhas de cálculo automático auxiliar para facilitar a introdução dos dados.

A construção da geometria da rede é efetuada de uma forma gráfica e interativa, através do “decalcar” de uma imagem da zona de estudo, não sendo necessário as coordenadas dos nós nem o início nem o final de cada arco. A cada elemento da rede está associado uma caixa de diálogo que facilmente pode ser ativada e os parâmetros introduzidos.

3.7.1. Verificação

Antes da calibração da rede é necessário proceder à sua verificação. Pretende-se desta forma garantir que a informação que o modelador introduziu foi corretamente tratada pelo programa, ou seja, que esta foi bem introduzida.

Os principais componentes do modelo de microsimulação de tráfego que devem ser revistos são: (Barceló e Prado, 2006)

- A representação geométrica dos tipos de vias e todos os avisos relacionados com o tráfego, aplicável neste caso de estudo apenas aos detetores e sinais luminosos;
- Os esquemas de representação do controlo de tráfego, tais como as fases, os tempos, etc. e de movimentos permitidos e proibidos;
- O comportamento de cada veículo individualmente segundo os submodelos de comportamento: *car-following*, *lane changing* e *gap-acceptance*;
- A representação da procura de tráfego, conseguida no trabalho através do número de veículos em cada secção de entrada na rede e as percentagens de movimento em cada interseção;

Assim, foi verificado cuidadosamente todos os elementos referidos anteriormente, tendo-se dedicado especial atenção aos seguintes pontos:

- As ligações aos nós;
- Os movimentos permitidos nos nós;
- A programação dos sinais luminosos;

- A codificação da procura.

O processo de construção de uma rede no AIMSUN é auxiliado com mecanismos de verificação, que encontram certos erros como, erros na geometria dentro dos limites de regras lógicas. Alguns aspetos como, por exemplo, os movimentos permitidos e os tempos dos sinais luminosos não são analisados pelo *software*, uma vez que este programa não tem essa funcionalidade. Contudo a não inclusão de um movimento previamente definido em nenhuma das fases é passível de ser identificado pelo assistente de revisão de erros.

O software tem várias formas de encontrar possíveis erros de codificação e todas foram usadas neste caso de estudo. (Vilarinho, 2008)

- a) Durante a construção do modelo, especialmente quando as caixas se encontram a ser preenchidas estas só podem ser fechadas se a informação se encontrar segundo o padrão de lógica do programa;
- b) A função (Tools → Check and Fix Network) localiza os erros e apresenta-os, sob a forma de um quadro, classificados a vermelho ou amarelo e contendo, também, uma breve explicação. Esta verificação de erros permitiu eliminar todo o tipo de erros fatais (vermelho) e mensagens de aviso (amarelo).
- c) No caso de a procura ser codificada por *traffic states*, forma usada no caso de estudo, aquando da simulação surgem mensagens de aviso se a soma dos movimentos for diferente de 100% e a identificação do arco em que isso acontece.
- d) Outra forma de rever a procura é através de detetores colocados na rede. Estes detetores permitem obter sob a forma de gráfico ou tabela o número de veículos, o intervalo crítico, e a velocidade entre outras características para cada categoria de veículo num dado período de tempo. Os dados recolhidos nas contagens foram comparados com os obtidos durante a simulação pelos detetores colocados na rede para esse efeito.

Fez-se também uma verificação visual utilizando o micro simulador para verificar se todos os comportamentos seriam os esperados.

Após a codificação e verificação da rede, o modelo encontra-se preparado para as últimas fases, a calibração do modelo e a sua validação.

No próximo ponto será desenvolvida a etapa correspondente à calibração do modelo.

3.7.2. Calibração e Validação do modelo

3.7.2.1. Calibração

De uma forma simples pode dizer-se que um modelo consiste numa representação simplificada da realidade. Assim, para que um modelo possa ser utilizado como representação da realidade que tenciona ser, este modelo terá que reproduzir resultados muito próximos dos observados no sistema real.

Os trabalhos de calibração tiveram por objetivo procurar aproximar os resultados simulados aos valores reais observados através do ajustamento de um conjunto limitado de parâmetros de calibração.

Aos parâmetros estão associados critérios que funcionam como limites aceitáveis. Quando os parâmetros possuem valores que se encontram dentro dos critérios, o modelo é considerado calibrado. O nível de exatidão de um modelo está intimamente ligado aos critérios adotados, o que faz com que seja de alguma forma um assunto subjetivo e tenha uma grande dependência não só do propósito final como dos recursos disponíveis. (Vilarinho, 2008)

A calibração de modelos é um processo necessário, uma vez que nenhum modelo é capaz de incluir todo o universo de variáveis representativas do sistema real sendo para isso necessário adaptá-las às condições locais.

Esta etapa não deve ser, no entanto, confundida com o processo de validação, no qual a precisão do modelo é testada comparando os resultados obtidos no modelo de simulação com os dados recolhidos em campo.

Assim, para a calibração do modelo utilizou-se o parâmetro GEH utilizado na engenharia de tráfego para comparar volumes de tráfego. É uma medida estatística, pois a fórmula compara os volumes modelados e os observados, ditando desta forma se o modelo se aproxima ou não da realidade. Originalmente foi criada para ser usada apenas com a comparação de volumes de tráfego de hora a hora, sendo representado pela seguinte equação:

$$GEH = \sqrt{\frac{(M-O)^2}{0,5 \times (M+O)}} \quad (1)$$

Onde: M são os volumes simulados e O os volumes observados.

O valor de GEH obtido para um determinado par de valores fornece as seguintes indicações sobre a qualidade do ajuste efetuado (Oketch e Carrick, 2005; Habtemichael e Picado-Santos, 2012):

- $GEH < 5$ – os valores simulados são próximos dos observados. O ajuste pode ser considerado como adequado;
- $5 \leq GEH \leq 10$ – os valores simulados já são algo afastados dos observados. É necessária uma investigação mais aprofundada sobre a causa dos desvios;
- $10 < GEH$ – os valores simulados são muito diferentes dos observados. O ajuste não pode ser considerado como bom.

Geralmente, numa rede existe mais que um local onde são comparados os resultados obtidos pelo modelo com os respetivos valores obtidos em campo. Assim, considera-se que o modelo se encontra bem calibrado ou mal calibrado quando o índice GEH é inferior a 5 para 85% dos casos analisados (HMSO, 1996).

Tabela 5. Critérios de calibração para modelos de simulação de tráfego do Departamento de Transportes do Wisconsin (WDoT, 2002)

CRITÉRIOS E MEDIDAS	CONDIÇÕES DE ACEITAÇÃO PARA CALIBRAÇÃO
Fluxos horários, Simulados vs Observados	
Dentro de 15%, para $700 \text{ veíc./h} < Q < 2700 \text{ veíc./h}$	> 85% dos casos
Dentro de 100 veíc./h, para $Q < 700 \text{ veíc./h}$	> 85% dos casos
Dentro de 400 veíc./h, para $Q > 2700 \text{ veíc./h}$	> 85% dos casos
Somatório dos fluxos de todos os arcos	Dentro de 5% do somatório de todas as contagens nos arcos
Estatística $GEH < 5$ para fluxos nos arcos individualmente	> 85% dos casos
Estatística GEH para o somatório dos fluxos de todos os arcos	$GEH < 4$ para o somatório de todas as contagens nos arcos
Tempos de percurso, Simulados vs Observados	
Tempos de percurso na rede dentro de 15% (ou 1 minuto, se for superior)	> 85% dos casos
Auditorias visuais	
Velocidades individuais nos arcos – relação velocidade – fluxo visualmente aceitável	Satisfação do analista
Estrangulamentos – filas de espera visualmente aceitáveis	Satisfação do analista

3.7.2.2. Validação

O processo de validação consiste na avaliação da proximidade entre os resultados simulados pelo modelo calibrado, para determinar se o modelo de simulação representa com suficiente precisão a realidade. A validação consiste num processo iterativo que envolve a calibração de determinados parâmetros do modelo e a comparação do seu comportamento com o do sistema real. A diferença entre estes dois sistemas serve como indicador para melhorar o modelo até ao momento em que a diferença entre eles, o erro, é aceitável. Pretende-se, portanto, com a validação afinar a calibração efetuada utilizando para este efeito dados independentes daqueles que foram utilizados nessa fase.

A calibração e validação de um modelo é um processo inerentemente estatístico em que a incerteza nos dados e os erros na modelação devem ser tidos em conta. Este não é um processo com uma solução binária, isto é, válida ou inválida, depende do grau de certeza desejado que varia consoante o propósito do modelo.

O quadro concetual da metodologia de validação encontra-se esquematizado na Figura 36.

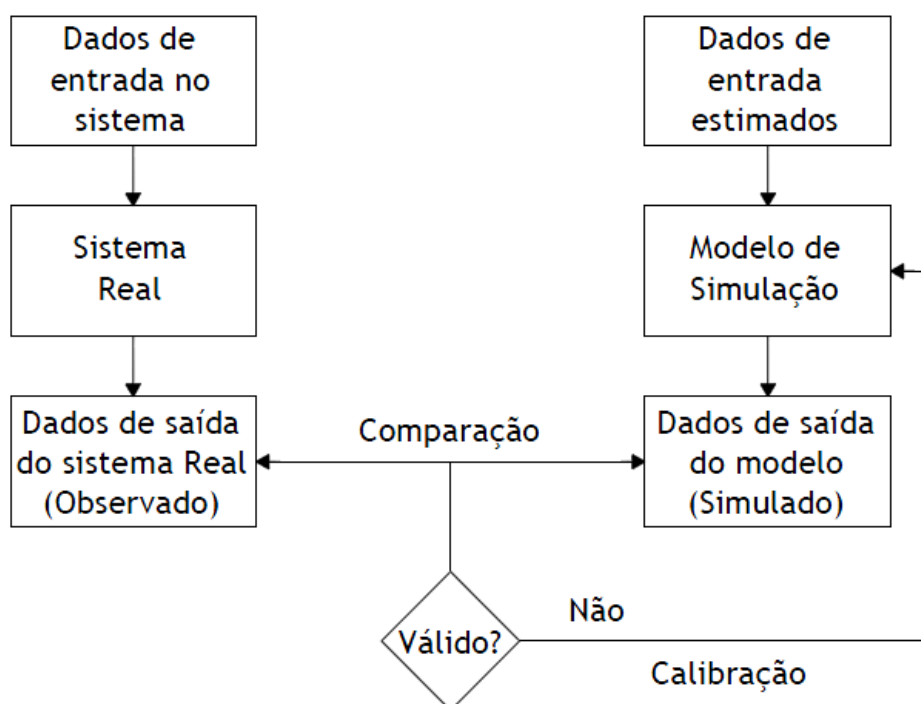


Figura 37. Diagrama lógico da validação de um modelo (adaptado de Barceló e Casas, 2004)

Seguindo essa lógica, quando os resultados da análise de comparação não são aceitáveis pelo analista, a rejeição dos resultados da simulação implica a necessidade de recalibrar alguns aspetos do modelo de simulação. O processo é repetido até que o grau de homogeneidade, de acordo com algumas técnicas de análise estatística, seja alcançado.

A validação do modelo foi realizada utilizando um indicador de desempenho diferente do usado na calibração. Assim, para a validação do modelo foi usado o tempo de percurso da Linha 4, da empresa de transportes da MoveAveiro. (ver ponto 4.1.1 do capítulo seguinte)

Capítulo 4

RESULTADOS E DISCUSSÃO

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1. Desenvolvimento dos cenários

Neste ponto do trabalho serão apresentadas as alternativas propostas e estudadas para melhorar a circulação dos TP, designadamente autocarros na Avenida Dr. Lourenço Peixinho, traduzidas na introdução de medidas de prioridade existentes e já apresentadas em vários cenários de análise. De modo a ser possível avaliar o impacto de cada um desses cenários propostos será igualmente estudado o cenário atual (cenário base), visto ser essencial para se proceder a uma comparação dos impactos após a implementação das medidas a estudar.

As alternativas seguidamente expostas foram concebidas com o objetivo de melhorar a circulação dos TP na zona mais congestionada sem alterar de forma significativa a geometria da Avenida, uma vez que podem ser implementadas apenas com a introdução de nova sinalização horizontal e vertical e/ou de equipamentos tecnológicos (sensores), mas atendendo ao restante tráfego existente. Serão apresentados três cenários possíveis para a prioridade destes veículos prioritários no presente trabalho.

4.1.1. Cenário base

O cenário base, tal como o nome indica, corresponde ao panorama existente, e constitui a base de desenvolvimento de todas as alternativas a serem propostas neste trabalho. A figura abaixo apresenta a circulação rodoviária deste cenário (Figura 38).

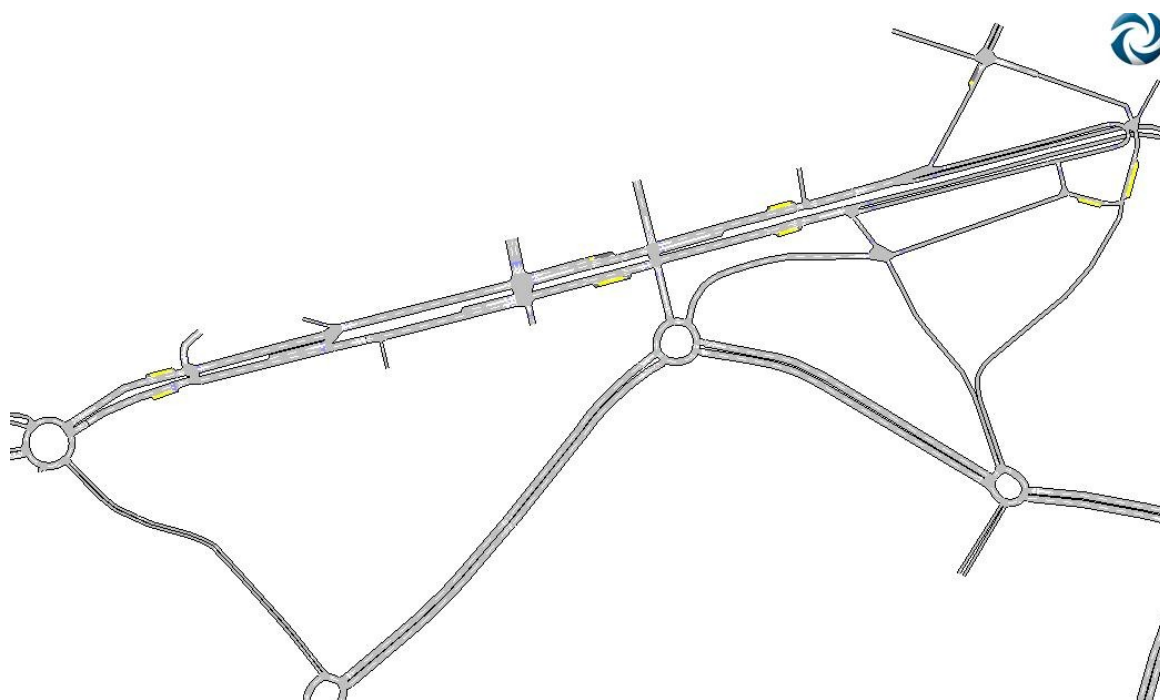


Figura 38. Cenário Base (retirado do programa AIMSUN)

Como referido no capítulo anterior, este é o cenário que foi calibrado através da comparação entre os volumes simulados com os volumes observados com recurso à já referenciada estatística GEH. Os resultados do processo de calibração podem ser consultados no Anexo C. A validação do modelo foi realizada utilizando um indicador de desempenho diferente do usado na calibração, visto as contagens de tráfego efetuadas terem sido utilizadas na sua totalidade para realizar a procura na rede e a calibração da mesma. Assim, para a validação do modelo foi utilizado o tempo de percurso da Linha 4 (ver Figura 39), da empresa de transportes da MoveAveiro.

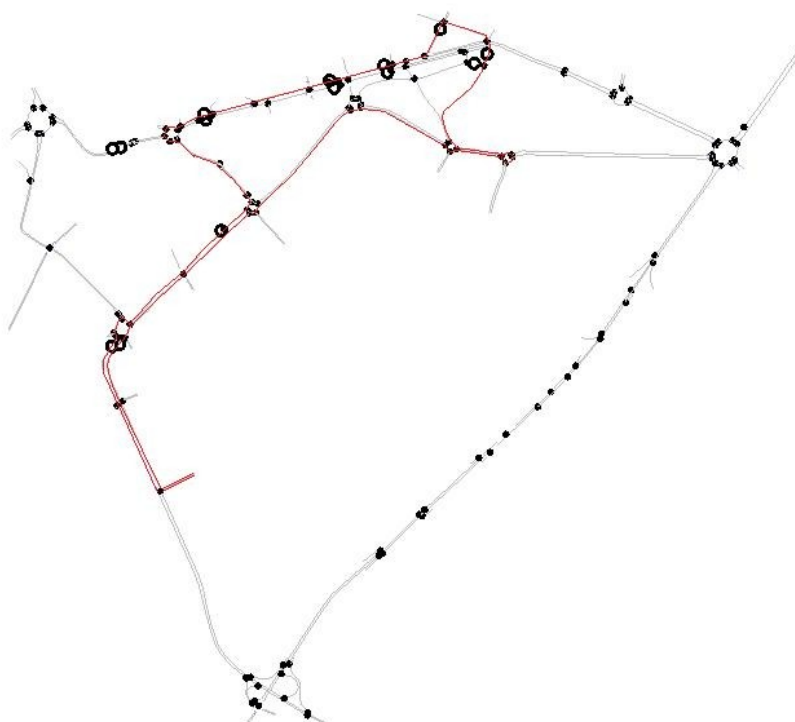


Figura 39. Percurso da Linha 4, da empresa de transportes da Move Aveiro, usado na validação da rede.

O valor encontrado após a simulação efetuada pelo modelo AIMSUN foi de um tempo de percurso de 22 minutos, enquanto o observado foi de 23 minutos e 20 segundos. Pela análise dos valores apresentados existe uma diferença relativa entre eles de 5,7%. Assim, considerou-se o modelo construído e calibrado como validado.

4.1.2. Cenário 1

Uma das alternativas estudadas para o melhoramento da circulação de TP na Avenida é a introdução de uma via BUS em cada sentido (Figura 40). No entanto, para garantir-se os movimentos de viragem à direita para os restantes veículos considerou-se uma solução na qual a via BUS é interrompida e criando-se assim uma via curta, com uma extensão de 50 metros, para a realização desses movimentos.

Esta alteração tem impactos ao nível do estacionamento legal que se verificar existir ao longo de toda a Avenida, e também na eliminação de estacionamentos proibidos geradores de situações conflituantes ao longo da mesma. Os aspetos a considerar em relação a esta alternativa, é que é de fácil implementação, mas por outro lado com a eliminação dos lugares

de estacionamento provocará um desconforto para quem necessita de utilizar a Avenida para realizar as suas atividades, nomeadamente no que respeita ao acesso a serviços e estabelecimentos comerciais. Ora, esta solução tem um impacto grande no estacionamento e tal como é indicado no documento *O futuro da Avenida Lourenço Peixinho* e que a citar: “Os lugares de estacionamento são sempre poucos. Os 212 lugares existentes distribuídos entre 194 lugares de estacionamento pago, 15 lugares de estacionamento reservado a entidades e 3 lugares destinados a deficientes estão longe de atingir os 1862 lugares que seriam precisos, neste momento, tendo em conta as áreas de construção calculadas e as exigências estabelecidas no PDM em vigor” para a aplicação desta medida teria que ser estudada uma solução alternativa que permita mitigar a eliminação do estacionamento na via, como por exemplo, a criação de parques de estacionamento na envolvente à Avenida.

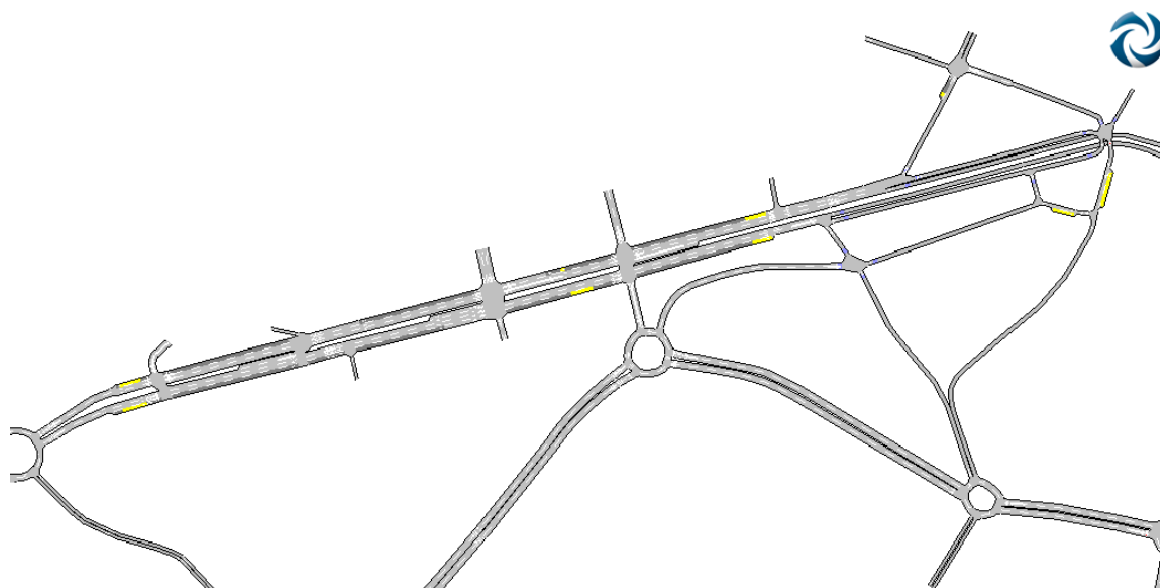


Figura 40. Cenário 1 (retirado do programa AIMSUN)

4.1.3. Cenário 2

Tal como foi descrito no cenário anterior a eliminação do estacionamento poderá provocar algum desconforto a comerciantes e utilizadores da Avenida. Sendo assim estudou-se um outro cenário alternativo, com o objetivo de melhorar não só a circulação, mas também o conforto e permanência de quem utiliza este local.

Deste modo, no cenário 2 apenas se analisou a possibilidade da implementação de detetores de veículos de TP, junto às interseções semaforizadas, de modo a se proceder à prioridade destes veículos aquando da sua aproximação.

A figura 41 ilustra os locais onde se considerou a colocação de detetores juntos às interseções semaforizadas na Avenida. Estes detetores são colocados à entrada da interseção no local onde se pretende que seja feito o pedido de prioridade e após a interseção para determinar o final desse pedido de prioridade. Os detetores de início de prioridade foram colocados a 50 metros da entrada de cada uma das interseções semaforizadas, enquanto os de fim de prioridade foram colocados imediatamente a seguir às interseções. Estando os autocarros equipados com dispositivos de deteção (*transponder*), quando alcançados os detetores é-lhes antecipada a fase que lhes dá o direito de passagem.

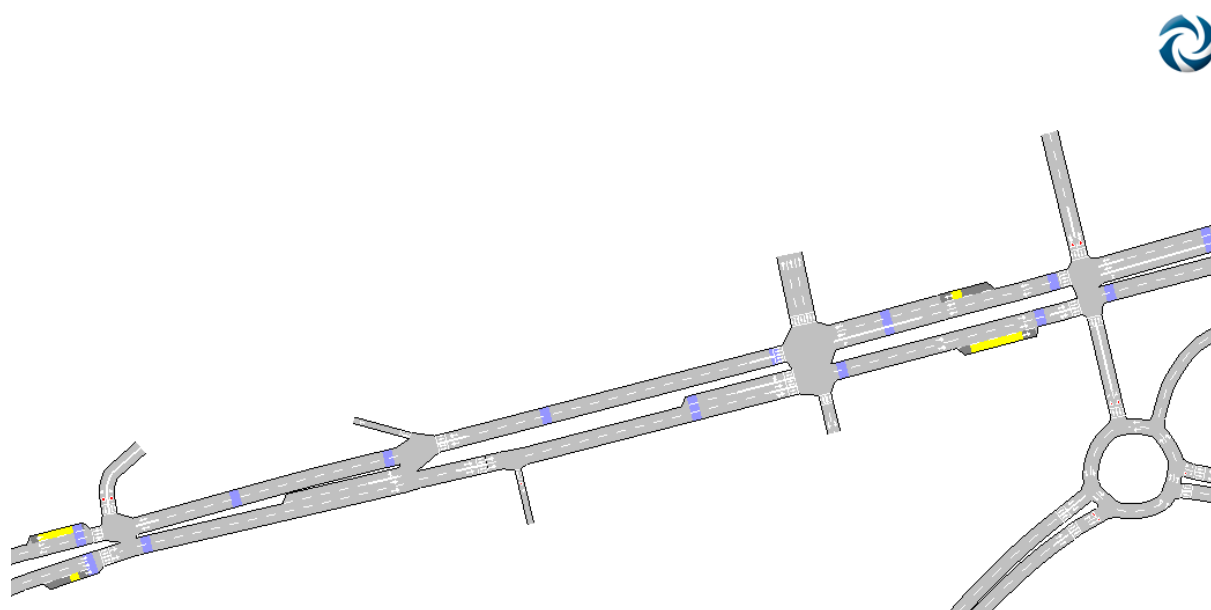


Figura 41. Cenário 2 (retirado do programa AIMSUN)

4.1.4. Cenário 3

Neste cenário optou-se por combinar o cenário 1 com o cenário 2. Isto é, a combinação de vias BUS com os sistemas inteligentes para TP (Figura 42). Esta combinação de cenários poderá ser muito vantajosa, uma vez que os TP para além de circularem separadamente do restante tráfego possuem um corredor na aproximação aos semáforos não ficando retidos antes da interseção devido à fila de espera que poderá existir. E ainda têm a vantagem de serem detetados e avançarem mais rapidamente sem terem que efetuar paragens.

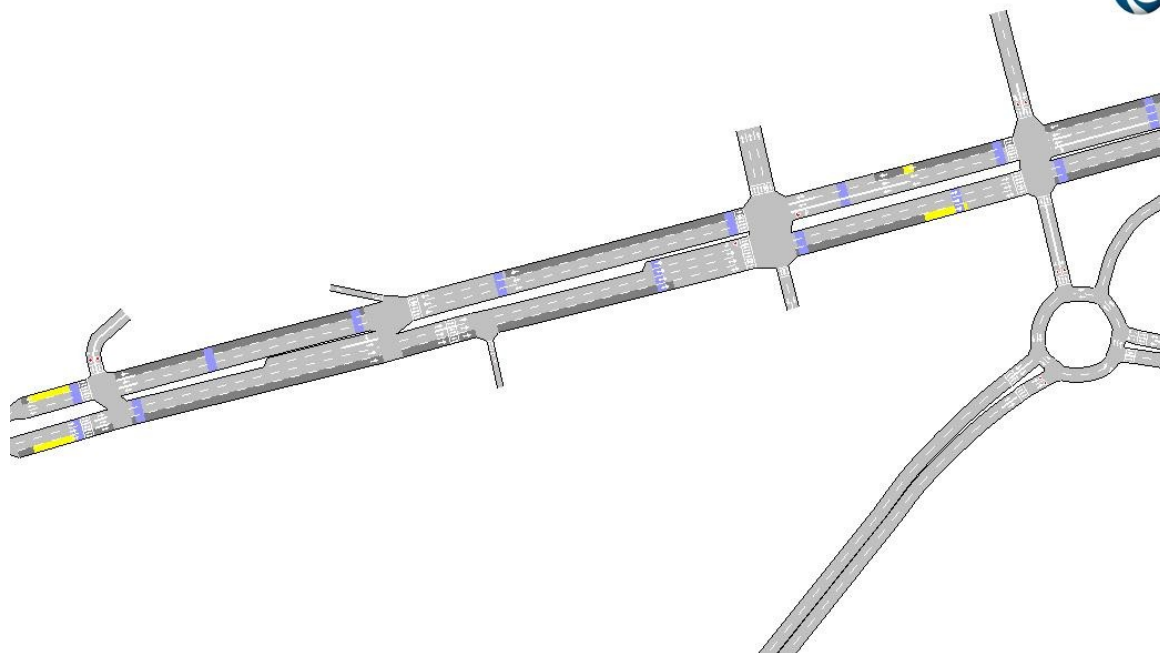


Figura 42. Cenário 3 (retirado do programa AIMSUN)

A tabela que se segue (Tabela 6), permite sintetizar todas as variantes ao cenário base, indicando quais as principais alterações consideradas na elaboração de cada um dos cenários.

Tabela 6. Tabela de síntese de todos os cenários

ESQUEMA	
Cenário base	-
Cenário 1	Introdução de uma via BUS para o sentido ascendente e descendente da Avenida
Cenário 2	Colocação de detetores de Transportes Públicos nas interseções (sistemas de prioridade inteligente)
Cenário 3	Combinação do cenário 1 com o cenário 2

De seguida serão apresentados os indicadores através dos quais será efetuada a análise a cada um dos cenários aqui expostos, comparando-os e apresentando a solução que concretiza uma melhor circulação tanto para os TP como para o restante tráfego na zona de estudo.

4.2. Indicadores de desempenho

A seleção dos indicadores de desempenho é uma parte essencial no processo de avaliação das soluções, pois é através destes que se torna possível a comparação entre as soluções consideradas.

O modelo AIMSUN permite para cada tipo de veículo especificar os resultados em diferentes entidades, isto é, para todo o sistema, para um determinado arco, para um movimento numa interseção ou um itinerário (conjunto de arcos contínuos) e para as linhas de TP.

Para o presente trabalho, e tratando-se sobretudo de uma análise a uma zona específica, optou-se por analisar indicadores referentes à rede geral, ao eixo em estudo, ALP, e às interseções referentes a este eixo.

Os indicadores de desempenho selecionados para a análise do estudo realizado, estão apresentados e descritos na lista que se segue:

- Tempo de viagem (segundos): Tempo médio que um veículo demora a atravessar o elemento;
- Atraso (segundos): Diferença entre o tempo de percurso expectável em condições ideais e o efetivamente gasto;
- Tempo total de viagem (segundos): Tempo total viajado por todos os veículos;
- Velocidade média (quilómetro/hora): Velocidade média para todos os veículos.
- Número de paragens (veículo/quilómetro): Número médio de paragens por veículo e quilómetro.
- Fila de espera virtual média (veículos): Fila de espera virtual média na rede. A fila de espera é expressa como o número de veículos à espera de entrar na rede.
- Nível de serviço (segundo/veículo): é definido em termos de tempo médio de atraso.

O atraso refere-se ao excesso de tempo gasto para atravessar a interseção relativamente à situação ideal de atravessamento livre (como se fosse desnivelada ou não existisse, ou seja, mantendo a velocidade. Esta análise é realizada segundo a metodologia do manual *Highway Capacity Manual*, 2010 e define seis níveis de serviço designados pelas letras de A a F. O nível de serviço A será, portanto, o que corresponde melhores condições de circulação enquanto o nível F será o que pior serviço proporciona aos utilizadores. (ver Tabela 7)

Tabela 7. Definição dos Níveis de serviço (Fonte: HCM,2010)

NÍVEL DE SERVIÇO	TEMPO DE ATRASO (S/VEÍC.)
A	0-10
B	>10-15
C	>15-25
D	>25-35
E	>35-50
F	>50

A apresentação e discussão dos resultados é a etapa onde é realizada uma análise aos valores obtidos para os diferentes indicadores de desempenho relativo aos diferentes cenários.

4.3. Apresentação e discussão dos resultados

Nesta parte do trabalho será realizada a exposição dos resultados para cada cenário, assim como será realizada uma análise aos respectivos valores. Como o modelo microscópico AIMSUN é estocástico necessita de um determinado número de corridas com diferentes números de sementes aleatórias de modo aos resultados serem representativos.

Segundo as referências bibliográficas (Bloomberg e Dale, 2000), (Hourdakis et al., 2003) e (Vilarinho, 2008) sugerem que dez corridas são suficientes para se obter resultados aceitáveis. Na experiência foi definido um período de “aquecimento” (*warm-up*) de quinze minutos e a simulação foi realizada para uma hora de análise.

Tal como descrito no ponto referente ao desenvolvimento dos cenários, foram criados três cenários, sendo todos eles desenvolvidos de forma a melhorar a circulação dos TP, procurando não afetar o resto do tráfego existente.

Os resultados referentes aos três cenários irão ser avaliados no conjunto de todos os veículos, ou seja, de todos os veículos ligeiros e todos os autocarros. Para estes três conjuntos, irão ser avaliados os seus comportamentos na rede total e no eixo (toda a Avenida Dr. Lourenço Peixinho).

Para o cálculo dos indicadores de desempenho no eixo foram selecionadas todas as secções que vão ao encontro da ALP como mostra a figura seguinte. (Figura 43)

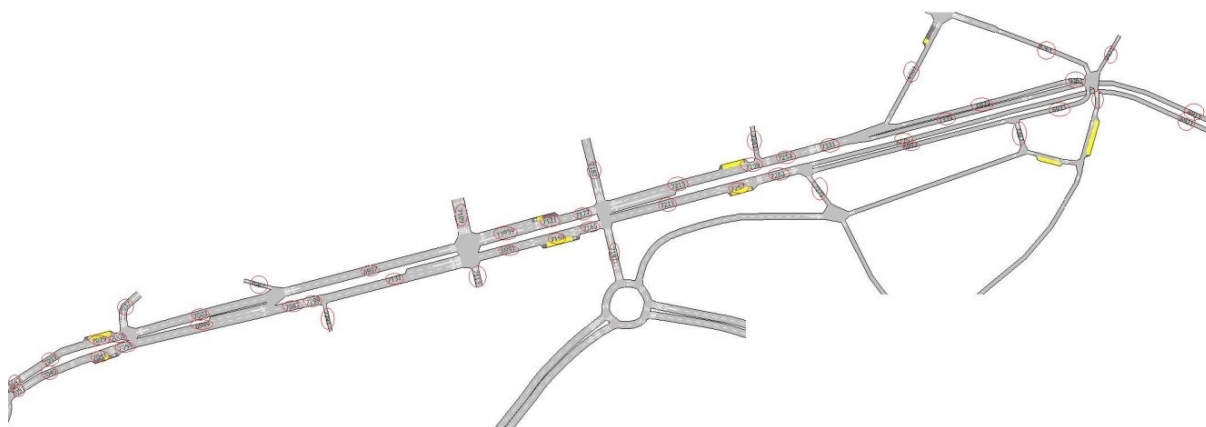


Figura 43. Secções seleccionadas para a análise do eixo em estudo (ao longo da ALP)

Os valores relativos ao desempenho de cada um dos cenários para as diferentes análises no total de todos os veículos, todos os veículos ligeiros e todos os autocarros encontram-se apresentados nas tabelas que se seguem (Tabela 8, 9 e 10 respetivamente).

Tabela 8. Valores gerais referentes aos 3 grandes cenários existentes para todos os veículos

TODOS OS VEÍCULOS	VALORES MÉDIOS			
	Rede total			
	Cenário base	Cenário 1	Cenário 2	Cenário 3
Atraso (Seg.)	84,1	83,8	82,7	83,0
Tempo de viagem (Seg.)	156,2	159,2	154,9	159,2
Tempo total de viagem (Seg.)	2398835,7	2383733,9	2329958,4	2393643
Número de paragens (Veíc./Km)	1,6	1,7	1,6	1,7
Velocidade (km/h)	34,5	34,2	34,9	34,2
Fila de espera virtual (Veíc.)	90,9	87,8	79,2	87,8
	Eixo (Toda a Avenida Dr. Lourenço Peixinho)			
Atraso (Seg.)	287,8	233,9	298,9	253,3
Número de paragens (Veíc./Km)	9,3	8,1	9,4	8,1

Tabela 9. Valores gerais referentes aos 3 grandes cenários existentes para o total de carros

TODOS OS VEÍCULOS LIGEIOS	VALORES MÉDIOS			
	Rede total			
	Cenário base	Cenário 1	Cenário 2	Cenário 3
Atraso (Seg.)	84,1	84	82,7	83,9
Tempo de viagem (Seg.)	156,2	159,2	154,8	156
Tempo total de viagem (Seg.)	2387461	2389350	2320078	2324715
Número de paragens (Veíc./Km)	1,6	1,7	1,6	1,6
Velocidade (km/h)	34,6	34,3	34,9	34,6
Fila de espera virtual (Veíc.)	90,9	87,8	79,2	74,4
Eixo (Toda a Avenida Dr. Lourenço Peixinho)				
Atraso (Seg.)	285,8	231,9	297,4	252,2
Número de paragens (Veíc./Km)	9,3	8	9,3	8,1

Tabela 10. Valores gerais referentes aos 3 grandes cenários existentes para o total de autocarros

TODOS OS AUTOCARROS	VALORES MÉDIOS			
	Rede total			
	Cenário base	Cenário 1	Cenário 2	Cenário 3
Atraso (Seg.)	92,2	88,9	77,8	78,1
Tempo de viagem (Seg.)	197,1	193,4	181,7	181,1
Tempo total de viagem (Seg.)	11375	11283,6	9881,5	10731,4
Número de paragens (Veíc./Km)	2,3	2,2	2,3	2,1
Velocidade (km/h)	18,9	19,6	20,6	20,7
Fila de espera virtual (Veíc.)	0	0	0	0
Eixo (Toda a Avenida Dr. Lourenço Peixinho)				
Atraso (Seg.)	249,5	194,8	203,4	155,6
Número de paragens (Veíc./Km)	8	6,7	7,9	6,3

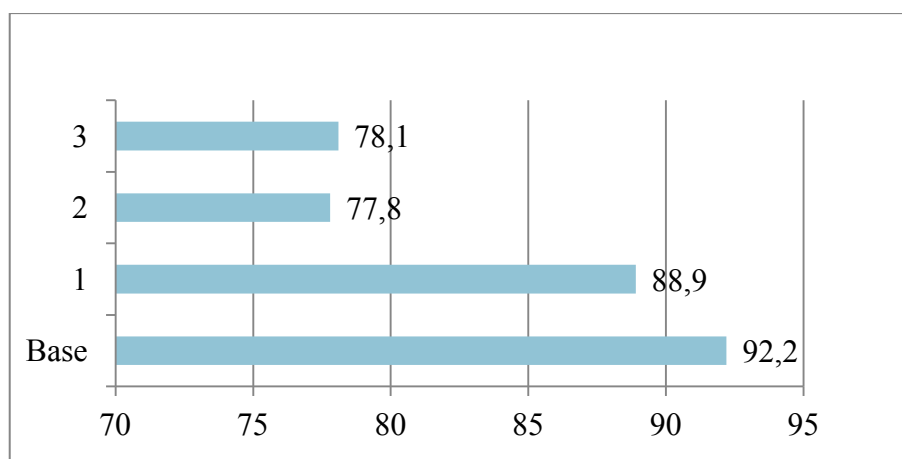


Figura 44. Comparação do indicador de desempenho, atraso, para todos os autocarros na rede total

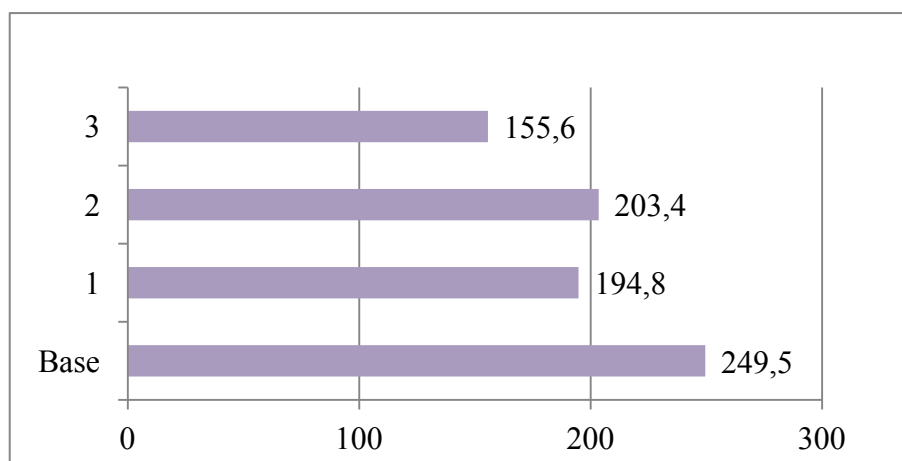


Figura 45. Comparação do indicador de desempenho, atraso, para todos os autocarros no eixo (toda a Avenida Dr. Lourenço Peixinho)

Após a análise dos resultados, pela tabela 10 e pelas Figuras 44 e 45, tal como era esperado e considerando que o principal objetivo era melhorar as condições de circulação dos TP, verifica-se que qualquer um dos cenários apresentados, tanto numa análise à rede total como apenas ao eixo, são todos mais favoráveis que o cenário existente (cenário base).

Na rede total obtêm-se valores na diminuição do tempo de atraso de 16% com a implementação do segundo cenário e de 15% no terceiro cenário. Quanto ao primeiro cenário este apenas apresenta uma melhoria de 4%. Com a diminuição do tempo de atraso, os tempos totais de viagem também são mais baixos, o que indica que em média o veículo demora menos tempo a percorrer a sua rota e a velocidade atinge valores superiores.

No entanto na análise ao eixo, a diminuição do atraso apresenta melhorias mais significativas, sendo que o cenário 3 é o que oferece uma diferença relativa na diminuição do atraso de cerca de 38%. Este comportamento resultou da combinação de duas medidas de prioridade,

assegurando por isso prioridade não só em termos de vias BUS provocando assim uma circulação livre e uma aproximação fácil nas diversas interseções, mas também a sua deteção na aproximação às interseções não havendo retenção de tráfego de TP.

Também os cenários 1 e 2 oferecem uma diferença relativa na diminuição do tempo de atraso de 22% e 19 %, respetivamente.

Analisando também o tempo de percurso da Linha 4 da empresa de transportes MoveAveiro, com a implementação de qualquer um dos cenários verificou-se uma diminuição no tempo de percurso em relação ao cenário base. Com o cenário 1, verificou-se uma redução de 10 segundos, com o cenário 2 de 40 segundos e com o cenário 3 de 80 segundos.

Contudo, e como o que se pretende é favorecer os TP não afetando o restante tráfego, numa análise ao comportamento dos veículos ligeiros e no conjunto de todos os veículos na rede total (Figuras 46,47,48 e 49), o segundo cenário apresenta uma pequena melhoria no tempo de atraso de cerca de 2%. Já com os cenários 1 e 3, o tempo de atraso em relação ao cenário base melhora em cerca de 0,4% e 1%, respetivamente.

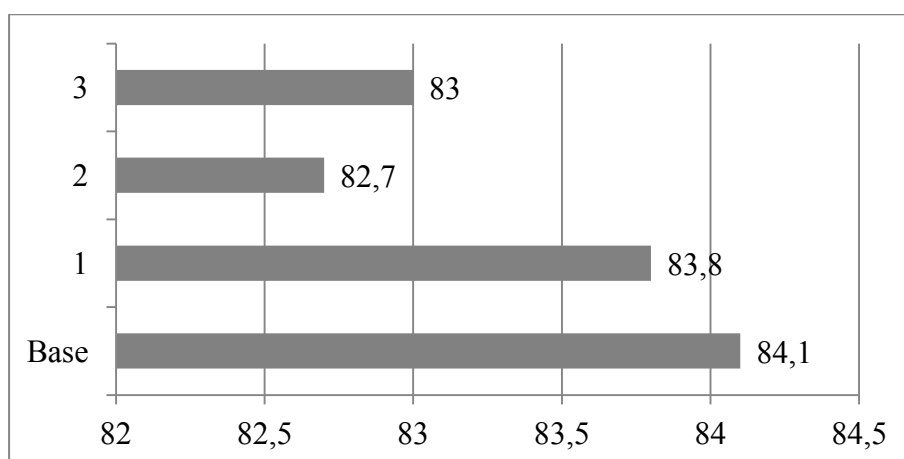


Figura 46. Comparação do indicador de desempenho, atraso, para todos os veículos na rede total

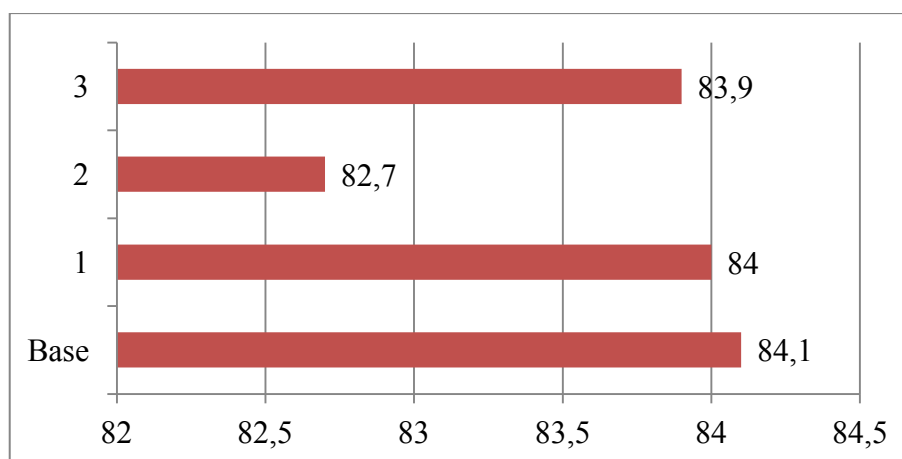


Figura 47. Comparação do indicador de desempenho, atraso, para todos os veículos ligeiros na rede total

No entanto, no eixo e contrariamente ao que acontecia na rede total, o segundo cenário provoca piores tempos de atraso para estes veículos. Isso acontece porque os autocarros circulam juntamente com os restantes veículos e quando é efetuado o pedido de requisição de prioridade por parte dos autocarros, se essa requisição for de grande volume, os veículos ligeiros começam a ficar acumulados, podendo provocar atrasos significativos para o tráfego em geral.

Relativamente aos cenários 1 e 3, uma vez que os autocarros circulam separadamente do restante tráfego, existem melhorias do tempo de atraso de 19% e 12%, respetivamente. Porém, este benefício torna-se mais ténue e não tanto relevante para o tráfego geral quando comparada com o efeito provocado nos autocarros.

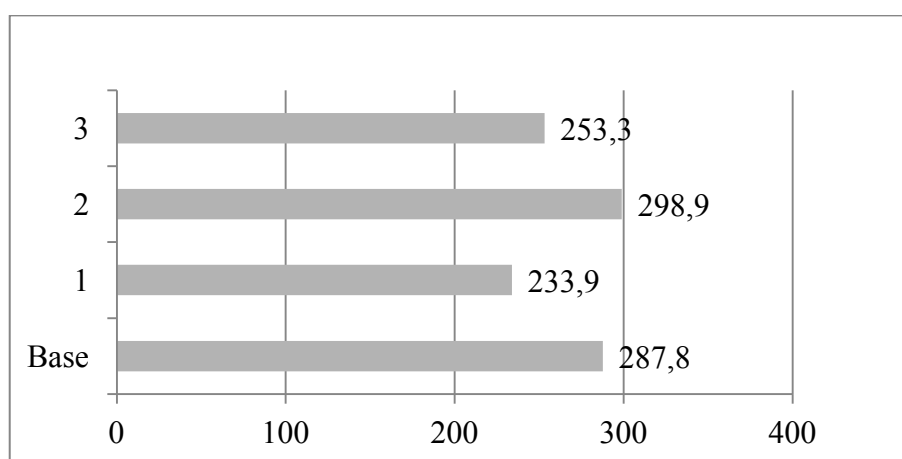


Figura 48. Comparação do indicador de desempenho, atraso, para todos os veículos no eixo (toda a Avenida Dr. Lourenço Peixinho)

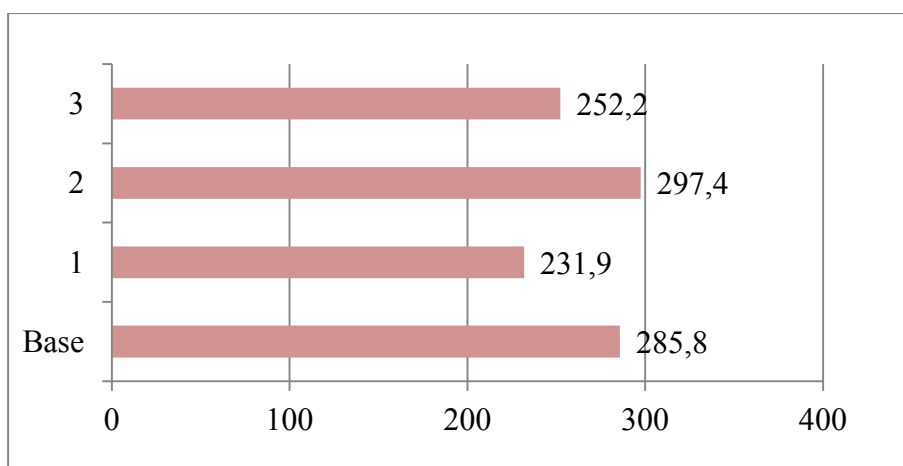


Figura 49. Comparação do indicador de desempenho, atraso, para todos os veículos ligeiros no eixo (toda a Avenida Dr. Lourenço Peixinho)

No que diz respeito ao desempenho das interseções, isto é, os níveis de serviço (Figura 50), pode-se observar que existe uma melhoria na interseção D no cenário 2, passando esta interseção de um nível de serviço D para um nível de serviço C. No entanto, também no cenário 2 o nível de serviço na interseção B piora, passando de um nível de serviço A para um nível de serviço B. Nas restantes interseções não existe qualquer alteração do nível de serviço em relação ao cenário base.

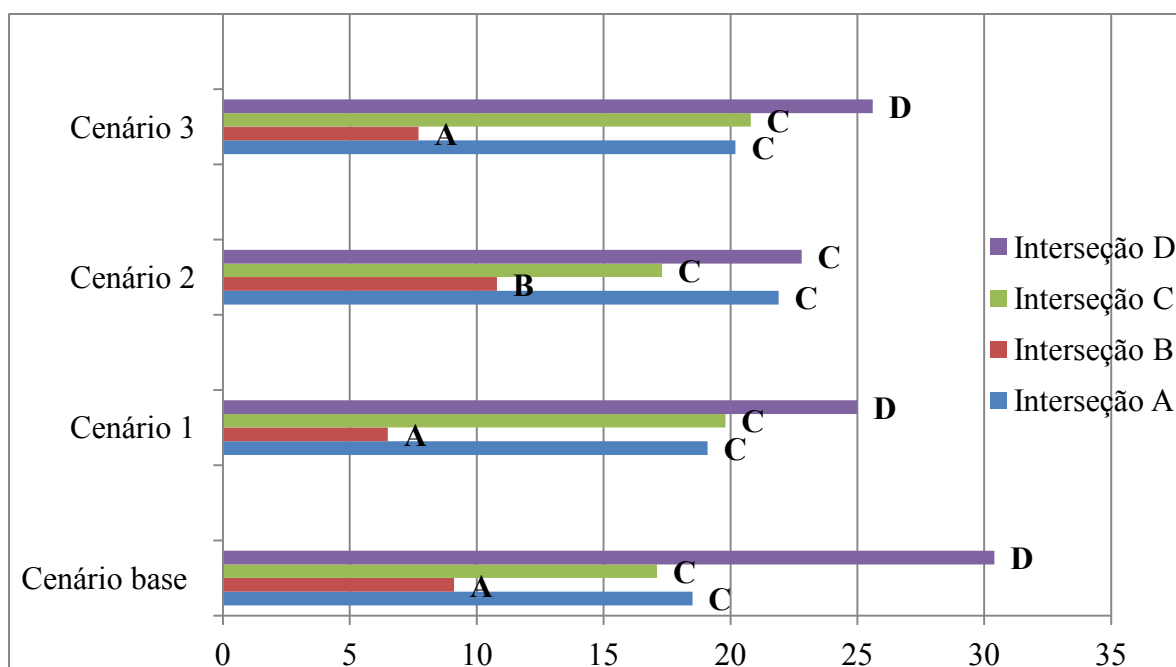


Figura 50. Nível de serviço das interseções

Capítulo 5

CONCLUSÕES E DESENVOLVIMENTOS FUTUROS

5. CONCLUSÕES E DESENVOLVIMENTOS FUTUROS

5.1. Conclusões

Os modelos microscópicos de simulação são ferramentas essenciais no planeamento, no projeto e na gestão das redes viárias. Possibilitam retirar conclusões e testar novas técnicas sem ser necessário atrapalhar o sistema real e preceder a uma recolha de dados, sendo estas as grandes vantagens dos modelos de simulação que tornam o seu uso tão importante.

Uma nota importante acerca da simulação nestas ferramentas, é que o uso destes modelos nem sempre é a melhor solução para solucionar o problema. A simulação exige disponibilidade de tempo e volumes de informação que por vezes não é fácil de obter.

Por outro lado, os modelos são apenas representações sendo inevitável recorrer a algumas simplificações, que resultam numa aproximação da realidade. A correta aplicação de modelos exige o seu domínio de modo a decidir quais as simplificações possíveis de serem feitas para que o impacto nos resultados da rede não seja excessivo.

O presente trabalho foi desenvolvido com o objetivo de testar e analisar possíveis soluções para a prioridade dos TP na ALP na cidade de Aveiro. Tendo presente este objetivo foi utilizado o modelo de simulação de tráfego AIMSUN, tendo sido avaliados diferentes cenários sem modificar a geometria do traçado existente, com a finalidade de se encontrar uma solução que melhore a circulação de TP, não afetando a circulação do restante tráfego.

Deste modo, foram desenvolvidos três cenários com esquemas alternativos de circulação tendo os mesmos sido avaliados relativamente a um cenário base. Para tal foram utilizados indicadores de desempenho, nomeadamente tempo total de viagem, atraso total, tempo de viagem, número de paragens, velocidade, fila de espera e nível de serviço das interseções. Posteriormente efetuou-se uma correlação de todos os resultados obtidos através da comparação destes indicadores de desempenho.

Como conclusão geral, destaca-se a capacidade dos modelos de simulação para avaliar diferentes sistemas de circulação de uma forma sistemática e segundo critérios objetivos.

Como conclusões específicas do caso analisado e pela avaliação dos cenários considerados, todos os cenários apresentados são benéficos para o Transporte Público, tanto na rede total como apenas no eixo (toda a avenida Dr. Lourenço Peixinho). Na rede total o segundo e terceiro apresentam uma melhoria de 16% e 15%, respetivamente. Quanto ao primeiro cenário

apresenta uma melhoria menor em cerca de 4%. Em relação ao eixo (toda a avenida Dr. Lourenço Peixinho), as melhorias são mais significativas, sendo que o terceiro cenário apresentou uma melhoria de 38%, enquanto que o primeiro e segundo uma melhoria de 22% e 19%, respetivamente.

No entanto, numa futura implementação, teria que ser ponderada a escolha do cenário a implementar tendo em conta vários fatores.

Caso se pretenda a atribuição de prioridade aos TP, sem esquecer a circulação e a afetação das medidas impostas ao restante tráfego a escolha passaria pelo terceiro cenário. Assim sendo, os autocarros circulam separadamente dos restantes veículos, promovendo uma melhoria na circulação de ambos os veículos.

No entanto, este cenário é o mais dispendioso, uma vez que para além de se ter que modificar o traçado existente, afetando assim o estacionamento para a implementação das vias BUS, também seria necessário equipar todos os veículos de TP com *transponders* e colocar os respetivos detetores, ajustando assim a regulação das interseções.

Porém, se a escolha recair no segundo cenário, em termos de rede total, esta alternativa é a que promove uma maior fluidez de circulação como consequência da acumulação de veículos ligeiros no eixo, na requisição de prioridade por parte dos TP. Contudo a penalização do TI poderá promover o uso do TP.

Contrariamente à escolha anterior, esta é a alternativa menos dispendiosa e que apresenta maior facilidade de implementação, pois não altera a geometria do traçado, não afetando assim o estacionamento que seria necessário retirar para a implementação das vias BUS. Apenas seria necessário equipar os veículos de TP com *transponders* e colocar os respetivos detetores.

É importante salientar que tanto na implementação dos corredores BUS como na aplicação dos dispositivos de deteção, a programação semafórica das interseções foi ajustada, o que demonstra que a regulação das interseções que existe atualmente deverá ser otimizada. Será assim necessário aplicar o sistema de atuação a funcionar ou corrigir os planos semafóricos atualmente existentes.

No decorrer do trabalho foram encontradas algumas limitações. Uma delas foi a recolha do volume de tráfego existente na rede. Não havia contagens recentes e em certos locais não tinha sido efetuada qualquer contagem. Apenas foram realizadas contagens na ALP para aprimorar os resultados, uma vez que seria dispendioso e exigente em termos de recursos humanos efetuar contagens em todos os locais da rede e em simultâneo. Outra das limitações existentes foi a determinação das fases e temporização dos sinais luminosos existentes na rede

modelada. Uma vez que não se conseguiu ter acesso a esta informação, optou-se por fazer recolha no local através da cronometragem e observação do comportamento dos semáforos. Sendo assim, estas limitações tornaram o estudo mais moroso.

5.2.Desenvolvimentos Futuros

Seguidamente apresentam-se ideias para possíveis trabalhos futuros:

- Estudar novos cenários onde se explorem outras medidas de priorização, por exemplo a coordenação de sinais luminosos;
- Melhorar as informações obtidas em relação ao tráfego existente e temporização dos semáforos;
- Recentemente foi elaborado um projeto que prevê uma total remodelação da ALP (Câmara Municipal de Aveiro). Os dados recolhidos melhorados e analisados podem ser uma forte ferramenta de comparação ao novo modelo que será aplicado para avaliar aspetos mais ou menos positivos desta alteração.

Capítulo 6

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AIMSUN Microsimulator and Mesosimulator, version 6.1 - Transport Simulation Systems, 2010

AIMSUN Macroscopic Modelling Manual, version 6.1 - Transport Simulation Systems, 2010

Allen, B. L. (1973). Bus priority measures in London. Department of the Environment, Transportation and Road Research Laboratory, Crowthorne, UK.

Amorim, J. H.; Lopes, M.; Borrego et al. (2010). *Air quality modelling as a tool for sustainable urban traffic management. Proceedings from the 18th International Conference on Modelling, Monitoring and Management of Air Pollution, ED.s C.A. Brebbia & J. W.S Longhurst, WIT Transactions on Ecology. doi : 10.2495/ AIR 100011*

Archer, J. (2005). *Indicators for traffic safety assessment and prediction and their application in microsimulation modelling: A study of urban and suburban intersections*. Tese de Doutorado. Royal Institute of Technology, Estocolmo.

Barceló, J. , Prado, S. (2005). *Methodological note on the calibration and validation of Microscopic Traffic Simulation Models*.AIMSUN Training course, 23 - 24 november.

Barceló, J., Casas, J. (2004) *Methodological notes on the calibration and validation of Microscopic Traffic Simulation Models*. Transportation Research Board, Annual Meeting, Janeiro de 2004, Washington D.C.

Bloomberg. L., Dale, J. A. (2000). *Comparison of the VISSIM and CORSIM Traffic Simulation Models*. Institute of Transportation Engineers Annual Meeting.

Câmara Municipal de Aveiro (2015). <http://www.cm-aveiro.pt>

- CMA (2012). *Plano Municipal de Mobilidade de Aveiro. Relatório de Caracterização e Diagnóstico*, Aveiro.
- Chowdhury, M. A et Sadek, A. (2003). *Fundamentals of Intelligent Transportation Systems Planning*. Artech House, Boston, E.U.A.
- Costa, A. P., Seco, Á., et Vasconcelos, Á. (2005). *Sinais Luminosos. Manual de Planeamento das Acessibilidades e da Gestão Viária*. Comissão de Coordenação e Desenvolvimento Regional do Norte.
- Dion, F., Rakha, H. et Zhang, Y. (2004). Evaluation of potential transit signal priority benefits along a fixed-time signalized. *Journal of transportation engineering*, 130 (3), 294-303.
- Figueiredo, L. M. P. (2005). *Sistemas Inteligentes de Transporte*. Dissertação de Mestrado em Engenharia Civil da Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, Porto, Portugal.
- Gonçalves, I. E. M. (2013). *Metodologias para Avaliação das Condições de Circulação em Interseções Controladas por Sinais Luminosos*. Dissertação de Mestrado em Engenharia Civil da Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, Porto, Portugal.
- Gregório, B. M. G. G. (2009). *Estudo e Aplicação de vias exclusivas para transportes públicos*. Dissertação de Mestrado em Engenharia Civil da Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, Porto, Portugal.
- Highway Capacity manual 2010*. Transportation Research Board, 2010
- HMSO (1987). *Road Traffic in Urban Areas*. Institution of Highways and Transportation et Department of Transport, London, U.K.

- Hourdakis, J., Michalopoulos, P. et Kottomannil, J. (2003). *A Practical Procedure for Calibrating Microscopic Traffic Simulation Model*. Transportation Research Board 2003 Annual Meeting, Washington.
- Hounsell, N.B. (2004). *Keeping buses moving: role of intelligent transport systems*. Proceedings of the ICE- Municipal Engineer, 157 (1), 55 - 60.
- IMTT. (2009). *Caderno de Encargos para a realização dos Inquéritos à Mobilidade*.
- LNEC (1962). *Vocabulário de Estradas e Aeródromos*. LNEC, Ministério das Obras Públicas, Lisboa, Portugal.
- Macedo, J. M. G. (2005). *Seleção da Tipologia de Cruzamentos em Função da Procura*. Dissertação de Mestrado em Engenharia Civil da Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, Porto, Portugal.
- Minh, C. C., Binh, T. H., Mai, T. T. et Sano, K. (2009). The delay Estimation under Heterogeneous Traffic Conditions. *Journal of the Eastern Asia Society for Transportation Studies*, 7, 1 - 13.
- Moniz, C. S. M. (2007). *O congestionamento de Interseções e o uso de Vias Individualizadas Dinâmicas*. Dissertação de Mestrado em Engenharia Civil do Instituto Superior Técnico da Universidade Técnica de Lisboa, Lisboa, Portugal.
- Neto, N. P. (2003). *Priorização do Transporte Público em Interseções Semaforzadas*. Dissertação de Mestrado em Engenharia Civil. Faculdade de Engenharia Civil da Universidade Estadual de Campinas, Campinas, S.P, Brasil.
- Neves, J. M. G. R. V. (2006). *The impacts of BUS Lanes on Urban traffic Environment*. Dissertação de Mestrado em Engenharia Civil da Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, Porto, Portugal.
- O'Flaherty, C. A. (1997). Traffic planning strategies. *Transport planning and traffic engineering*, Oxford: Butterworth Heinemann, 132-153.

- Procuradoria Geral Distrital de Lisboa. *Código da Estrada*, Ministério Público, DL, n.º 114/94, de 03 de Maio.
- Oketch, T., Carrick, M. (2005). Calibration and validation of a micro-simulation model in network analysis. *Proceedings of the 84th TRB Annual Meeting, Washington, DC*.
- Otan (1976). *Bus Priority Systems*. CCMS Report no.4. Department of the Environment, Transportation and Road Research Laboratory, Crowthorne, UK.
- Rakha, H. et Zhang, Y. (2004). Sensitivity analysis of transit signal priority impacts on operation of a signalized intersection. *Journal of Transportation engineering*, 130 (6), 796 - 804.
- Setti, J. R. et Widmer, J. A. (1997). *Tecnologia de Transportes*. Faculdade de Engenharia da Universidade de São Paulo, Brasil.
- STCP (1992). *Contribuição para um sistema de Exploração Automatizada de veículos de Transporte Público*. Porto.
- Stoyanov, P. et Gagova, P. (2012). Some implementation of quality of public transport. *Problemy Transport Selected full texts*, 7 (2), 37 - 41.
- Sunkari, S. R, Beasley, P. S, Urbanik, T. et Fambro, D. B. (1995). Model to Evaluate the Impacts of Bus Priority on Signalized Intersections. *Transportation Research Record*. nº 1494, p. 117-123.
- Tavares, J. P. (1994). *Sistemas Centralizados de Controlo de Tráfego Urbano- Sua Avaliação: Aplicação do caso da cidade do Porto*. Dissertação de Mestrado em Transportes, ITS, Lisboa, Portugal.
- Terra, T. (2002). *Aplicação de lógica fuzzy no controlo de trânsito urbano*. Dissertação de Mestrado em Ciência da Computação da Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, Brasil.

Viegas, J. M, Roque, R., Lu, B et Vieira, J.(2007). *The intermittent Bus lane system: Demonstration in Lisbon*. Paper Submitted to the 86th TRB Annual Meeting.

Vilarinho, C.A.T. (2008). *Calibração de Modelos Microscópicos de Simulação de tráfego em Redes Urbanas*. Tese de Mestrado em Engenharia Civil. Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, Portugal.

WDoT (2002). Freeway System Operational Assessment. Technical Report I-33: Paramics Calibration & Validation guidelines. Wisconsin Department of Transportation.

Anexo A

DIAGRAMAS DE FASES

ANEXO A. DIAGRAMAS DE FASES

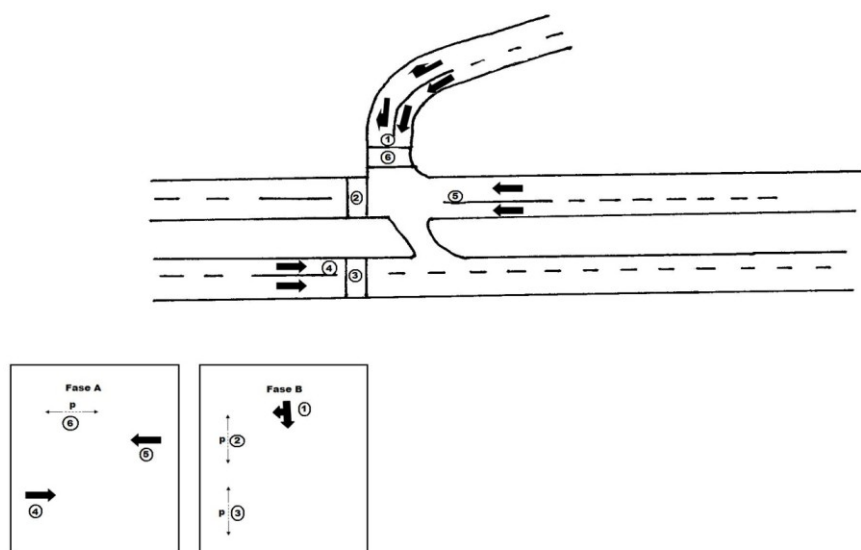


Fig. A.1 – Diagramas de fases da interseção A

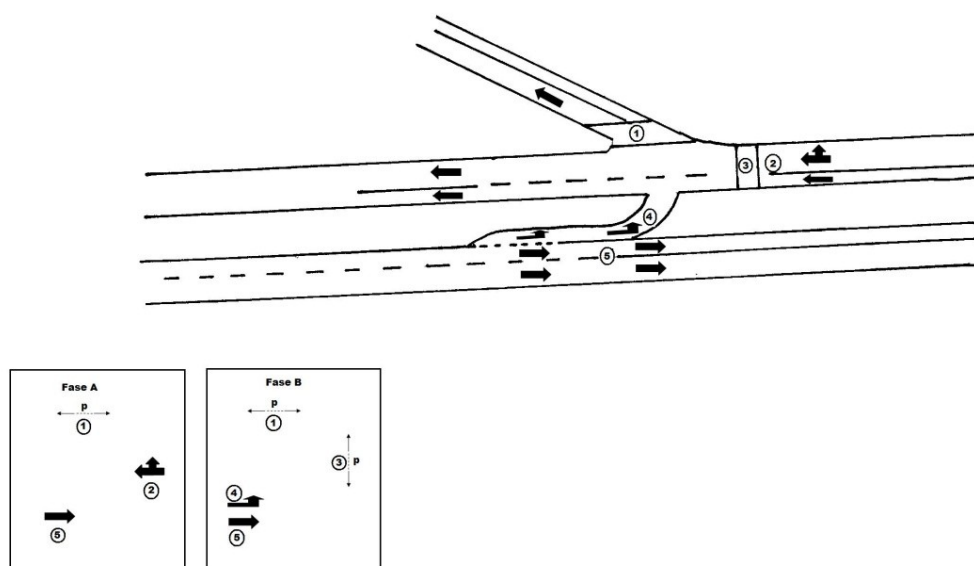


Fig. A.2 – Diagramas de fases da interseção B

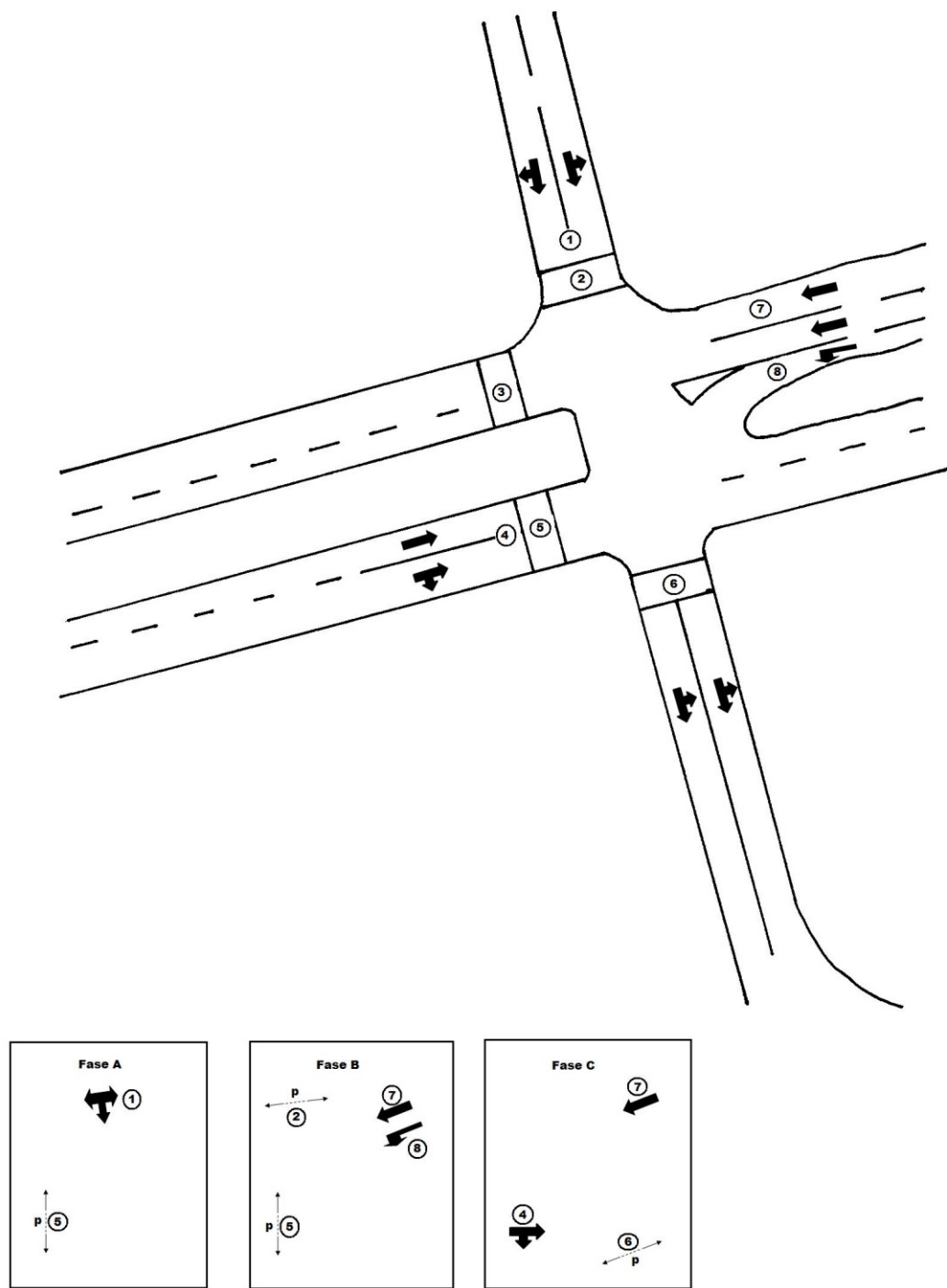


Fig. A.3 – Diagramas de fases da interseção C

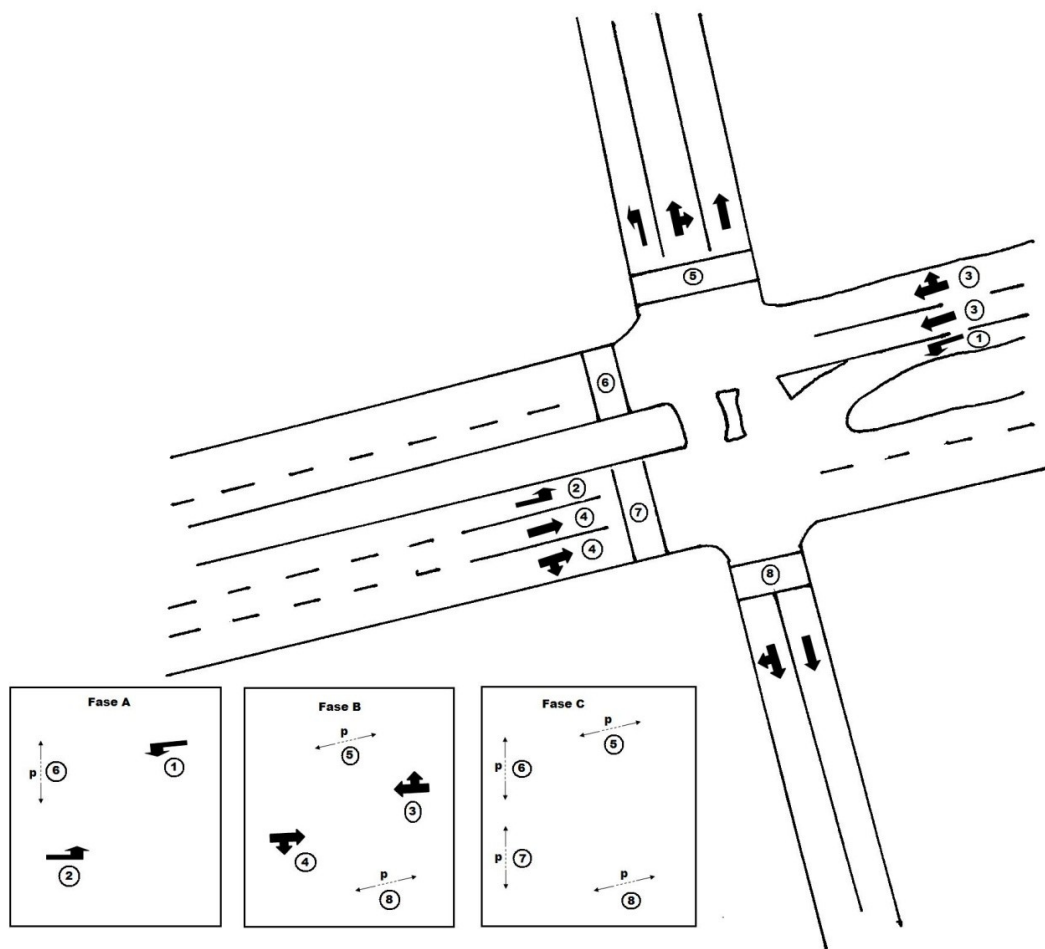


Fig. A.4 – Diagramas de fases da interseção D

Anexo B

CONTAGENS DE TRÁFEGO

ANEXO B. CONTAGENS DE TRÁFEGO

Posto 1

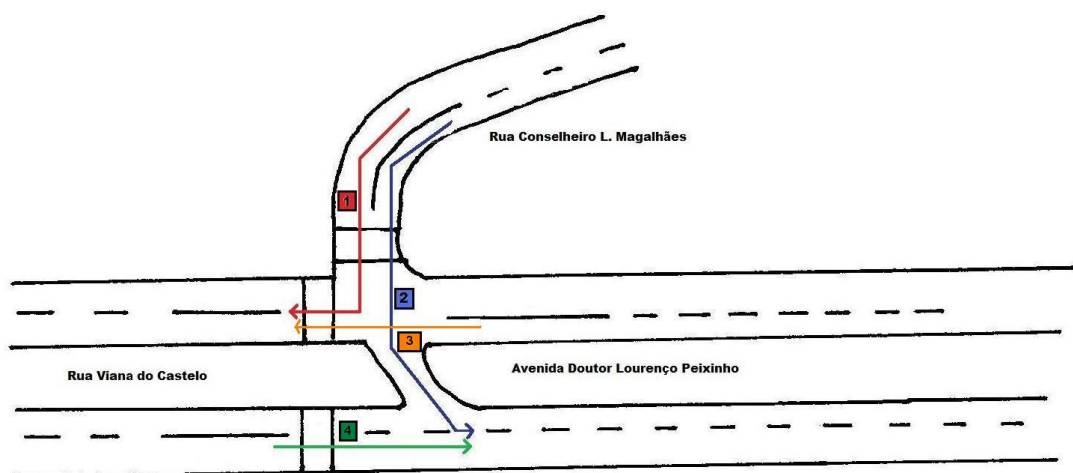


Fig. B.1 – Interseção A

Tabela B.1-Movimento 1

VEÍCULOS	8h15 - 8h30	8h30-8h45	8h45-9h00	9h00-9h15	TOTAL
Ligeiros	56	43	62	90	251
Autocarros	0	0	0	0	0
Motos	2	1	0	0	3
TOTAL	58	44	62	90	254

Tabela B.2-Movimento 2

VEÍCULOS	8h15 - 8h30	8h30-8h45	8h45-9h00	9h00-9h15	TOTAL
Ligeiros	26	16	24	36	102
Autocarros	0	0	0	0	0
Motos	0	0	0	0	0
TOTAL	26	16	24	36	102

Tabela B.3-Movimento 3

VEÍCULOS	8h15 - 8h30	8h30-8h45	8h45-9h00	9h00-9h15	TOTAL
Ligeiros	189	174	93	137	593
Autocarros	0	6	6	7	19
Motos	0	5	1	4	10
TOTAL	189	185	100	148	622

Tabela B.4-Movimento 4

VEÍCULOS	8h15 - 8h30	8h30-8h45	8h45-9h00	9h00-9h15	TOTAL
Ligeiros	160	145	152	236	693
Autocarros	7	0	2	10	19
Motos	2	6	6	3	17
TOTAL	159	151	160	249	719

Posto 2

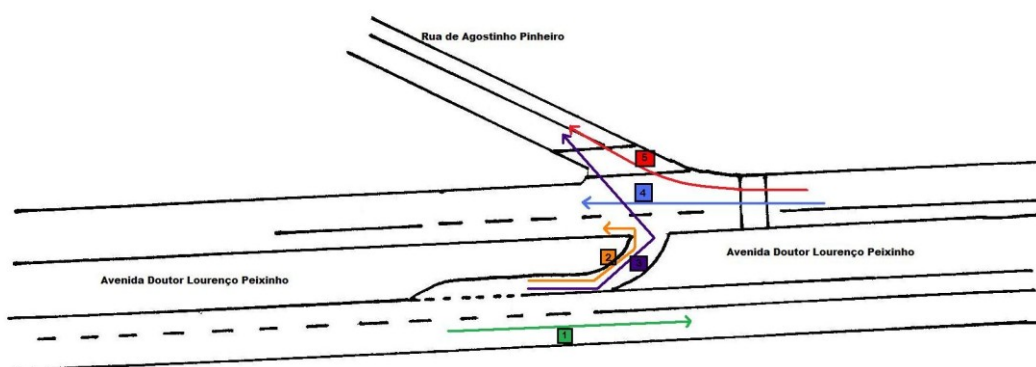


Fig. B.2 – Interseção B

Tabela B.5-Movimento 1

VEÍCULOS	8h15 - 8h30	8h30-8h45	8h45-9h00	9h00-9h15	TOTAL
Ligeiros	120	148	146	162	576
Autocarros	3	2	4	5	14
Motos	4	4	1	4	13
TOTAL	127	154	151	171	603

Tabela B.6-Movimento 2

VEÍCULOS	8h15 - 8h30	8h30-8h45	8h45-9h00	9h00-9h15	TOTAL
Ligeiros	6	12	15	10	43
Autocarros	0	0	0	0	0
Motos	0	0	0	0	0
TOTAL	6	12	15	10	43

Tabela B.7-Movimento 3

VEÍCULOS	8h15 - 8h30	8h30-8h45	8h45-9h00	9h00-9h15	TOTAL
Ligeiros	33	54	44	51	182
Autocarros	0	0	0	0	0
Motos	1	0	1	1	3
TOTAL	34	54	45	52	185

Tabela B.8-Movimento 4

VEÍCULOS	8h15 - 8h30	8h30-8h45	8h45-9h00	9h00-9h15	TOTAL
Ligeiros	194	134	141	149	618
Autocarros	5	5	7	4	21
Motos	0	2	2	3	7
TOTAL	199	141	150	156	646

Tabela B.9-Movimento 5

VEÍCULOS	8h15 - 8h30	8h30-8h45	8h45-9h00	9h00-9h15	TOTAL
Ligeiros	26	17	25	28	96
Autocarros	0	0	0	0	0
Motos	1	0	0	0	1
TOTAL	27	17	25	28	97

Posto 3

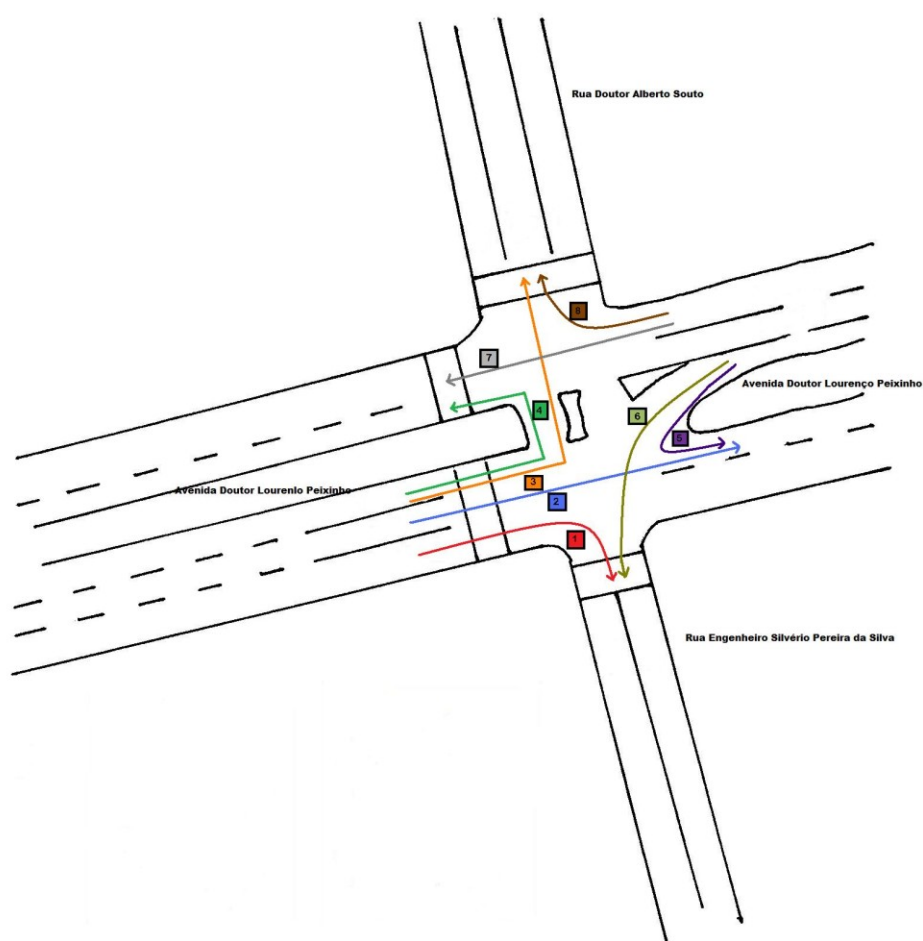


Fig. B.3 – Interseção C

Tabela B.10-Movimento 1

VEÍCULOS	8h15 - 8h30	8h30-8h45	8h45-9h00	9h00-9h15	TOTAL
Ligeiros	20	17	16	24	77
Autocarros	0	0	0	0	0
Motos	0	0	0	0	0
TOTAL	20	17	16	24	77

Tabela B.11-Movimento 2

VEÍCULOS	8h15 - 8h30	8h30-8h45	8h45-9h00	9h00-9h15	TOTAL
Ligeiros	116	113	105	139	473
Autocarros	4	3	1	7	15
Motos	3	1	5	5	14
TOTAL	123	117	111	151	502

Tabela B.12-Movimento 3

VEÍCULOS	8h15 - 8h30	8h30-8h45	8h45-9h00	9h00-9h15	TOTAL
Ligeiros	49	30	35	53	167
Autocarros	0	0	0	0	0
Motos	1	1	3	0	5
TOTAL	50	31	38	53	172

Tabela B.13-Movimento 4

VEÍCULOS	8h15 - 8h30	8h30-8h45	8h45-9h00	9h00-9h15	TOTAL
Ligeiros	18	10	15	19	62
Autocarros	0	0	0	0	0
Motos	1	0	0	1	2
TOTAL	19	10	15	20	64

Tabela B.14-Movimento 5

VEÍCULOS	8h15 - 8h30	8h30-8h45	8h45-9h00	9h00-9h15	TOTAL
Ligeiros	2	1	1	1	5
Autocarros	0	0	0	0	0
Motos	1	0	0	0	1
TOTAL	3	1	1	1	6

Tabela B.15-Movimento 6

VEÍCULOS	8h15 - 8h30	8h30-8h45	8h45-9h00	9h00-9h15	TOTAL
Ligeiros	23	9	13	12	57
Autocarros	0	0	0	0	0
Motos	1	0	0	0	1
TOTAL	24	9	13	12	58

Tabela B.16-Movimento 7

VEÍCULOS	8h15 - 8h30	8h30-8h45	8h45-9h00	9h00-9h15	TOTAL
Ligeiros	158	176	148	156	638
Autocarros	4	7	6	6	23
Motos	5	6	3	2	16
TOTAL	167	189	157	164	677

Tabela B.17-Movimento 8

VEÍCULOS	8h15 - 8h30	8h30-8h45	8h45-9h00	9h00-9h15	TOTAL
Ligeiros	97	87	95	90	369
Autocarros	0	0	0	0	0
Motos	0	0	0	1	1
TOTAL	97	87	95	91	370

Posto 4

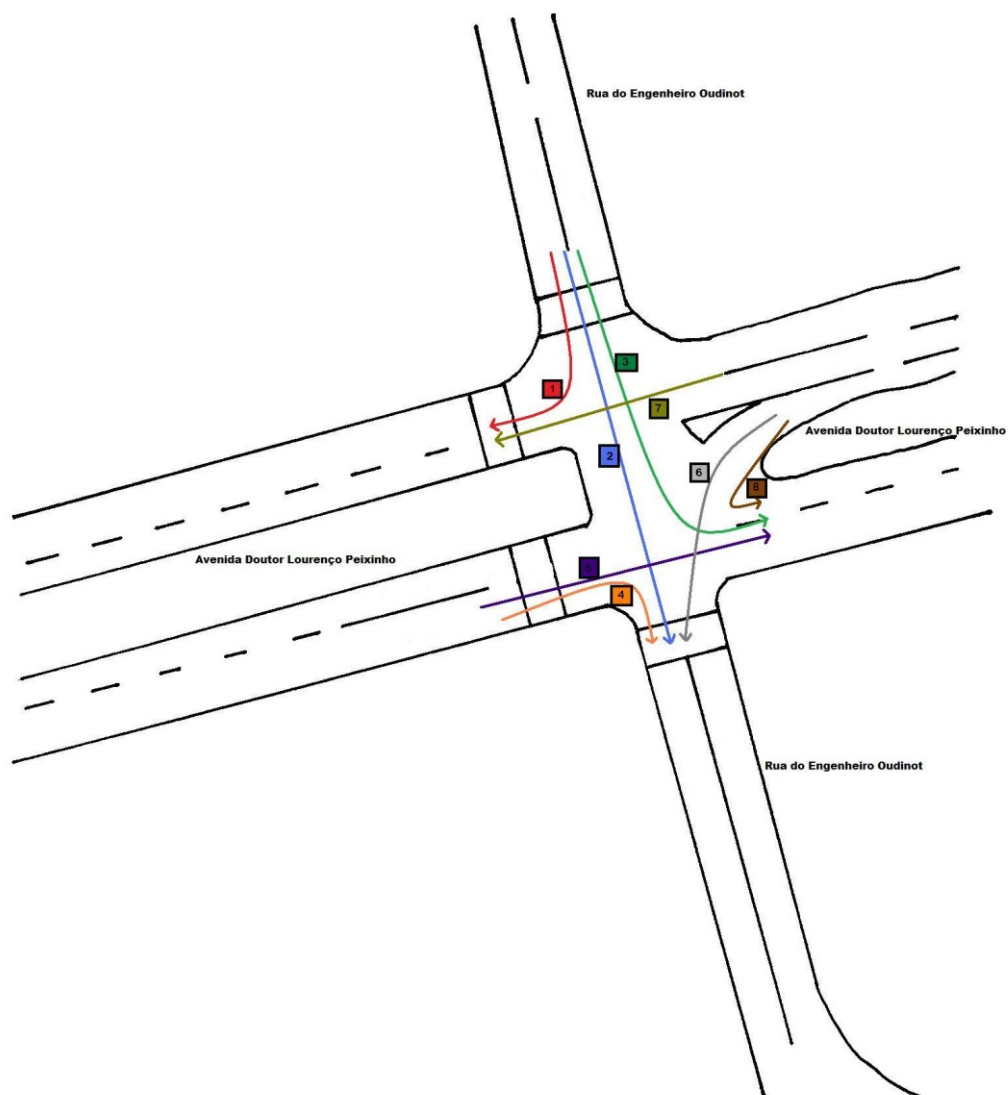


Fig. B.4 – Interseção D

Tabela B.18-Movimento 1

VEÍCULOS	8h15 - 8h30	8h30-8h45	8h45-9h00	9h00-9h15	TOTAL
Ligeiros	57	63	47	31	198
Autocarros	0	0	0	0	0
Motos	1	0	0	0	1
TOTAL	58	63	47	31	199

Tabela B.19-Movimento 2

VEÍCULOS	8h15 - 8h30	8h30-8h45	8h45-9h00	9h00-9h15	TOTAL
Ligeiros	25	27	37	34	123
Autocarros	2	0	0	0	2
Motos	0	0	0	0	0
TOTAL	27	27	37	34	125

Tabela B.20-Movimento 3

VEÍCULOS	8h15 - 8h30	8h30-8h45	8h45-9h00	9h00-9h15	TOTAL
Ligeiros	9	5	11	8	33
Autocarros	0	0	0	0	0
Motos	0	0	0	0	0
TOTAL	9	5	11	8	33

Tabela B.21-Movimento 4

VEÍCULOS	8h15 - 8h30	8h30-8h45	8h45-9h00	9h00-9h15	TOTAL
Ligeiros	54	48	34	58	194
Autocarros	0	0	0	0	0
Motos	0	0	0	0	0
TOTAL	54	48	34	58	194

Tabela B.22-Movimento 5

VEÍCULOS	8h15 - 8h30	8h30-8h45	8h45-9h00	9h00-9h15	TOTAL
Ligeiros	46	46	49	58	199
Autocarros	6	4	3	2	15
Motos	0	0	1	0	1
TOTAL	52	50	53	60	215

Tabela B.23-Movimento 6

VEÍCULOS	8h15 - 8h30	8h30-8h45	8h45-9h00	9h00-9h15	TOTAL
Ligeiros	99	125	115	107	446
Autocarros	0	0	0	0	0
Motos	0	0	0	0	0
TOTAL	99	125	115	107	446

Tabela B.24-Movimento 7

VEÍCULOS	8h15 - 8h30	8h30-8h45	8h45-9h00	9h00-9h15	TOTAL
Ligeiros	134	153	166	143	596
Autocarros	7	5	2	0	14
Motos	0	1	1	0	2
TOTAL	141	159	169	143	612

Tabela B.25-Movimento 8

VEÍCULOS	8h15 - 8h30	8h30-8h45	8h45-9h00	9h00-9h15	TOTAL
Ligeiros	8	1	3	5	17
Autocarros	0	0	0	0	0
Motos	0	0	0	0	0
TOTAL	8	1	3	5	17

Posto 5

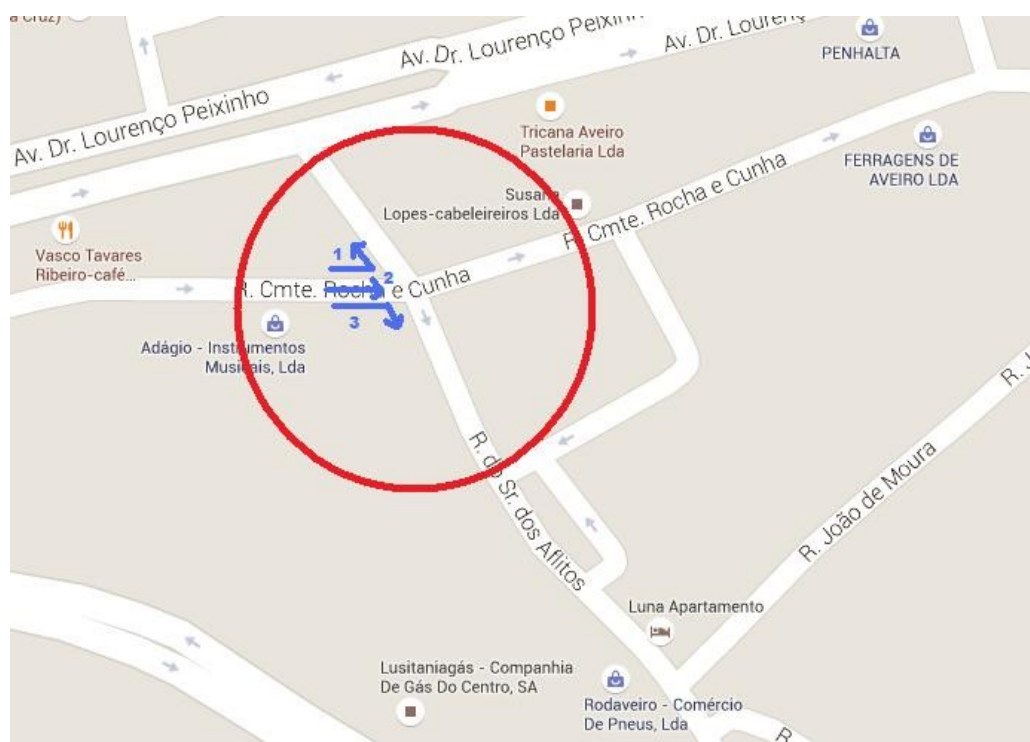


Fig. B.5 – Rua Comandante Rocha e Cunha

Tabela B.26-Movimento 1

VEÍCULOS	8h15 - 8h30	8h30-8h45	8h45-9h00	9h00-9h15	TOTAL
Ligeiros	0	27	38	32	97
Pesados	0	1	1	1	3
Motos	0	0	0	0	0
TOTAL	0	28	39	33	100

Tabela B.27-Movimento 2

VEÍCULOS	8h15 - 8h30	8h30-8h45	8h45-9h00	9h00-9h15	TOTAL
Ligeiros	0	97	119	133	349
Pesados	0	0	0	0	0
Motos	0	1	0	0	1
TOTAL	0	98	119	133	350

Tabela B.28-Movimento 3

VEÍCULOS	8h15 - 8h30	8h30-8h45	8h45-9h00	9h00-9h15	TOTAL
Ligeiros	0	12	18	9	39
Pesados	0	0	2	1	3
Motos	1	0	1	0	2
TOTAL	1	12	21	10	44

Posto 6

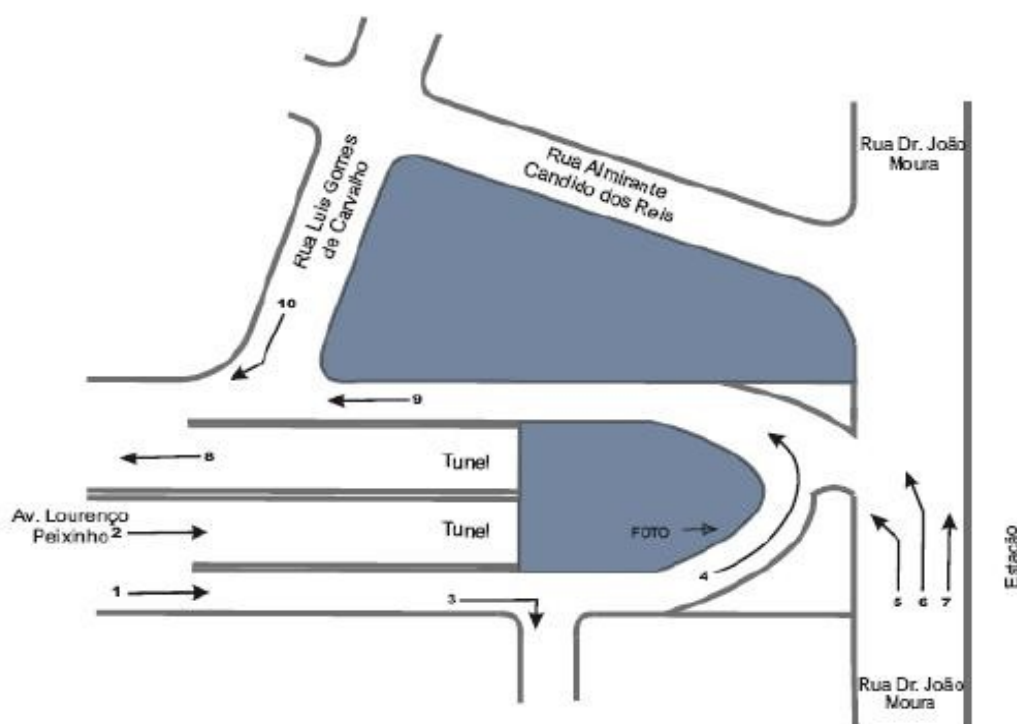


Fig. B.6 – Túnel

Tabela B.29-Movimento 1

VEÍCULOS	8h15 - 8h30	8h30-8h45	8h45-9h00	9h00-9h15	TOTAL
Ligeiros	40	59	47	50	196
Pesados	0	0	2	1	3
Motos	1	0	1	0	2
TOTAL	41	59	50	51	201

Tabela B.30-Movimento 2

VEÍCULOS	8h15 - 8h30	8h30-8h45	8h45-9h00	9h00-9h15	TOTAL
Ligeiros	47	72	54	50	223
Pesados	8	5	7	2	22
Motos	0	0	0	1	1
TOTAL	55	77	61	53	246

Tabela B.31-Movimento 3

VEÍCULOS	8h15 - 8h30	8h30-8h45	8h45-9h00	9h00-9h15	TOTAL
Ligeiros	18	23	4	11	56
Pesados	0	0	1	1	2
Motos	1	0	1	0	2
TOTAL	19	23	6	12	60

Tabela B.32-Movimento 3

VEÍCULOS	8h15 - 8h30	8h30-8h45	8h45-9h00	9h00-9h15	TOTAL
Ligeiros	18	23	4	11	56
Pesados	0	0	1	1	2
Motos	1	0	1	0	2
TOTAL	19	23	6	12	60

Tabela B.33-Movimento 4

VEÍCULOS	8h15 - 8h30	8h30-8h45	8h45-9h00	9h00-9h15	TOTAL
Ligeiros	22	36	43	39	140
Pesados	0	0	1	0	1
Motos	0	0	0	0	0
TOTAL	22	36	44	39	141

Tabela B.34-Movimento 5

VEÍCULOS	8h15 - 8h30	8h30-8h45	8h45-9h00	9h00-9h15	TOTAL
Ligeiros	25	18	28	23	94
Pesados	3	3	2	1	9
Motos	0	1	1	0	2
TOTAL	28	22	31	24	105

Tabela B.35-Movimento 6

VEÍCULOS	8h15 - 8h30	8h30-8h45	8h45-9h00	9h00-9h15	TOTAL
Ligeiros	52	55	57	51	215
Pesados	5	4	7	4	20
Motos	0	0	1	0	1
TOTAL	57	59	65	55	236

Tabela B.36-Movimento 7

VEÍCULOS	8h15 - 8h30	8h30-8h45	8h45-9h00	9h00-9h15	TOTAL
Ligeiros	31	48	52	45	176
Pesados	0	0	0	2	2
Motos	0	1	0	1	2
TOTAL	31	49	52	48	180

Tabela B.37-Movimento 8

VEÍCULOS	8h15 - 8h30	8h30-8h45	8h45-9h00	9h00-9h15	TOTAL
Ligeiros	100	131	166	119	516
Pesados	3	6	5	2	16
Motos	1	0	1	3	5
TOTAL	104	137	172	124	537

Tabela B.38-Movimento 9

VEÍCULOS	8h15 - 8h30	8h30-8h45	8h45-9h00	9h00-9h15	TOTAL
Ligeiros	45	52	66	59	222
Pesados	4	3	5	1	13
Motos	0	0	0	0	0
TOTAL	49	55	71	60	235

Tabela B.39-Movimento 10

VEÍCULOS	8h15 - 8h30	8h30-8h45	8h45-9h00	9h00-9h15	TOTAL
Ligeiros	177	158	139	161	635
Pesados	5	12	12	9	38
Motos	1	2	2	2	7
TOTAL	183	172	153	172	680

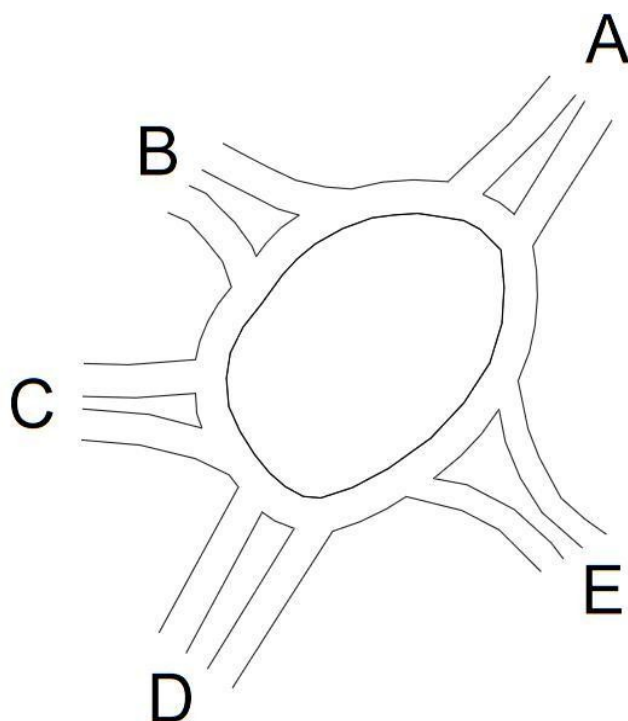
Posto 7

Fig. B.7 – Rotunda constituindo-se como a interseção entre a E.N. 109, a Avenida de Granja, a Avenida de ligação à Estação de Comboios e a ligação à Rua da Sofia

Legenda:

- A- Entrada Norte E.N. 109
- B- Av. Da Granja
- C- Ligação à Estação de Comboios
- D- Entrada Sul E.N. 109
- E- Ligação á Rua da Sofia

Tabela B.40-Contagem de tráfego (0-5 min.)

0-5 min	A	B	C	D	E	Totais de entrada
A	0	18	47	95	1	161
B	21	0	6	16	2	45
C	35	3	0	3	1	42
D	66	15	7	0	3	91
E	6	16	13	8	0	43
Totais de saída	128	52	73	122	7	382

Tabela B.41-Contagem de tráfego (5-10 min.)

5-10 min	A	B	C	D	E	Totais de entrada
A	0	19	46	99	1	165
B	4	0	4	33	6	47
C	29	3	0	3	1	36
D	109	28	7	0	2	146
E	5	11	5	4	0	25
Totais de saída	147	61	62	139	10	419

Tabela B.42-Contagem de tráfego (10-15 min.)

10-15 min	A	B	C	D	E	Totais de entrada
A	0	22	30	100	2	154
B	17	0	2	14	2	35
C	42	3	0	7	3	55
D	99	26	8	0	6	139
E	1	7	8	2	0	18
Totais de saída	159	58	48	123	13	401

Tabela B.43-Contagem de tráfego (15-20 min.)

15-20 min	A	B	C	D	E	Totais de entrada
A	0	16	36	88	3	143
B	15	0	5	21	0	41
C	40	2	0	7	3	52
D	119	17	2	0	6	144
E	4	7	5	7	0	23
Totais de saída	178	42	48	123	12	403

Tabela B.44-Contagem de tráfego (20-25 min.)

20-25 min	A	B	C	D	E	Totais de entrada
A	0	30	41	77	2	150
B	13	0	0	10	2	25
C	35	3	0	4	7	49
D	119	24	7	0	6	156
E	4	7	6	8	0	25
Totais de saída	171	64	54	99	17	405

Tabela B.45-Contagem de tráfego (25-30 min.)

25-30 min	A	B	C	D	E	Totais de entrada
A	0	14	37	98	3	152
B	15	0	2	11	2	30
C	35	3	0	7	3	48
D	108	27	6	0	4	145
E	8	8	8	10	0	34
Totais de saída	166	52	53	126	12	409

Tabela B.46-Contagem de tráfego (30-35 min.)

30-35 min	A	B	C	D	E	Totais de entrada
A	0	22	49	107	3	181
B	22	0	2	22	3	49
C	36	3	0	2	1	42
D	126	27	0	0	6	159
E	8	10	6	7	0	31
Totais de saída	192	62	57	138	13	462

Tabela B.47-Contagem de tráfego (35-40 min.)

35-40 min	A	B	C	D	E	Totais de entrada
A	0	22	34	105	1	162
B	6	0	0	16	4	26
C	38	3	0	4	6	51
D	135	17	16	0	5	173
E	4	13	4	10	0	31
Totais de saída	183	55	54	135	16	443

Tabela B.48-Contagem de tráfego (40-45 min.)

40-45 min	A	B	C	D	E	Totais de entrada
A	0	22	39	92	4	157
B	13	0	1	11	3	28
C	31	3	0	3	6	43
D	117	28	0	0	7	152
E	2	9	8	7	0	26
Totais de saída	163	62	48	113	20	406

Tabela B.49-Contagem de tráfego (45-50 min.)

45-50 min	A	B	C	D	E	Totais de entrada
A	0	22	40	97	4	163
B	17	0	2	14	4	37
C	25	3	0	1	4	33
D	106	16	0	0	8	130
E	2	10	8	10	0	30
Totais de saída	150	51	50	122	20	393

Tabela B.50-Contagem de tráfego (50-55 min.)

50-55 min	A	B	C	D	E	Totais de entrada
A	0	25	41	92	0	158
B	8	0	3	10	1	22
C	22	3	0	3	3	31
D	103	19	8	0	4	134
E	8	13	10	11	0	42
Totais de saída	141	60	62	116	8	387

Tabela B.51-Contagem de tráfego (55-60 min.)

55-60 min	A	B	C	D	E	Totais de entrada
A	0	15	33	84	1	133
B	15	0	3	17	2	37
C	28	3	0	5	2	38
D	85	32	3	0	5	125
E	4	9	11	9	0	33
Totais de saída	132	59	50	115	10	366

Posto 8

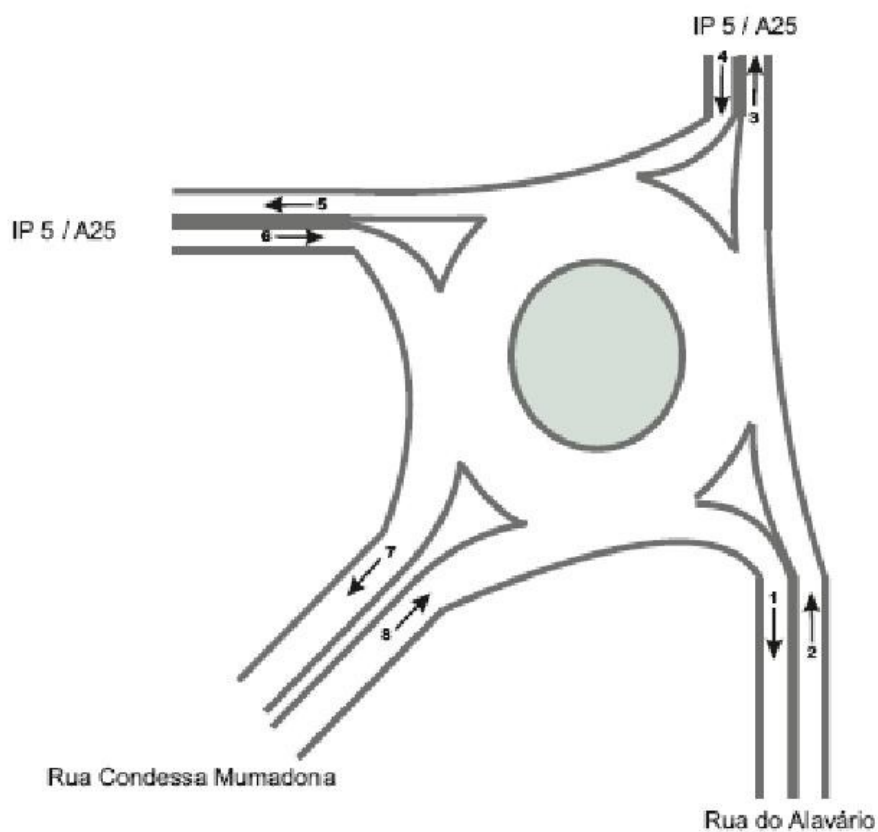


Fig. B.8 – Rotunda das Pirâmides

Tabela B.52-Movimento 1

VEÍCULOS	8h15 - 8h30	8h30-8h45	8h45-9h00	9h00-9h15	TOTAL
Ligeiros	143	111	201	182	637
Pesados	3	1	0	1	5
Motos	1	1	2	1	5
TOTAL	147	113	203	184	647

Tabela B.53-Movimento 2

VEÍCULOS	8h15 - 8h30	8h30-8h45	8h45-9h00	9h00-9h15	TOTAL
Ligeiros	74	80	116	140	410
Pesados	2	2	0	1	5
Motos	0	1	0	0	1
TOTAL	76	83	116	141	416

Tabela B.54-Movimento 3

VEÍCULOS	8h15 - 8h30	8h30-8h45	8h45-9h00	9h00-9h15	TOTAL
Ligeiros	248	272	211	264	995
Pesados	1	1	4	4	10
Motos	5	3	3	6	17
TOTAL	254	276	218	274	1022

Tabela B.55-Movimento 4

VEÍCULOS	8h15 - 8h30	8h30-8h45	8h45-9h00	9h00-9h15	TOTAL
Ligeiros	110	122	148	178	558
Pesados	7	5	9	4	25
Motos	3	1	7	3	14
TOTAL	120	128	164	185	597

Tabela B.56-Movimento 5

VEÍCULOS	8h15 - 8h30	8h30-8h45	8h45-9h00	9h00-9h15	TOTAL
Ligeiros	60	71	72	57	260
Pesados	6	4	5	3	18
Motos	1	0	0	0	1
TOTAL	67	75	77	60	279

Tabela B.57-Movimento 6

VEÍCULOS	8h15 - 8h30	8h30-8h45	8h45-9h00	9h00-9h15	TOTAL
Ligeiros	193	207	172	182	754
Pesados	1	1	1	1	4
Motos	2	2	0	2	6
TOTAL	196	210	173	185	764

Tabela B.58-Movimento 7

VEÍCULOS	8h15 - 8h30	8h30-8h45	8h45-9h00	9h00-9h15	TOTAL
Ligeiros	85	91	119	110	405
Pesados	0	2	3	0	5
Motos	0	0	3	1	4
TOTAL	85	93	125	111	414

Tabela B.59-Movimento 8

VEÍCULOS	8h15 - 8h30	8h30-8h45	8h45-9h00	9h00-9h15	TOTAL
Ligeiros	159	136	167	113	575
Pesados	0	0	2	2	4
Motos	2	0	1	3	6
TOTAL	161	136	170	118	585

Posto 9

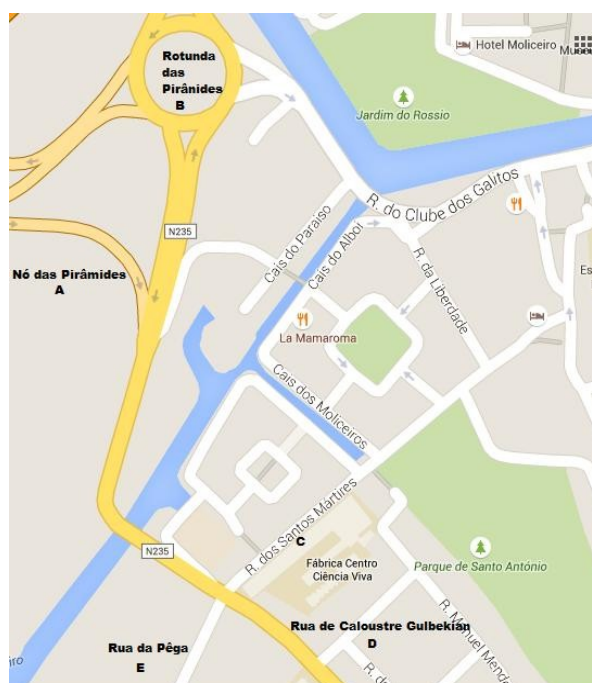


Fig. B.9 – Interseção entre a Rua Condessa Mumadona, a Rua de Calouste Gulbenkian, a Rua da Pêga e a Ruas dos Santos Mártires

Tabela B.60-Período das 8h15 às 8h30

O/D	B	C	D	E
A	0	0	26	4
B	0	0	19	3
C	1	0	9	1
D	30	12	0	0
E	2	3	1	0

Tabela B.61-Período das 8h30 às 8h45

O/D	B	C	D	E
A	0	0	25	7
B	0	0	24	7
C	1	0	6	6
D	35	13	0	0
E	3	3	1	0

Tabela B.62-Período das 8h45 às 9h00

O/D	B	C	D	E
A	0	0	30	21
B	0	0	30	21
C	2	0	5	6
D	27	6	0	0
E	4	5	1	0

Tabela B.63-Período das 9h00 às 9h15

O/D	B	C	D	E
A	0	0	10	8
B	0	0	9	8
C	2	0	6	22
D	27	9	0	0
E	4	1	2	0

Posto 10

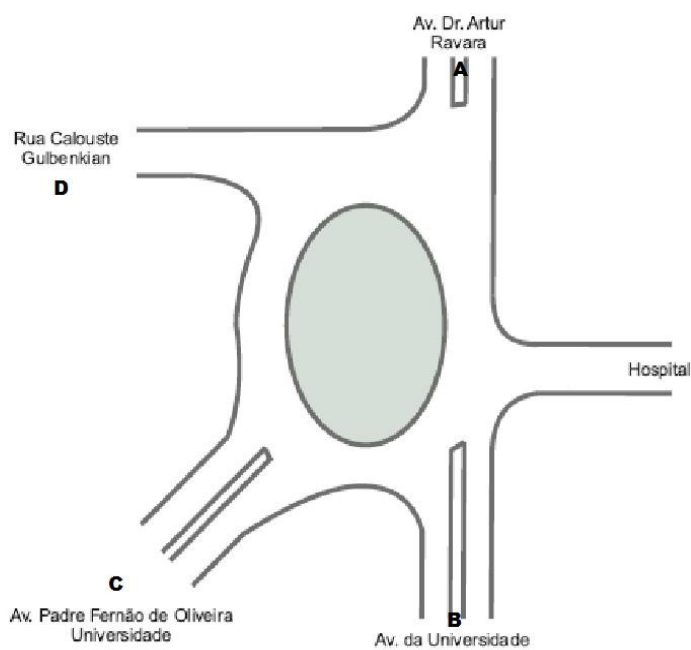


Fig. B.10 – Rotunda do Hospital

Tabela B.64-Matriz O/D

O/D	A	B	C	D	Hospital	TOTAL
A	7	372	226	330	0	935
B	428	270	128	252	40	1118
C	76	32	0	44	5	157
D	93	196	144	0	9	442
Hospital	32	28	8	15	0	83
TOTAL	636	898	506	641	54	2735

Posto 11

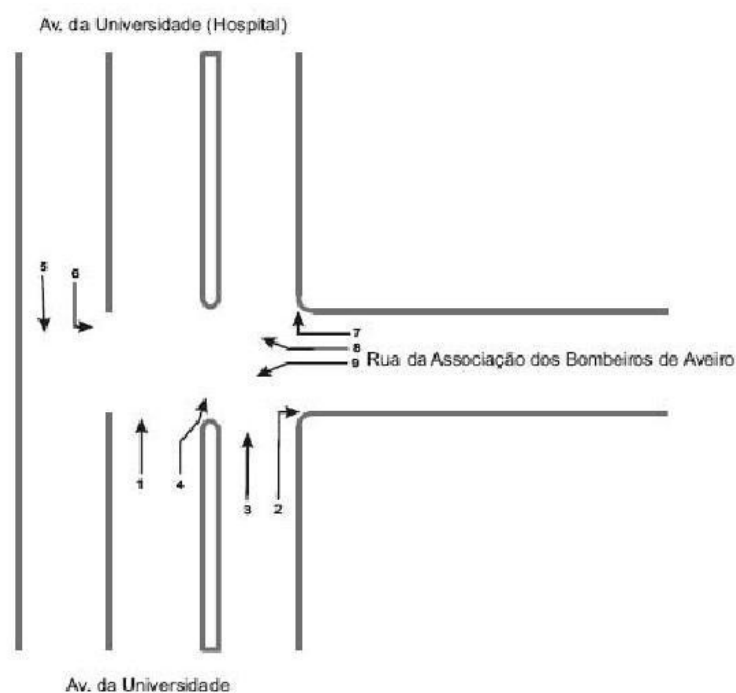


Fig. B.11 – Interseção do ISCAA

Tabela B.65-Movimento 1

VEÍCULOS	8h15 - 8h30	8h30-8h45	8h45-9h00	9h00-9h15	TOTAL
Ligeiros	164	153	206	206	729
Pesados	1	2	0	2	5
Motos	0	3	3	2	8
TOTAL	165	158	209	210	742

Tabela B.66-Movimento 2

	8h15 - 8h30	8h30-8h45	8h45-9h00	9h00-9h15	TOTAL
VEÍCULOS					
Ligeiros	48	17	17	17	178
Pesados	0	0	0	0	0
Motos	0	0	0	0	0
TOTAL	48	17	17	17	178

Tabela B.67-Movimento 3

VEÍCULOS	8h15 - 8h30	8h30-8h45	8h45-9h00	9h00-9h15	TOTAL
Ligeiros	0	0	2	3	5
Pesados	0	0	0	0	0
Motos	0	0	0	0	0
TOTAL	0	0	2	3	5

Tabela B.68-Movimento 4

VEÍCULOS	8h15 - 8h30	8h30-8h45	8h45-9h00	9h00-9h15	TOTAL
Ligeiros	27	25	9	18	79
Pesados	0	0	2	0	0
Motos	0	0	0	0	0
TOTAL	27	25	9	18	79

Tabela B.69-Movimento 5

VEÍCULOS	8h15 - 8h30	8h30-8h45	8h45-9h00	9h00-9h15	TOTAL
Ligeiros	81	94	80	63	318
Pesados	1	1	0	0	2
Motos	1	0	0	0	1
TOTAL	83	95	80	63	321

Tabela B.70-Movimento 6

VEÍCULOS	8h15 - 8h30	8h30-8h45	8h45-9h00	9h00-9h15	TOTAL
Ligeiros	24	21	40	38	123
Pesados	0	1	1	2	4
Motos	0	0	0	0	0
TOTAL	24	22	41	40	127

Tabela B.71-Movimento 7

VEÍCULOS	8h15 - 8h30	8h30-8h45	8h45-9h00	9h00-9h15	TOTAL
Ligeiros	4	5	6	13	28
Pesados	0	0	0	0	0
Motos	0	0	0	0	0
TOTAL	4	5	6	13	28

Tabela B.72-Movimento 8

VEÍCULOS	8h15 - 8h30	8h30-8h45	8h45-9h00	9h00-9h15	TOTAL
Ligeiros	15	16	31	21	83
Pesados	2	3	2	2	9
Motos	0	1	1	0	2
TOTAL	17	20	34	23	94

Tabela B.73-Movimento 8

VEÍCULOS	8h15 - 8h30	8h30-8h45	8h45-9h00	9h00-9h15	TOTAL
Ligeiros	22	16	20	7	123
Pesados	0	0	0	0	0
Motos	0	0	0	0	0
TOTAL	22	16	20	7	65

Posto 12

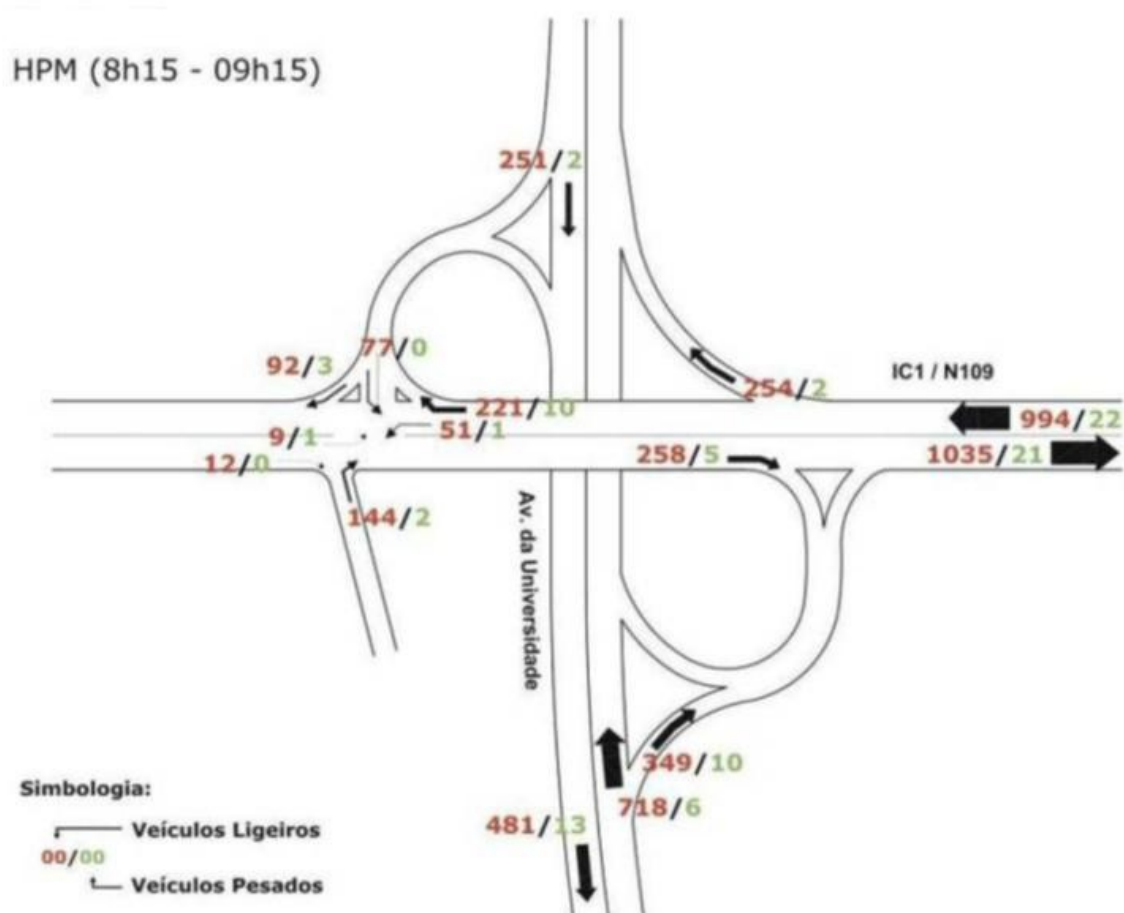


Fig. B.12 – Interseção entre a E.N. 335 e a E.N. 109

Anexo C

CALIBRAÇÃO DOS RESULTADOS

ANEXO C. CALIBRAÇÃO DOS RESULTADOS

POSTO	RUA	SECÇÃO	CONTAGEM DE TRÁFEGO		DIFERENÇA		GEH	GEHi
			Observado (veic/h)	Simulado (veic/h)	Absoluta	Relativa		
1	Rua Conselheiro L. Magalhães	7037	354	352	-2	-0,565	0,106	0,086
	Rua Viana Do Castelo (sentido descendente)	7003	595	665	70	11,765	2,789	
	Rua Viana Do Castelo (sentido ascendente)	7041, 7049, 7051, 7055	706	641,5	-64,5	-9,136	2,485	
2	Av. Doutor Lourenço Peixinho (sentido descendente)	6997	714	721,5	7,5	1,050	0,280	1,144
	Rua Agostinho Pinheiro	7087	241	275,8	34,8	14,440	2,165	
	Rua Viana do Castelo (sentido ascendente)	6989	811	817,1	6,1	0,752	0,214	
3	Av. Doutor Lourenço Peixinho (sentido descendente)	7121,7175,7177	1069	1183	114	10,664	3,397	0,949
	Av. Doutor Lourenço Peixinho (sentido ascendente)	7131	771	645,3	-125,7	-16,304	4,724	
	Rua Doutor Alberto Souto	7109	536	477,8	-58,2	-10,858	2,585	
	Rua Engenheiro Silvério Pereira da Silva	7113	134	156,6	22,6	16,866	1,875	
4	Av. Doutor Lourenço Peixinho (sentido descendente)	7199, 7215	1059	1136	77	7,271	2,324	2,815
	Av. Doutor Lourenço Peixinho (sentido ascendente)	6991, 7159,7169	393	472	79	20,102	3,799	
	Rua do Engenheiro Oudinot	7187	354	356,6	2,6	0,734	0,138	
	Rua do Engenheiro Oudinot (direção rotunda Oita)	7191	763	463,7	-299,3	-39,227	12,085	

POSTO	RUA	SECÇÃO	CONTAGEM DE TRÁFEGO		DIFERENÇA		GEH	GEHi
			Observado (veic/h)	Simulado (veic/h)	Absoluta	Relativa		
5	Rua Comandante Rocha e Cunha	7313	489	505,4	16,4	3,354	0,735	1,075
	Rua Comandante Rocha e Cunha	7309	349	352,2	3,2	0,917	0,171	
	Rua do Sr. Dos Aflitos	7271	98	107,3	9,3	9,490	0,918	
	Rua do Sr. Dos Aflitos	10817	41	46	5	12,195	0,758	
	Av. Doutor Lourenço Peixinho (sentido ascendente)	6993	201	259,4	58,4	29,055	3,849	
	Av. Doutor Lourenço Peixinho (sentido ascendente) -Túnel	7275	246	167,9	-78,1	-31,748	5,429	
	Rua Comandante Rocha e Cunha	7287	60	86,2	26,2	43,667	3,064	
	Av. Doutor Lourenço Peixinho (sentido ascendente)	6923	141	171	30	21,277	2,402	
6	Av. Doutor Lourenço Peixinho (sentido descendente)	9461	246	285,5	39,5	16,057	2,423	0,159
	Rua Almirante Cândido dos Reis	6973, 8761	236	254,2	18,2	7,712	1,163	
	Rua do Dr. João de Moura	9471	180	181,3	1,3	0,722	0,097	
	Av. Doutor Lourenço Peixinho (sentido descendente)- Túnel	6911, 7339	537	440,9	-96,1	-17,896	4,346	
	Av. Doutor Lourenço Peixinho (sentido descendente)	6929	235	284,4	49,4	21,021	3,065	
	Rua Dr. Luís Gomes Carvalho	6981	655	614,5	-40,5	-6,183	1,608	

POSTO	RUA	SECÇÃO	CONTAGEM DE TRÁFEGO		DIFEREN		GEH	GEHi
			Observado (veic/h)	Simulado (veic/h)	Absoluta	Relativa		
7	N109 (Sul)	11282	1694	1593,1	-100,9	-5,956	2,489	4,721
	N109 (Sul)-Inverso	8317	1471	1307,3	-163,7	-11,128	4,392	
	Rua da Sofia	8323	361	360	-1	-0,277	0,053	
	Rua da Sofia- Inverso	8322, 8671	158	155,4	-2,6	-1,646	0,208	
	N109 (Norte)	8362, 11273	1879	1876	-3	-0,160	0,069	
	N109 (Norte)- Inverso	8324	1910	1834,2	-75,8	-3,969	1,752	
	Av. Vasco Branco	8321	422	494,3	72,3	17,133	3,378	
	Av. Vasco Branco- Inverso	7665	678	659,8	-18,2	-2,684	0,704	
	Alameda Silva e Rocha	7513	520	323,3	-196,7	-37,827	9,579	
	Alameda Silva e Rocha- Inverso	7515, 8655	659	687,9	28,9	4,385	1,114	
	N235	11839	648	599,8	-48,2	-7,438	1,930	
	N235- Inverso	7955	420	779,9	359,9	85,690	14,693	
8	Rua do Clube dos Galitos	8516	611	622,4	11,4	1,866	0,459	3,176
	Rua do Clube dos Galitos- Inverso	7405	1018	992,4	-25,6	-2,515	0,807	
	N235	7999	763	757,8	-5,2	-0,682	0,189	
	N235- Inverso	7972	611	624,8	13,8	2,259	0,555	
	Acesso A25	7970	416	432	16	3,846	0,777	
	Acesso A25- Inverso	7971	584	490,6	-93,4	-15,993	4,029	

POSTO	RUA	SECÇÃO	CONTAGEM DE TRÁFEGO		DIFERENÇA		GEH	GEHi
			Observado (veic/h)	Simulado (veic/h)	Absoluta	Relativa		
9	Rua da Pêga	8737	111	116,4	5,4	4,865	0,506	2,245
	Rua da Pêga- Inverso	8736	295	373,9	78,9	26,746	4,314	
	Rua de Calouste Gulbenkian	12301	766	571,4	-194,6	-25,405	7,525	
	Rua de Calouste Gulbenkian- Inverso	8733	590	711,9	121,9	20,661	4,778	
	Rua dos Santos Mártires	8739	245	214,2	-30,8	-12,571	2,033	
	Rua dos Santos Mártires- Inverso	8738	191	199,2	8,2	4,293	0,587	
	Rua Condessa Mumadona	7963	948	873,7	-74,3	-7,838	2,462	
	Rua Condessa Mumadona- Inverso	8724	511	490,7	-20,3	-3,973	0,907	
	Acesso Rua Condessa Mumadona	7956	494	456,2	-37,8	-7,652	1,734	
	Rua de Calouste Gulbenkian	10977	442	711,2	269,2	60,905	11,211	
10	Rua de Calouste Gulbenkian- Inverso	7954	641	569,6	-71,4	-11,139	2,902	0,862
	Av. Artur Ravara	7615	935	804	-131	-14,011	4,443	
	Av. Artur Ravara- Inverso	7611	636	616,7	-19,3	-3,035	0,771	
	Hospital (entrar)	8031	83	64,2	-18,8	-22,651	2,191	
	Hospital (sair)	8030	54	55,3	1,3	2,407	0,176	
	Avenida da Universidade	8033, 8583, 8599	1118	979,3	-138,7	-12,406	4,283	
	Avenida da Universidade- Inverso	8580, 12323, 12329	898	911,6	13,6	1,514	0,452	
	Av. Padre Fernão de Oliveira	9453	157	155,5	-1,5	-0,955	0,120	
Av. Padre Fernão de Oliveira- Inverso	9148	506	539	33	6,522	1,444		

POSTO	RUA	SECÇÃO	CONTAGEM DE TRÁFEGO		DIFERENÇA		GEH	GEHi
			Observado (veic/h)	Simulado (veic/h)	Absoluta	Relativa		
11	Avenida da Universidade	8155	513	577,4	64,4	12,554	2,758	2,705
	Avenida da Universidade - Inverso	8156	915	916,6	1,6	0,175	0,053	
	Rua dos Bombeiros Velhos	8442, 8154	153	196,4	43,4	28,366	3,284	
12	N235	8170	428	480,7	52,7	12,313	2,472	1,775
		8174	175	156	-19	-10,857	1,477	
		8184	98	86,8	-11,2	-11,429	1,165	
		8180	77	69,3	-7,7	-10,000	0,900	
	N109 (Fig. Da Foz-A.17)	8196	584	626,8	42,8	7,329	1,739	
	N109 (Fig. Da Foz-A.17) - Inverso	8197	1368	1392,2	24,2	1,769	0,651	
	Rua do Sobral	8420	148	147,7	-0,3	-0,203	0,025	
		8406	241	163,3	-77,7	-32,241	5,465	
		8187	11	14,6	3,6	32,727	1,006	
	N235 (Coimbra/Lisboa- A.1)	8200	507	502,4	-4,6	-0,907	0,205	
	Avenida da Universidade- Inverso	8204	730	719,6	-10,4	-1,425	0,386	
		8207	369	380,2	11,2	3,035	0,579	
	N235 (Coimbra/ Lisboa-A.1) - Inverso	8203	1099	1099,7	0,7	0,064	0,021	
		8175	258	192,6	-65,4	-25,349	4,357	
	N109	12053	1322	1511,4	189,4	14,327	5,032	
	8208	268	309,6	41,6	15,522	2,448		
N109-Inverso	8213	780	743,3	-36,7	-4,705	1,330		
N109 (direção do Glicínias)	8216	1255	1408,5	153,5	12,231	4,206		
N109 (Direção contrária do Glicínias)	8217	1038	936,2	-101,8	-9,807	3,240		

Anexo D

FOTOGRAFIAS DA ÁREA DE ESTUDO

ANEXO D. FOTOGRAFIAS DA ÁREA DE ESTUDO

Fig. D.1 – Cruzamento A no troço A.1 com visibilidade dos troços A.2 (direita) e A.3 (esquerda)



Fig. D.2 – Rua Conselheiro L. Magalhães no cruzamento A (troço A.4.)



Fig. D.3 – Paragem de autocarros no cruzamento A (troço A.3)



Fig. D.4 – Paragem de autocarros no cruzamento A (troço A.2)



Fig. D.5 – ALP virando para a Rua Agostinho Pinheiro (troço A.2)



Fig. D.6 – Cruzamento B no troço B.2 com visibilidade do troço B.1 (esquerda), B.3 (direita) e B.4 (frente)



Fig. D.7 – Rua Agostinho Pinheiro no cruzamento B (trço B.3)



Fig. D.8 – Rua Engenheiro Silvério Pereira da Silva no cruzamento C (trço C.2) com visibilidade para o trço C.3 (direita) e C.4 (esquerda)

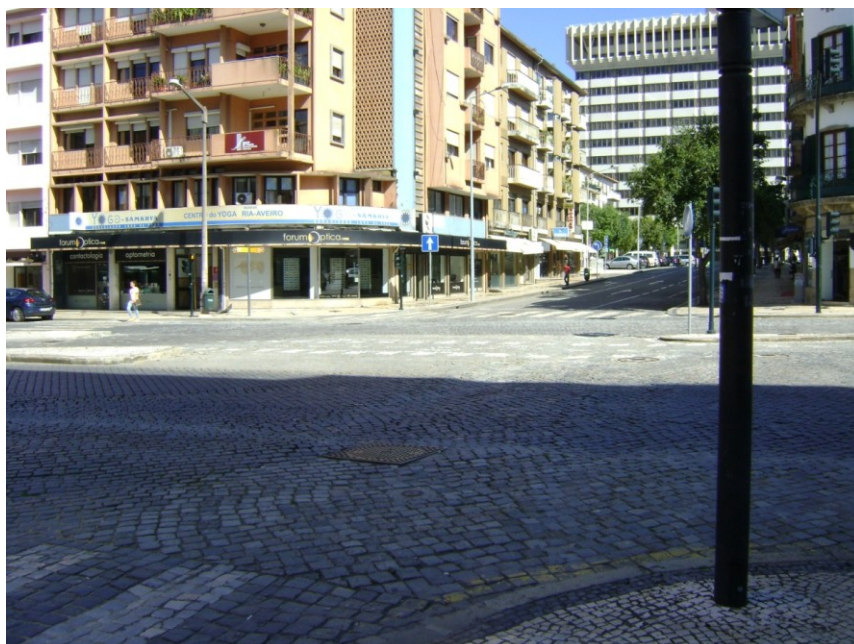


Fig. D.9 – Troço C.2 no cruzamento C com visibilidade do troço C.5, Rua Doutor Alberto Souto (frente)



Fig. D.10 – ALP (troço C.1) virando para a Rua Doutor Alberto Souto (troço C.5)



Fig. D.11 – Cruzamento C com visibilidade da paragem de autocarros no troço C.4



Fig. D.12 – Paragem de autocarros no troço C.4 ocupando uma das vias de circulação



Fig. D.13 – Troço D.4 no cruzamento D com visibilidade do troço D.2 (esquerda) e troços D.1 e D.6 (Frente esquerda e frente direita respetivamente)



Fig. D.14 – Viragem à esquerda no cruzamento D (troço D.1 para o troço D.5)



Fig. D.15 – Troço D.5 no cruzamento D com visibilidade do troço D.2 (frente)



Fig. D.16 – Troço D.2 no cruzamento D com visibilidade do troço D.5 (frente)



Fig. D.17 – Paragem de autocarros no troço D.4 no cruzamento D junto ao Centro Comercial Oita



Fig. D.18 – Local onde existem duas paragens de autocarros junto ao Hotel “As Américas”



Fig. D.19 – Paragem de autocarros junto ao Hotel “As Américas” na ALP perto da estação, com estacionamento de veículos no pavimento marcado



Fig. D.20 – Paragem de autocarros do lado oposto ao Hotel “As Américas” na ALP perto da estação



Fig. D.21 – Túnel no fim da ALP que passa por baixo da Estação de comboios



Fig. D.22 – Rua Luís Gomes de Carvalho



Fig. D.23 – Paragem dos autocarros na Estação de Comboios (lado esquerdo)



Fig. D.24 – Outra paragem dos autocarros na Estação de Comboios (frente)



Figs. D.25 – Direções dos autocarros após paragem na Estação de Comboios