



Inês dos Santos Vilela Pires

Licenciada em Ciências de Engenharia Civil

A integração das vias cicláveis na rede rodoviária. O caso particular do acesso a garagens, parques de estacionamento e caminhos particulares

Dissertação para obtenção do Grau de Mestre
em Engenharia Civil

Orientadora: Doutora Sandra Vieira Gomes,
Bolsista Pós-Doutoramento do LNEC

Co-Orientador: Prof. Luís Manuel Trindade Quaresma,
Professor Auxiliar Convidado, FCT-UNL

Júri:

Presidente: Doutor Valter J. G. Lúcio
Arguente: Doutor Carlos Almeida Roque
Vogal: Doutora Sandra Vieira Gomes

“Copyright” Inês dos Santos Vilela Pires, FCT/UNL e UNL

A Faculdade de Ciências e Tecnologia e a Universidade Nova de Lisboa têm o direito, perpétuo e sem limites geográficos, de arquivar e publicar esta dissertação através de exemplares impressos reproduzidos em papel ou de forma digital, ou por qualquer outro meio conhecido ou que venha a ser inventado, e de a divulgar através de repositórios científicos e de admitir a sua cópia e distribuição com objetivos educacionais ou de investigação, não comerciais, desde que seja dado crédito ao autor e editor.

Agradecimentos

Esta dissertação constitui o fim de uma etapa muito importante, pelo que não poderia deixar de agradecer a um conjunto de pessoas que contribuíram para este momento.

Gostaria de deixar um agradecimento especial à Professora Sandra Vieira Gomes pela orientação deste trabalho e por toda a disponibilidade e apoio na realização do mesmo. Deixar também um agradecimento ao Núcleo de Planeamento de Transportes e Segurança do LNEC pela ajuda e disponibilidade no decorrer deste trabalho.

Gostaria de agradecer ao Professor Luís Quaresma pela disponibilidade para a co-orientação deste trabalho.

Gostaria de agradecer ao meu pai pelo apoio incondicional e pelo exemplo que me transmitiu. Gostaria de agradecer à minha mãe por me abrir os horizontes e aos meus avós por toda a dedicação.

Gostaria de agradecer ao David pela inesgotável paciência e incentivo.

Gostaria também de agradecer aos meus amigos da faculdade, em especial, ao João Igreja, Vanessa Aleixo e Diogo Amaral pelas infindáveis horas de convívio, trabalho e companheirismo.

Resumo

A utilização de velocípedes tem vindo a destacar-se devido à premente necessidade de implementação de modos de transporte económica e ecologicamente sustentáveis. Todavia, a utilização de velocípedes continua a implicar problemas de segurança consideráveis, em grande parte, devido às condições providas pelas infraestruturas existentes. Constata-se também que os guias da especialidade apresentam lacunas ao nível da quantificação de distâncias de visibilidade necessárias, bem como na apresentação de soluções aplicáveis a interseções de baixa visibilidade e reduzidas dimensões. Salienta-se o caso particular do acesso a parques, garagens e caminhos particulares, sendo notória a extensão desta problemática.

Nesta dissertação analisa-se a interação do modo ciclável com os restantes modos, focando-se o estudo para um caso prático, o acesso para veículos motorizados do Laboratório Nacional de Engenharia Civil. Foram tidas em consideração as características do fluxo de tráfego, o comportamento dos diferentes utentes, a caracterização dos conflitos emergentes e as distâncias de visibilidade necessárias, permitindo deste modo a aferição da adequabilidade das soluções existentes ao local.

O estudo das velocidades de aproximação, bem como dos volumes e dos conflitos permitiu aumentar o espectro de conhecimentos em relação ao comportamento dos ciclistas em zonas de reduzida visibilidade. Comprovou-se que continua a imperar a necessidade de aumentar a visibilidade dos condutores e dos ciclistas.

Face à configuração geométrica do local, e dos dados analisados, a solução que se considera mais apropriada resulta da combinação de diversas medidas: coloração do pavimento, elevação do acesso e colocação de espiras de indução na pista, em ambos os lados do acesso com sinal de alerta para condutores.

Palavras chave:

- sinistralidade rodoviária;
- vias cicláveis;
- conflitos de tráfego;
- distância de visibilidade.

Abstract

Cycle paths in road networks. Access from public roads to garages, parkings lots and private roads

Bicycling has drawn attention because of the need for sustainable and economical modes of transportation. However, bicycling entail considerable safety problems in large part due to the existing bicycle facilities. The guides do not provide enough guidelines on how to calculate the sight distances needed as well as solutions for tiny and low visibility intersections.

This work focus on a case study: the access for motor vehicles of the *Laboratório Nacional de Engenharia Civil* to study the interaction of cycling mode with the other modes of transportation. In order to evaluate the suitability of the existing solutions to the site the characteristics of the traffic flow were taken into account: bicycle and motor traffic counts, speed behavior, traffic conflict analysis and sight distance.

The study of approach speed, traffic volumes and traffic conflicts led to increased knowledge on cyclists behavior at low visibility intersections. There is verified a need for increasing visibility on this site.

Based on the geometric design issues and operating characteristics of path users, the most suitable solution gather three different features: colored pavement; road hump on the crossing and an alert sign for drivers connected to inductive loops in both sides of the crossing.

Keywords:

- traffic accidents;
- bikeways;
- traffic conflicts;
- sight distance.

Índice de Matérias

Índice de Matérias	ix
Índice de Figuras	xi
Índice de Tabelas	xiii
Lista de abreviaturas, siglas e símbolos	xv
1 Introdução	1
1.1 Considerações gerais	1
1.2 Objetivos	6
1.3 Organização da dissertação	6
2 Traçado de vias cicláveis	7
2.1 Introdução	7
2.2 Orientações para infraestruturas cicláveis	7
2.3 Disposições gerais para o traçado de vias cicláveis	8
2.3.1 Tipologias de infraestruturas cicláveis	9
2.3.2 Elementos base para o traçado	13
2.3.2.1 Velocidade base	14
2.3.2.2 Distância de Visibilidade de Paragem	14
2.3.2.3 Largura da via	16
2.3.2.4 Declive	17
2.3.2.5 Alinhamento Horizontal	18
2.3.2.6 Alinhamento Vertical	18
2.3.3 Pavimentos	19
2.3.4 Sinalização e Marcação	19
3 Soluções para interseções prioritárias com pistas cicláveis	21
3.1 Introdução	21
3.2 Disposições para interseções prioritárias	21

Índice de Matérias

3.3	Garantia de Distâncias de Visibilidade	23
3.3.1	Distância de Visibilidade em Interseções genéricas	24
3.3.2	Distância de Visibilidade em Interseções com pistas cicláveis	28
3.4	Soluções geométricas	30
3.4.1	Alteração do alinhamento horizontal	31
3.4.2	Alteração do alinhamento vertical	33
3.4.3	Canalização de tráfego	36
3.5	Sinalização de alerta	38
4	Métodos de análise de interseções com vias cicláveis	41
4.1	Introdução	41
4.2	Estudo dos conflitos de tráfego	41
4.3	Caracterização dos Volumes de Tráfego	43
4.4	Caracterização das trajetórias	46
4.5	Caracterização das velocidades de circulação	47
5	Caso de Estudo	51
5.1	Introdução	51
5.2	Caracterização do local e da envolvente	51
5.3	Recolha de dados	53
5.3.1	Seleção de métodos de recolha de dados	54
5.3.2	Campanhas de recolha de dados	56
5.4	Tratamento de dados	57
5.4.1	Volumes de tráfego	57
5.4.1.1	Veículos motorizados	57
5.4.1.2	Peões	60
5.4.1.3	Velocípedes	61
5.4.2	Velocidades de circulação	64
5.4.3	Conflitos de tráfego	68
5.4.4	Visibilidade	69
5.5	Adequabilidade das soluções ao caso de estudo	72
6	Notas finais	77
6.1	Conclusões	77
6.2	Desenvolvimentos futuros	78
	Bibliografia	81
A	Análise de sinistralidade com velocípedes	87
B	Enquadramento da temática	89
B.1	Enquadramento dos documentos técnicos	90
B.2	Sinalização vertical	91
B.3	Marcas rodoviárias	93
C	Anexos relativos ao caso de estudo	95
C.1	Enquadramento no âmbito do PDM	96

Índice de Figuras

1.1	Comparação dos tempos de deslocação numa distância de 5 km	1
1.2	Vítimas mortais por quilómetro num ano	2
1.3	Sinistralidade com velocípedes a nível nacional (condutores e passageiros) entre 2003 e 2014	3
1.4	Distribuição dos acidentes com velocípedes por localização	4
1.5	Distribuição dos acidentes com ciclistas em função das características do local	4
2.1	Separação de vias cicláveis	9
2.2	Separação de pistas cicláveis	10
2.3	Estratégias de identificação de conflitos	12
2.4	Escolha das infraestruturas cicláveis	13
2.5	Espaço de operação de um ciclista	16
2.6	Marcação de pistas cicláveis	20
3.1	Domínio de Aplicação de Interseções	23
3.2	Distância de visibilidade mínima em interseções	24
3.3	Distância de visibilidade em interseções - cruzamento	25
3.4	Triângulos visibilidade de aproximação	26
3.5	Triângulos visibilidade de partida	27
3.6	Triângulos visibilidade de aproximação com cedência de paragem para velocípedes	29
3.7	Estreitamento da faixa de rodagem	31
3.8	Solução de aproximação	32
3.9	Solução de afastamento	32
3.10	Marcação de passagem pedonal em curva	33
3.11	Solução de eliminação da barreira física	33
3.12	Interseção elevada	34
3.13	Interseção elevada	34
3.14	Interseção elevada	35
3.15	Interseção elevada simplificada	35
3.16	Soluções	36
3.17	Esquema auxiliar para escolha da medida de canalização de tráfego	37

Índice de Figuras

3.18	Interseção Protegida	38
3.19	Sinal de alerta para condutores	39
3.20	Laços indutivos para identificação de velocípedes	39
3.21	Imagem do sistema de captação térmica	40
4.1	Padrões de comportamento de ciclistas	45
4.2	Linhas indicativas de percentagens das trajetórias de ciclistas numa interseção	46
4.3	Caracterização das trajetórias através da distância a pontos fixos	47
5.1	Acesso em estudo	52
5.2	Acesso de veículos ao LNEC - imagem do exterior	52
5.3	Equipamento utilizado para recolha de imagens vídeo (Imagens da campanha de 2013)	54
5.4	Equipamento utilizado para recolha de imagens vídeo (Imagens da campanha de 2015)	54
5.5	Acesso de veículos do LNEC	55
5.6	Esquema de captação de imagens	56
5.7	Tráfego total de veículos motorizados em 2013 e 2015	58
5.8	Tráfego de entrada e saída de veículos motorizados em 2013	58
5.9	Tráfego de entrada e saída de veículos motorizados 2015	59
5.10	Distribuição de tráfego motorizado entre os movimentos de entrada 1 e 2 em 2015	59
5.11	Distribuição de tráfego motorizado entre o movimento 3 e o movimento 4 em 2015	60
5.12	Variação do volume de peões ao longo do dia (entradas + saídas) em 2013 e 2015	60
5.13	Distribuição de tráfego de peões entre entradas e saídas em 2015	61
5.14	Variação do volume horário total de velocípedes (série 2013 e série 2015)	61
5.15	Variação horária do tráfego de velocípedes - sentido $1C$ e sentido $2C$ para a pista ciclável em 2015	62
5.16	Distribuição horária do tráfego de velocípedes na pista, $1C$ em 2013 e 2015	63
5.17	Distribuição horária do tráfego de velocípedes na pista, $2C$ em 2013 e 2015	63
5.18	Comparação entre curvas de velocidade acumulada calculadas para 2013 e 2015 e as apresentadas em Forester (1994) para pista recreativa e pista de transporte	65
5.19	Comparação de curvas percentagens acumuladas para velocidades de aproximação e atravessamento	65
5.20	Comparação entre as velocidades de aproximação e afastamento	66
5.21	Variação da velocidade ao longo da aproximação e atravessamento do acesso	67
5.22	Conflito registado entre ciclista e um veículo em inversão	68
5.23	Veículo de projeto para o cálculo das distâncias de visibilidade	69
5.24	Triângulos visibilidade sentido $1C$	70
5.25	Triângulos visibilidade sentido $2C$	70
5.26	Manobrabilidade $2C$	74
5.27	Exemplo de Lomba Redutora de Velocidade do tipo trapezoidal	74
5.28	Solução Final	76
A.1	Distribuição dos acidentes por categoria de veículo	87
A.2	Distribuição dos acidentes por tipo de vítima	88
A.3	Distribuição dos acidentes por tipo de acidente	88
C.1	PDM de Lisboa	96
C.2	Folha de registo de contagens	97

Índice de Tabelas

2.1	Recomendações relativas às características das vias destinadas a veículos motorizados e coexistência com outros modos	11
2.2	Velocidades base recomendadas por publicação	14
2.3	Larguras mínimas, larguras recomendadas e largura da zona de segurança em função do tipo de infraestrutura	17
2.4	Comprimentos máximos por declive	17
3.1	Requisitos em função da sinalização	28
3.2	Tempo de intervalo necessário para a manobra	28
5.1	Organização da recolha de dados	57
5.2	TMD estimado por localização, ano e sentido	63
5.3	Percentis de velocidade em pista para 2013 e 2015, em km/h	66
5.4	Extensão do muro a reduzir para serem cumpridas as condições de visibilidade	71
B.1	Enquadramento dos documentos de entidades oficiais considerados	90
B.2	Sinalização vertical no âmbito do modo de transporte ciclável de prioridade, perigo e proibição	91
B.3	Sinalização vertical no âmbito do modo de transporte ciclável de obrigação	92
B.4	Marcas transversais	93
C.1	Dados retirados da análise vídeo - conflitos	98
C.2	Nº de desvios registados (conflitos simples/ encontros)	98

Lista de abreviaturas, siglas e símbolos

Siglas

AASTHO *American Association of State Highway and Transportation Officials*

INE Instituto Nacional de Estatística

IMTT Instituto de Mobilidade e Transportes Terrestres

IMT Instituto de Mobilidade e Transportes

InIR Instituto De Infra-estruturas Rodoviárias

JAE Junta Autónoma de Estradas

LNEC Laboratório Nacional de Engenharia Civil

MET *Ministère de l'Équipement et des Transports*

NACTO *National Association of City Transportation Officials*

TCT Técnicas de conflitos de tráfego

Letras Latinas Minúsculas

a aceleração

D ponto de decisão

d_r distância de reação

d_t distância de travagem

d_p distância de paragem

e sobrelevação

f coeficiente de atrito transversal

g aceleração da gravidade

h_1 altura dos olhos do ciclista

h_2 altura do objeto

i inclinação

Lista de abreviaturas, siglas e símbolos

L_v comprimento do veículo

L_{velo} comprimento do velocípede

R raio

t_g tempo para realizar a manobra

t_r tempo de reação

t_t tempo de travagem

t_p tempo de paragem

w comprimento da área de conflito

V velocidade

V_{85} velocidade não impedida

V^{approx} velocidade de aproximação

$V^{atravess}$ velocidade de atravessamento

V_i velocidade inicial

V_f velocidade final

V_{prior} velocidade na via prioritária

Letras Gregas

μ coeficiente de atrito longitudinal

Capítulo 1

Introdução

1.1 Considerações gerais

O transporte e a mobilidade podem ser vistos atualmente como um ponto central do desenvolvimento sustentável. Nesta perspetiva, a mobilidade sustentável é tida como um veículo para o crescimento económico, através da promoção de um eficiente fluxo de pessoas e bens. Todavia, existe uma necessidade crescente da promoção da segurança rodoviária como parte integrante deste processo (ONU, 2012).

No âmbito da mobilidade sustentável, o velocípede assume-se como um meio de transporte pessoal com grande potencial em áreas urbanas por poder apresentar valores de tempo de deslocação semelhantes aos veículos motorizados até uma distância de 8km (ver Figura 1.1). Esta distância sobe para 15km no caso das bicicletas elétricas, sendo que esta apresenta uma relação entre o custo/tempo despendido bastante inferior à do veículo ligeiro pessoal (European Communities, 1999). Num estudo realizado para a cidade de Copenhaga, foi estimado que o custo de um quilómetro conduzido é seis vezes superior ao de um quilómetro ciclado (Gössling e Choi, 2015).

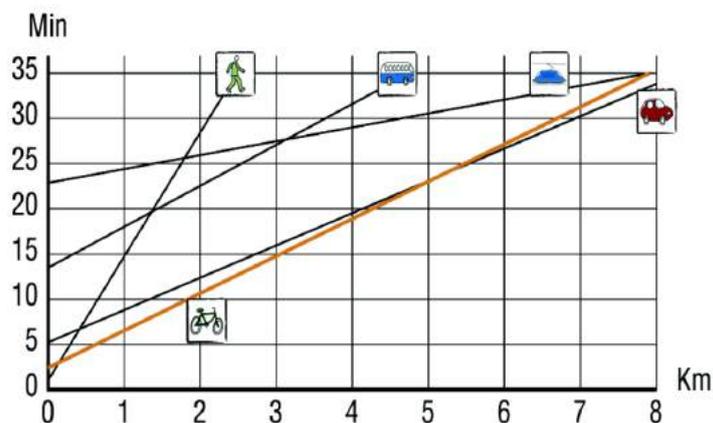


Figura 1.1: Comparação dos tempos de deslocação para uma distância de 8 km (European Communities, 1999)

De entre as diversas vantagens associadas à escolha do velocípede como modo de transporte (em alternativa ao automóvel), salientam-se: (i) benefícios para a saúde, ligados ao aumento do exercício físico e à diminuição do ruído e dos gases libertados; (ii) benefícios

Capítulo 1. Introdução

económico-familiares, através da redução da cota de orçamento familiar dedicada aos transportes; (iii) benefícios político-económicos, com a redução da dependência energética; (iv) benefícios sociais, ligados à melhoria da acessibilidade de todos os cidadãos; (v) benefícios ambientais, associados à diminuição da emissão de gases poluentes para a atmosfera (Pooley et al., 2011).

De entre os condicionalismos apontados contra a utilização da bicicleta, destacam-se fatores relacionados com: (i) a organização da cidade e das infraestruturas, justificando a necessidade de um planeamento que proporcione o acesso a bens e serviços num tempo aceitável; (ii) o declive, sendo que, de acordo com o AASTHO (2012) apenas declives superiores 5% têm um carácter claramente dissuasivo; (iii) o clima, a incidência de ventos fortes, a persistência de chuva forte e temperaturas muito elevadas, que podem ser claramente dissuasivos, mas podem constituir uma limitação com carácter sazonal; (iv) a falta de infraestruturas, principalmente no que diz respeito à existência de ciclovias, mas também no que diz respeito a outras infraestruturas, como estacionamento e balneários são também necessários; (v) a segurança, o risco e a perceção da mesma; (vi) a necessidade de um veículo automóvel para as tarefas diárias.

Félix (2012) realizou um estudo sobre as condicionantes na escolha do percurso através de um inquérito realizado em Lisboa, tendo constatado que as mais relevantes são: segurança na circulação, a rapidez, a inclinação das vias e a existência de ciclovias.

Do mesmo modo, um clima mais ameno leva à partida a condições mais favoráveis para a utilização de velocípedes. No entanto, a existência destas condições não tem relação direta com a taxa de utilização de velocípedes (ver Figura 1.2). Os valores de utilização de velocípedes em Portugal contrastam com valores de países como a Holanda e Dinamarca onde o velocípede é o principal meio de transporte urbano. Analisando a média estimada de quilómetros por habitante é possível perceber que esta diferença é bastante acentuada, tendo sido estimada na ordem dos 160%. Nos países com mais quilómetros percorridos por habitante, a percentagem total de viagens realizada por velocípedes é também bastante elevada, sendo de 27% na Holanda e 18% na Dinamarca (Pucher e Buehler, 2008).

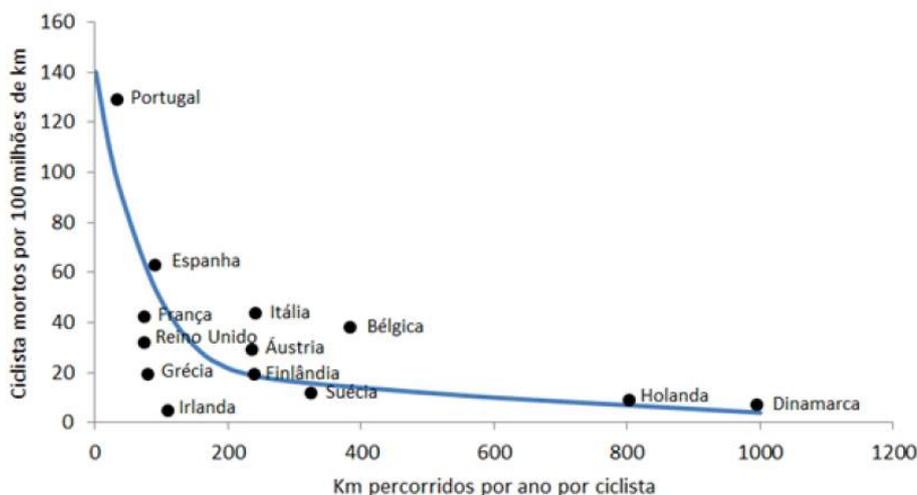
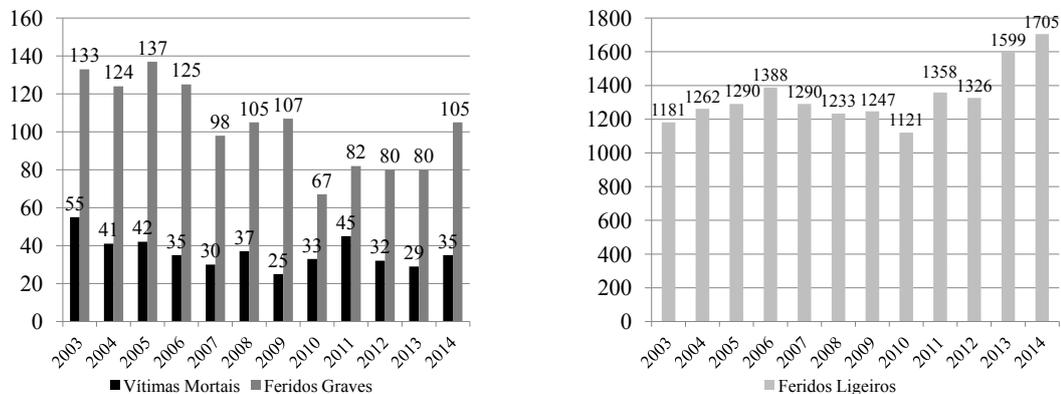


Figura 1.2: Vítimas mortais por quilómetro num ano (adaptado de Wegman et al., 2012)

Na Figura 1.2 apresentam-se valores de vítimas mortais ponderando o número de quilómetros percorridos para diferentes países. De acordo com a Figura 1.2, Portugal apresenta um número bastante elevado de ciclistas vítimas mortais quando comparado com os restantes

países do estudo. Constata-se que número de vítimas não cresce de uma forma proporcional ao aumento do volume de tráfego. O aumento não linear do número de vítimas mortais com o aumento dos quilómetros percorridos pode ser explicado através do fenómeno da “segurança em números” (“safety in numbers” em língua inglesa). Este fenómeno caracteriza-se por uma diminuição do risco com o aumento de utilizadores (Jacobsen, 2003).

De acordo com os Censos de 2011, em todo o território nacional apenas 1% das deslocações pendulares casa-trabalho se realizavam de bicicleta, tendo o veículo particular motorizado um papel de destaque neste campo. No entanto, dados mais recentes (*e.g.*, o aumento de 30% no número de bicicletas vendidas em 2014 em relação ao ano anterior (INE), implementação de bicicletas em *bikesharing*¹, crescimento dos movimentos cívicos de apoio ao ciclismo) apontam que os padrões de mobilidade parecem estar a alterar-se, levando mais pessoas a escolher o velocípede como modo de transporte.



(a) N° de ciclistas vítimas mortais e feridos graves

(b) N° de ciclistas vítimas leves

Figura 1.3: Sinistralidade com velocípedes a nível nacional (condutores e passageiros) entre 2003 e 2014 (ANSR, 2003-2014)

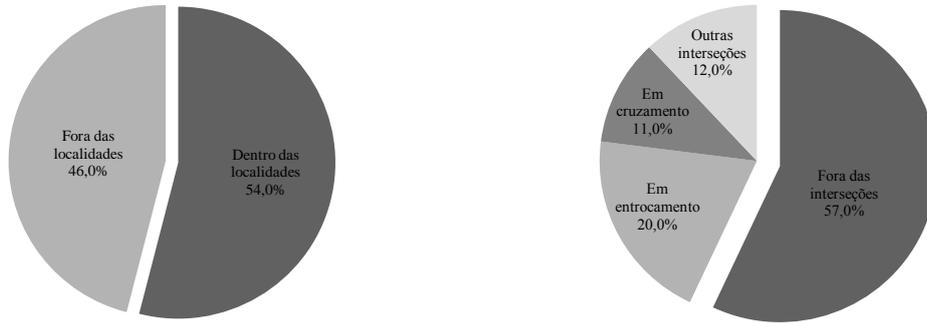
O recente aumento na utilização de velocípedes pode ser uma das causas do aumento da sua sinistralidade, como se pode verificar na Figura 1.3. Ao contrário do que se tem observado nos peões, os valores de vítimas mortais², feridos graves (ver Figura 1.3a) e feridos ligeiros (ver Figura 1.3b) apresentam uma tendência crescente.

A sinistralidade com velocípedes é sobretudo um fenómeno urbano, como de verifica na Figura 1.4a. Assim, é também dentro das localidades que se registaram entre 2004 e 2013, 54 % dos acidentes com velocípedes.

Em relação às características do local do acidente, entre 2004 e 2013 em todo o território nacional, 57% dos acidentes registados ocorreram fora de interseções (ver Figura 1.4b). Distribuição semelhante verificou-se no concelho de Lisboa no mesmo período (ver Figura 1.5), onde 51% dos acidentes ocorreu fora de interseções. Dos acidentes registados, a maioria deveu-se a colisões e resultou em feridos ligeiros (ver Figuras A.2 e A.3 (Anexo A)).

¹O aumento das bicicletas vendidas e a implementação de programas de *bikesharing* enquadra-se nos indicadores de realização do programa de ação para “Incentivar a bicicleta” (IMT, 2012)

²Refere-se a vítimas mortais a 30 dias, ou seja, vítimas cujo óbito ocorra no período de 30 dias após o acidente



(a) Distribuição dos acidentes dentro ou fora de localidades
(b) Distribuição dos acidentes em função das características do local entre 2004 e 2013

Figura 1.4: Distribuição dos acidentes com velocípedes por localização (ANSR, 2014b)



Figura 1.5: Distribuição dos acidentes com ciclistas em função das características do local (Vieira Gomes e Carvalheira, 2013b)

A necessidade de implementação de medidas que visem a mobilidade sustentável e promoção da segurança rodoviária levou à criação de políticas com esse fim. A nível europeu as políticas em prol da mobilidade sustentável surgiram em 2001 com a criação do “Livro Branco” sobre a política europeia dos transportes, onde é salientada a necessidade de criar condições de segurança rodoviária como forma de garantia prévia da mobilidade sustentável,

e em 2007 com o “Livro Verde”, onde se foca a atenção ao nível urbano e para a carência ao nível das infraestruturas (IMT, 2012).

Ao nível nacional, o Plano de Promoção da Bicicleta e Outros Modos Suaves, elaborado em 2012, teve origem na Resolução n.º 3/2009 da Assembleia da República, de 5 de fevereiro e procurou refletir a relevância ambiental e socioeconómica que o tema tinha vindo a assumir na mobilidade e na ocupação do espaço urbano. O plano destaca a utilização da bicicleta como uma componente importante para a promoção da mobilidade sustentável, que deverá ser integrada nas políticas de ordenamento do território, de ambiente, de saúde e de finanças (IMT, 2012).

Com o objetivo de promover o ciclismo salvaguardando a segurança dos utentes, o mais recente Código da Estrada (Lei n.º 72/2013, de 3 de setembro) introduziu alterações profundas à circulação dos velocípedes, de onde se destacam as seguintes medidas:

- (i) Os ciclistas são definidos no âmbito do Código da Estrada como “utilizadores vulneráveis”, à semelhança dos peões (Art.º 1.º);
- (ii) Os utilizadores de bicicletas passam a poder circular nas bermas, desde que não ponham em perigo ou perturbem os peões que nelas circulem (Art.º 17.º);
- (iii) Os condutores devem ceder a passagem aos velocípedes nas passagens assinaladas. Apesar da prioridade os velocípedes têm de garantir que o atravessamento da faixa de rodagem de se faz sem perigo de acidente (Art.º 32.º);
- (iv) Na ausência de sinalização, aplica-se aos velocípedes a regra geral de cedência de passagem à direita (Art.º 30.º, Art.º 32.º);
- (v) Os veículos motorizados quando efetuam uma ultrapassagem a um velocípede devem guardar deste uma distância lateral mínima de um metro e meio (Art.º 38.º);
- (vi) Os ciclistas podem circular paralelamente numa via, se a visibilidade não for reduzida e se disso não resultar embaraço para o trânsito ou perigo (Art.º 90.º);
- (vii) A circulação de velocípedes nas pistas cicláveis, apesar de ser recomendada, não é obrigatória, excetuando quando devidamente assinalado através de sinalização vertical (Art.º 78.º).

De acordo com a AASTHO(2012), todas as estradas onde é permitido o tráfego de velocípedes devem ser projetadas e construídas para tal. Por forma a promover o ciclismo como uma alternativa viável ao transporte motorizado, toda a rede ciclável deve estar projetada segundo critérios que salvaguardem a segurança, transportabilidade e conforto dos ciclistas (Veith e Eady, 2011; Transport for London, 2015).

A relação entre a criação de infraestruturas cicláveis e o aumento do número de ciclistas tem estado na base da implementação de infraestruturas um pouco por todo o mundo mas Pucher et al. (2010) alertam que tal investimento não é suficiente para que a adesão a este meio de transporte se realize. Os autores realizaram um estudo exaustivo apoiando-se na literatura existente sobre 14 cidades com um elevado nível de utilização de velocípedes ou com um crescimento acentuado, tendo concluído que em todos os casos foram implementadas medidas de promoção do uso de bicicletas como complemento à criação de infraestruturas.

1.2 Objetivos

O objetivo fundamental desta dissertação consiste na análise da interação do modo ciclável com os restantes modos por forma a aferir a adequabilidade das soluções existentes, para o caso particular do acesso a parques, garagens e caminhos particulares. Em relação à literatura existente, o documento apresenta as seguintes contribuições:

- (i) Compilação de soluções de interseções com pistas cicláveis com adaptabilidade a interseções prioritárias;
- (ii) Quantificação das distâncias de visibilidade em interseções prioritárias com pistas cicláveis;
- (iii) Caracterização do tráfego ciclável para um caso de estudo em território português;

Pretende-se também que o trabalho realizado contribua para o desenvolvimento da investigação em torno do modo de transporte ciclável, para a sensibilização para a temática da sinistralidade rodoviária e que contribua para a promoção da mobilidade sustentável.

1.3 Organização da dissertação

A dissertação desenvolve-se ao longo de seis capítulos, os quais se apresentam seguidamente de forma sumária:

O Capítulo 1, que corresponde ao presente capítulo, apresenta o tema e a organização do documento. Este introduz o enquadramento legal, aspetos sobre a utilização de velocípedes e sobre a sinistralidade com este modo;

O Capítulo 2 refere-se quanto ao traçado das vias cicláveis e apresenta informação sobre as características geométricas das mesmas;

O Capítulo 3 analisa o estado do conhecimento do traçado de interseções com vias cicláveis focando-se em interseções prioritárias. Este capítulo apresenta primeiramente o cálculo das distâncias de visibilidade em interseções e seguidamente apresenta soluções constantes nos manuais da especialidade;

O Capítulo 4 apresenta técnicas utilizadas para estudar interseções através da caracterização dos volumes de tráfego, das velocidades de circulação, das trajetórias e dos conflitos;

O Capítulo 5 apresenta a análise de um estudo de caso enquadrado no caso particular do acesso a parques, garagens e caminhos particulares. Neste capítulo são analisadas as características do local em estudo, descritas as campanhas de recolha de dados, analisados os dados recolhidos e as soluções a aplicar;

No Capítulo 6 são apresentadas as notas finais respeitantes a este trabalho, as principais conclusões e desenvolvimentos futuros.

Capítulo 2

Traçado de vias cicláveis

2.1 Introdução

No presente capítulo são apresentadas as recomendações existentes na literatura para o traçado de vias cicláveis. No subcapítulo 2.2 são apresentados os principais documentos para a conceção de infraestruturas cicláveis¹, bem como as limitações encontradas na literatura nesta temática. No subcapítulo 2.3 são apresentadas as disposições gerais para vias cicláveis, referindo as tipologias de vias cicláveis e as características transversais a todas estas.

2.2 Orientações para infraestruturas cicláveis

Diversos documentos apresentam orientações para o traçado de infraestruturas cicláveis, nomeadamente: documentos normativos, guias de referência ou outros recursos (*e.g.*, estudos, revisões). Cada país tem os seus documentos normativos mas são habitualmente criados guias para colmatar as carências em certas áreas, posteriormente à criação dos documentos normativos. Para além destes documentos, são realizados estudos especializados em âmbito académico por forma a aumentar o conhecimento em pontos onde os guias e os documentos normativos se apresentam incompletos.

Em termos de conceção rodoviária, Portugal segue as imposições das Normas da Junta Autónoma de Estradas (JAE), atualmente Infraestruturas de Portugal, e pelas disposições normativas do InIR em diversos campos (*e.g.*, medidas de acalmia de tráfego). Na área das infraestruturas cicláveis foi criada em 2011 uma brochura técnica intitulada “Rede Ciclável - Princípios de Planeamento e Desenho” pelo Instituto de Mobilidade e Transportes Terrestres (IMTT, 2011).

Neste trabalho tomam-se também como referência outras publicações internacionais, como é o caso dos documentos normativos da Dinamarca e Holanda, países com grande tradição em infraestruturas cicláveis, bem como documentos dos Estados Unidos da América, Inglaterra, França e Austrália, países que se começam a destacar pela criação de infraestruturas e manuais da especialidade. Na Tabela B.1 (Anexo B) apresenta-se um breve enquadramento dos documentos referidos, bem como de outros apresentados neste documento.

Tal como referido anteriormente, o conhecimento ao nível das infraestruturas cicláveis é complementado com a existência de estudos académicos. Estes estudos têm crescido nos

¹No âmbito do presente documento a designação “vias cicláveis” é utilizada para referir qualquer tipo de via destinada a ciclistas, enquanto que a designação “infraestruturas cicláveis” pode incluir também outros equipamentos, tais como balneários e parques

últimos 20 anos passando do estudo simplificado de vias e pistas à inclusão de interseções e, mais recentemente, redes cicláveis (Buehler e Dill, 2016). Apesar do aumento do número de publicações, continua a ser relevante perceber as limitações das mesmas por forma a tirar o maior partido das conclusões apresentadas.

Constata-se que há uma necessidade transversal aos estudos de infraestruturas cicláveis em quantificar os fatores de exposição para que seja possível a comparação entre os vários estudos (através de um denominador em comum). Os fatores de exposição são bastante variáveis e incluem parâmetros que vão desde a distância percorrida, ao tempo, ao número de passagens, ou ao número de conflitos. Vanparijs et al. (2015) refere que a exposição não é apresentada em 90% dos estudos, pelo que a comparação é desde logo descartada.

Buehler e Dill (2016) enumeram diversas lacunas encontradas em grande parte dos estudos na área da segurança rodoviária em infraestruturas cicláveis: (i) falta de representatividade, ao basearem-se em amostras de voluntários académicos e aficionados ciclistas os estudos perdem a representatividade necessária; (ii) estudo de apenas uma secção de controle; (iii) falta avaliação sistemática ao longo do tempo, os estudos baseiam-se apenas numa recolha pontual de dados não avaliando a evolução dos comportamentos com o tempo; (iii) poucos estudos examinam características concretas (*e.g.*, cor da via, posicionamento na via); (iv) quase inexistência de estudos sobre zonas de coexistência.

No que diz respeito apenas a pistas cicláveis, segundo o FHWA (2015), existe uma necessidade de estudos de qualidade sobre as pistas cicláveis no âmbito da segurança rodoviária. Este guia procura criar uma metodologia de estudo para pistas cicláveis que se estendem ao longo de rodovias através da identificação das limitações dos estudos presentes na bibliografia. As dificuldades encontradas no estudo prendem-se com o facto deste tipo de infraestruturas serem recentes e em pequena quantidade, ao que está também associado um número reduzido de colisões reportadas. Por outro lado, a dificuldade de comparação entre os estudos prende-se também ao nível da localização geográfica: não é metodologicamente correto comparar resultados entre países onde existem culturas completamente diferentes em relação ao ciclismo.

2.3 Disposições gerais para o traçado de vias cicláveis

Todas as vias devem ser projetadas de modo a ter em consideração as necessidades e características dos utentes que nela circulam. Desta forma, é importante analisar as características físicas e cognitivas dos vários utentes por forma a identificar as dimensões de aplicação ao nível do dimensionamento para o modo pedonal, para o modo ciclável e o para modo motorizado (CROW, 1998).

Os peões caracterizam-se pela sua especial vulnerabilidade e heterogeneidade, pelo que a conceção das vias urbanas deve ter também em atenção as pessoas com mobilidade reduzida, pessoas com baixa visão e crianças, salvaguardando as larguras necessárias, bem como desníveis controlados, entre outros (Centre de Recherches Routières, 2006).

Os ciclistas caracterizam-se pelas velocidades variáveis, instabilidade e necessidade de se manterem em movimento para não perderem a estabilidade (AASTHO, 2012). A velocidade e a capacidade de adaptação à via variam fortemente com a experiência e a finalidade da deslocação do ciclista. O IMTT (2011) classifica os ciclistas em três categorias em relação ao nível de experiência: ciclista frequente, ciclista ocasional e ciclista pouco experiente; define ainda uma desagregação em relação ao objetivo da sua deslocação: quotidiano, desporto e recreio e lazer. Os ciclistas mais experientes têm maior capacidade de adaptação conseguindo

2.3. Disposições gerais para o traçado de vias cicláveis

circular a velocidades mais elevadas e realizar subidas com maior declive. No entanto, a velocidade a que circulam efetivamente depende do propósito da deslocação, pelo que se percebe facilmente que as velocidades serão superiores em deslocações pendulares do que em deslocações de lazer. A análise dos padrões de mobilidade dos ciclistas ajuda a escolher critérios referentes a elementos base para o cálculo de características geométricas do traçado que serão apresentadas no subcapítulo 2.3.2.

2.3.1 Tipologias de infraestruturas cicláveis

A existência de uma rede ciclável deve apoiar-se num princípio de integração e coerência focada na segurança, rapidez e comodidade não só dos ciclistas como dos diversos utentes. Primeiramente, as infraestruturas cicláveis devem oferecer a rota mais direta, rápida e conveniente, caso contrário, não terão adesão por parte dos ciclistas. Em segundo lugar, a criação de uma rede coerente suporta-se na interligação entre diversos tipos de infraestruturas. Em terceiro lugar, a rede ciclável deve estar em consonância com as redes destinadas a outros modos de transporte (AASTHO, 2012; IMTT, 2011; Cycle Embassy of Denmark, 2012; Transport for London, 2015).

As vias cicláveis podem ser classificadas consoante a separação física entre o tráfego ciclável e o tráfego motorizado ou o tráfego pedonal. Desta forma, de acordo com a separação com o tráfego motorizado, segundo o IMTT (2011) podem ser identificadas: (i) faixas banalizadas ou zonas de coexistência onde não é realizada qualquer separação; (ii) faixas cicláveis onde existe uma separação visual fazendo a via parte da faixa de rodagem e (iii) pistas cicláveis onde existe uma separação física do tráfego motorizado.

As faixas banalizadas¹ ou vias de coexistência são vias destinadas ao tráfego motorizado onde é tida em conta a circulação de velocípedes através da marcação do ser percurso (ver Figura 2.1a) ou delimitação de velocidades (*e.g.*, zonas 30). Em geral são unidireccionais mas em situações excepcionais o tráfego de velocípedes pode fazer-se em ambos os sentidos. Não devem ser implementadas com velocidades de circulação automóvel muito elevadas, sendo que o IMTT(2011) indica que o seu uso está restrito a situações com um percentil 85 das velocidades inferior a 30 km/h.



Figura 2.1: marcação de vias cicláveis (NACTO, 2014)

As faixas cicláveis constituem vias cicláveis que são parte integrante da faixa de rodagem, sendo a separação realizada por marcação no pavimento, entre a mesma e o canal destinado

¹De notar que vias destinadas à circulação de veículos motorizados, onde podem circular velocípedes, mas onde não existe qualquer tipo de limitação de velocidades ou sinalização indicadora da circulação de velocípedes não são consideradas vias cicláveis

Capítulo 2. Traçado de vias cicláveis

à circulação rodoviária. A separação fica a cargo de sinalização horizontal materializada através de marcações no pavimento (linha simples, linha dupla ou zona de separação) e/ou coloração do pavimento (ver Figuras 2.1b e 2.1c). Por forma a evitar choques frontais, estas vias devem ser unidireccionais no sentido da circulação do tráfego rodoviário e localizarem-se preferencialmente junto à parte exterior da faixa de rodagem (IMTT, 2011; NACTO, 2014).

As pistas cicláveis consistem em canais segregados do tráfego motorizado, podendo ser implementados paralelamente à rede viária ou ter um percurso alternativo, para fins recreativos ou por forma a criar atalhos de circulação para ciclistas. Existe a possibilidade de serem uni ou bidireccionais e de serem construídas à cota do passeio ou a um nível intermédio entre o espaço rodoviário e o passeio. No caso de pistas para fins recreativos há também a possibilidade de não existir segregação entre o modo ciclável e o modo pedonal (IMTT, 2011; NACTO, 2014).

Diferentes estratégias podem ser usadas para a materialização da separação entre a faixa de rodagem e a pista, desde a introdução de balizas flexíveis (ver Figura 2.2a), canteiros (ver Figura 2.2b) ou a existência de um passeio (ver Figura 2.2c).

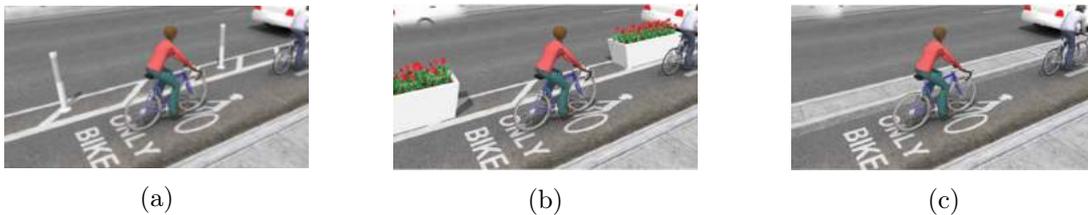


Figura 2.2: Separação de pistas cicláveis (NACTO, 2014)

Não existe um consenso generalizado na comunidade científica em relação ao nível de segurança associado a cada tipologia de infraestrutura. No entanto, existe consonância nos seguintes aspetos: (i) a presença de pistas revela uma diminuição de acidentes quando comparando com estradas sem infraestruturas; (ii) não foi provado que as pistas ou vias tenham uma maior incidência de acidentes; (iii) as pistas levam à redução do derrubamento de ciclistas por colisão traseira de um veículo num velocípede (FHWA, 2015; AASTHO, 2012).

No âmbito da classificação das vias cicláveis, é ainda possível considerar uma desagregação nos aspetos da sua integração com o tráfego pedonal. De acordo com o manual Americano (AASTHO, 2012), é possível diferenciar as seguintes tipologias: (i) vias banalizadas de coexistência onde é indicada rota a seguir para ciclistas; (ii) vias banalizadas de coexistência, vias alteradas com vista à coexistência de veículos, ciclistas e peões no mesmo espaço (*e.g.*, zonas 30); (iii) faixas cicláveis unidireccionais ou bidireccionais; (iv) pistas cicláveis uni ou direccionais dedicadas apenas a velocípedes ao longo de rodovias; (v) pistas cicláveis dedicadas apenas a velocípedes sem proximidade a rodovias; (vi) pistas cicláveis partilhadas com peões ao longo de rodovias; (vii) pistas ciclável partilhadas com peões afastadas de rodovias (*e.g.*, percursos de lazer).

Na temática da análise da segurança das infraestruturas, Teschke et al. (2012) realizaram 690 inquéritos a ciclistas feridos em 3 cidades do Canadá. Foram identificadas as infraestruturas onde ocorreram os acidentes por forma a comparar o seu índice de risco com uma “via padrão”. Concluiu-se que a segurança aumenta com o afastamento da rodovia à infraestrutura ciclável e com a separação entre o modo ciclável e pedonal. O estudo não consegue retirar conclusões em relação a qual o melhor tipo de segregação entre o modo ciclável e motorizado.

2.3. Disposições gerais para o traçado de vias cicláveis

Apesar do nível de segurança ter relevância na escolha de um percurso, a preferência por determinado tipo de infraestrutura pode estar mais ligada à percepção da segurança do que aos níveis de sinistralidade que se verificam na realidade. As pistas cicláveis têm com grande vantagem promoverem a utilização de velocípedes por aqueles que não o fariam sem este tipo de infraestruturas (*e.g.*, criança, idosos). Países como a Holanda e a Dinamarca apostaram na construção de pistas cicláveis como forma de promover o ciclismo e o seu exemplo começa a ser seguido noutras partes do mundo (AASTHO, 2012).

No entanto, a percepção de segurança está também intrinsecamente ligada com a cultura ciclável envolvente. Chataway et al. (2014) realizaram uma análise comparativa entre uma cidade de ciclismo emergente (Brisbane, Austrália) e uma cidade com tradição nesta área (Copenhaga, Dinamarca). Em ambas as cidades os ciclistas descreveram conceitos de percepção de segurança em relação à segregação do tráfego motorizado semelhante: maior segurança quando existe segregação e menor quando são forçados a circular entre tráfego motorizado ou adjacientemente a veículos estacionados. No entanto, a atitude dos condutores face aos ciclistas é substancialmente diferente nas duas cidades. Ao contrário do que acontece em Copenhaga, em Brisbane os condutores demonstraram menos tolerância face aos ciclistas, o que pode estar associado ao facto dos ciclistas terem demonstrado maior medo em circular no mesmo espaço que os veículos motorizados.

Para além dos fatores culturais mencionados, a escolha dos projetistas entre as diversas infraestruturas faz-se de acordo a ponderação das características do local (*e.g.*, a largura disponível, distância entre interseções) com as características do tráfego ciclável e motorizado (*e.g.*, velocidades de circulação e volumes). A Tabela 2.1 apresenta recomendações para a conceção da infraestrutura dedicada a velocípedes e peões de acordo com a hierarquia da viária.

Tabela 2.1: Recomendações relativas às características das vias destinadas a veículos motorizados e coexistência com outros modos

Parâmetro		Rede estruturante	Rede distribuição principal	Rede distribuição secundária	Rede de proximidade	Vias acesso local
Velocidades média dos veículos motorizados (km/h)		80 - 140 (máx 120)	60 - 70	50	40	20 - 30
Características do ambiente rodoviário genérico	Larguras vias (m)	3,5 - 3,75	3,5	3,5 - 3,25	3,25	2,75 - 3,0
	Estacionamento	Não	Não	Só em situações pontuais	Sim	Sim
	Acesso a propriedades privadas	Não	Sim, condicionado; zonas de espera	Sim, mas muito condicionado	Sim	Sim
	Paragens autocarro	Não	Sim, fora da via de circulação	Sim, preferencialmente fora da via de circulação	Sim	Não
Características da infraestrutura dedicada a:	Peões	Passagens desniveladas	Passadeiras semaforizadas Passagens desniveladas	Passadeiras com refúgios Passadeiras semaforizadas	Passadeiras	Coexistência
	Velocípedes	Passagens desniveladas	Pistas cicláveis	Pista ciclável Faixa ciclável	Pista ciclável Faixa ciclável	Via Banalizada

De uma forma geral, em relação às características do local, a segregação torna-se menos atrativa com a diminuição da distância entre interseções e em relação às características do tráfego ciclável e motorizado, torna-se mais atrativa com o aumento do volume de tráfego e das

velocidades de circulação automóvel. Enumeram-se seguidamente outros aspetos relevantes na escolha de pistas cicláveis por parte dos projetistas:

- Volume de tráfego - com o crescimento do volume de tráfego de ciclistas passa a fazer mais sentido apontar-se para a construção de infraestruturas direcionadas às suas necessidades (*e.g.*, semáforos para velocípedes) (CROW, 1998);
- Existência e distância entre interseções - aumento dos acidentes nas interseções. Jensen et al. (2007) analisaram os efeitos na segurança da implementação de pistas cicláveis através de estudos antes e depois da construção de uma pista. Concluíram que a construção da pista levou a um aumento dos acidentes nas interseções na ordem do 18%, apesar da diminuição de 10% fora das interseções.
- Velocidade de circulação de ciclistas - os ciclistas adotam frequentemente velocidades bastante elevadas, quando comparado com os peões, pelo que é necessário garantir condições de visibilidade nesta aproximação (AASTHO, 2012);
- Estratégias de identificação de conflitos - condutores de veículos motorizados que entram ou cruzam a intersecção podem não ver os ciclistas por se concentrarem no tráfego motorizado. Summala et al. (1996) basearam-se em boletins de ocorrência de acidentes da polícia para identificarem os conflitos e a localização dos acidentes. Concluíram que a maioria dos acidentes acontecia em interseções de 3 ramos e que existia uma maior prevalência quando o veículo que entra na via prioritária pretende virar à direita e um ciclista se aproxima pela direita. A descrição do conceito de identificação de conflitos é explicitada na Figura 2.3, demonstrando que os condutores de veículos motorizados procuram sempre os conflitos com os veículos do mesmo tipo pois estes apresentam maior perigo (AASTHO, 2012).
 - (i) A Figura 2.3a apresenta o movimento de viragem à direita, em que o condutor foca a sua atenção nos veículos que vêm da esquerda desconsiderando os ciclistas que se aproximam pela direita;
 - (ii) A Figura 2.3b apresenta o movimento de viragem à esquerda com atravessamento da via de sentido oposto, em que o condutor foca a sua atenção nos veículos que circulam na direção oposta desconsiderando os ciclistas que circulam na mesma direção;
 - (iii) A Figura 2.3c apresenta o movimento de viragem à esquerda, em que o condutor foca a sua atenção nos veículos que circulam na direção oposta e na via perpendicular desconsiderando os ciclistas que circulam na mesma direção;

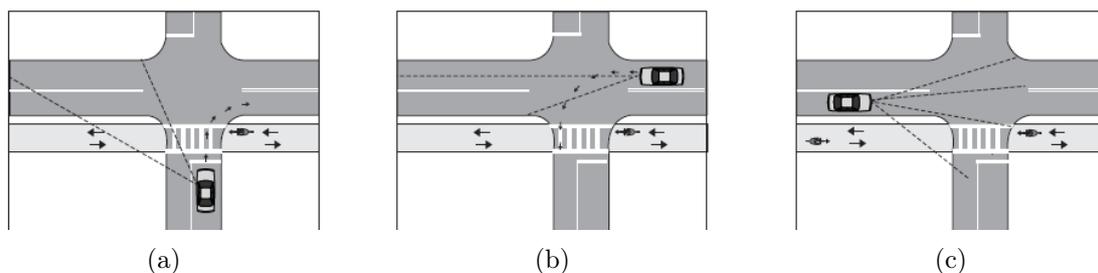


Figura 2.3: Estratégias de identificação de conflitos (AASTHO, 2012)

2.3. Disposições gerais para o traçado de vias cicláveis

- Prioridades - a falta de compreensão das prioridades é apontada como um dos maiores fatores de perigo nos cruzamentos multi-modais. Segundo Pedler (2000), cruzamentos onde os ciclistas não têm prioridade causam menor margem para dúvidas, apesar de não serem necessariamente corretos em todos os casos. Esta conclusão foi obtida através da realização de inquéritos sobre prioridades de passagem a motoristas e ciclistas em 5 cruzamentos de 3 ramos. Apesar das conclusões de alguns estudos, os guias da especialidade recomendam que a prioridade seja dada aos ciclistas na generalidade dos casos por forma a diminuir o tempo de deslocação e a dificuldade de deslocação para o ciclista funcionando como um incentivo à utilização dos velocípedes (IMTT, 2012);
- Necessidade de interrupção das infraestruturas cicláveis - a interrupção das pistas unidirecionais propicia a que os ciclistas a circulem em contramão (AASTHO, 2012);
- Largura disponível - é necessário ter em atenção que a largura útil pode ser condicionada por objetos fixos na via ou pista tais como, sumidouros ou postes (IMTT, 2011);
- Utilização indevida da pista por parte de outros utentes - os peões tendem a preferir utilizar a pista ciclável ao passeio devido à maior regularidade da pavimento;
- Preferências do ciclistas - alguns ciclistas vão continuar a usar a rodovia mesmo que exista uma infraestrutura dedicada (AASTHO, 2012);
- Problemas associados ao bloqueio das infraestruturas cicláveis por veículos motorizados - os veículo que acedem à via principal podem bloquear a via ciclável (NACTO, 2014; AASTHO, 2012).

A Figura 2.4 esquematiza o processo de escolha da infraestrutura tendo em conta velocidades de circulação automóvel e volumes de tráfego por 24h. Apesar de útil, este esquema não tem em consideração o volume de ciclistas.

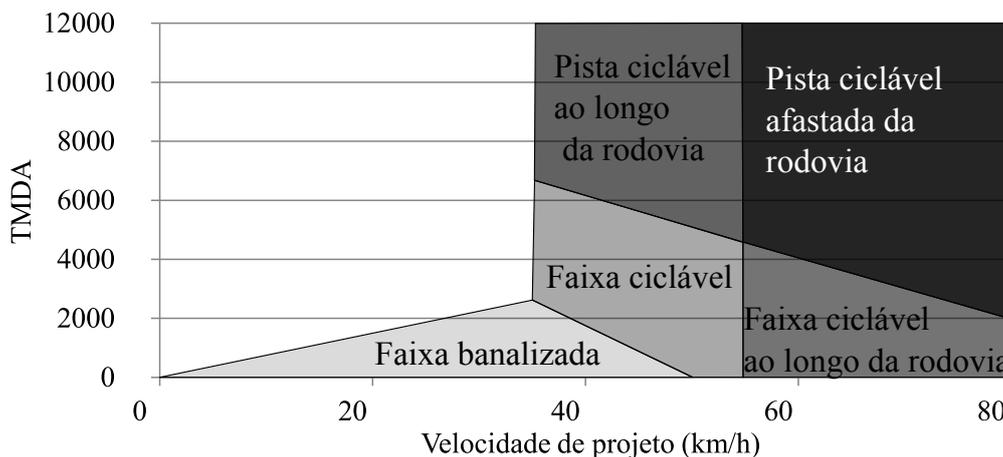


Figura 2.4: Escolha das infraestruturas cicláveis (adaptado de Cycle Embassy of Denmark, 2012)

2.3.2 Elementos base para o traçado

As características geométricas apoiam-se na definição de elementos base para o traçado que devem manter-se ao longo da via. Nesta subsecção apresentam-se metodologias de cálculo,

bem como os valores recomendados para as características geométricas consideradas relevantes ao estudo, nomeadamente: velocidade base, distância de visibilidade de paragem, largura da via, alinhamento horizontal, alinhamento vertical, pavimentos e sinalização e marcação.

2.3.2.1 Velocidade base

A velocidade base é usada para calcular vários parâmetros geométricos. Esta deve ser mantida ao longo da estrada para que os parâmetros geométricos sejam coerentes. Depende da topografia do terreno, dos volumes de tráfego esperados e das funções da via (Almeida Roque, 2010). A velocidade base é escolhida no caso de estradas em patamares de 5 km/h e para infraestruturas cicláveis em patamares de 3 km/h, devido às velocidades de circulação mais reduzidas (AASTHO, 2012).

Por sua vez, a velocidade específica é a velocidade máxima que pode ser obtida com segurança em qualquer ponto do traçado e deve ser utilizada no dimensionamento de elementos geométricos cujas características dependem da visibilidade. Assim, a infraestrutura deve ser projetada por forma a acomodar as velocidades do percentil 85 do utilizador mais veloz (*e.g.* no caso das pistas cicláveis: ciclista adulto)(AASTHO, 2012).

A velocidade base a adotar na pista pode variar substancialmente, consoante se trata de uma pista partilhada ou não partilhada com peões, pelo os valores para pistas partilhadas são inferiores. As velocidades de projeto indicadas pelos documentos analisados apresentam-se na Tabela 2.2.

Tabela 2.2: Velocidades base recomendadas por publicação

	AASTHO(2012)	Cycle Embassy of Denmark (2012)
Pista partilhada	30 km/h	32 km/h
Pista não partilhada	48 km/h	50 km/h

2.3.2.2 Distância de Visibilidade de Paragem

A visibilidade tem um papel fundamental na segurança dos utentes. Uma distância de visibilidade adequada permite ajustar antecipadamente as velocidades à existência de obstáculos por forma a efetuar paragens em segurança.

A distância de paragem traduz-se na distância necessária para imobilizar completamente um veículo e consiste na soma da distância de reação com a distância de travagem. A distância de reação d_r é a distância percorrida durante o tempo de reação t_r (ver Expressão 2.1) e varia em função da idade, experiência e tipo de utente (Silva Oliveira, a). De acordo com o AASTHO(2011), um tempo de reação de 2,5 segundos, o que equivale a um percentil de 90 %, não é indicado em situações de travagem simples mas é aceitável quando se trata de situações mais complexas como interseções. A Norma de Interseções (JAE, 1990) considera para estradas nacionais 2 segundos.

$$d_r = V \times t_r \quad (2.1)$$

Em que,

d_r (m) - distância de reação

V(m/s) - velocidade de circulação

2.3. Disposições gerais para o traçado de vias cicláveis

t_r (s) - tempo de reação

A distância de travagem d_t é a distância percorrida desde o momento em que a travagem começa até ao momento em que se imobiliza completamente o veículo. Baseia-se na conservação da energia cinética que corresponde ao trabalho realizado da energia cinética e da energia dissipada pelas forças de atrito durante a travagem (ver Expressões 2.2 e 2.3) (Silva Oliveira, b).

$$\frac{1}{2}mV_i^2 - \frac{1}{2}mV_f^2 = (\mu \pm i) \times m \times g \times d_t \quad (2.2)$$

$$d_t = \frac{V_i^2 - V_f^2}{2 \times g(\mu \pm i)} \quad (2.3)$$

Em que,

d_t (m) - distância de travagem

V_i (m/s) - velocidade antes de travar

m (kg) - massa

V_f (m/s) - velocidade no fim da travagem

μ - coeficiente de atrito de deslizamento longitudinal entre os pneus e o piso (valor médio durante a travagem)

g (m/s²) - aceleração da gravidade ($g=9,81$ m/s²)

i (m/m) - inclinação longitudinal da estrada

Na literatura consultada foram encontradas duas metodologias para calcular a distância de paragem, a primeira considera um coeficiente de atrito longitudinal (ver Expressão 2.4) e a segunda um coeficiente de desaceleração (ver Expressão 2.5) (AASTHO, 2012).

O coeficiente de atrito depende das características de contacto, ou seja, tem-se em consideração as características do pavimento e do pneu. O guia AASTHO (2012) considera que no caso dos velocípedes são garantidas fracas condições de travagem ($\mu=0,2$) e para os veículos é usual considerar-se 0,32 para estradas nacionais.

$$d_t = \frac{V_i^2}{2 \times 3,6^2 \times g(\mu \pm i)} = \frac{V_i^2}{254(\mu \pm i)} = 0,0039 \frac{V_i^2}{(\mu \pm i)} \quad (2.4)$$

Em que,

v_i (km/h) - velocidade antes de travar

Ao considerar-se um coeficiente de desaceleração é possível tirar partido do conhecimento da capacidade de desaceleração do veículo. O AASTHO (2012) recomenda desacelerações entre 3,0 e 4,0 m/s² para velocípedes.

$$d_t = \frac{V_i^2}{2a \pm 2g \times i} = \frac{V_i^2}{254\left(\frac{a}{g} \pm i\right)} = 0,0039 \frac{V_i^2}{\left(\frac{a}{g} \pm i\right)} \quad (2.5)$$

Em que,

a (m/s²) - aceleração (veículos motorizados - 3,4 m/s²)

Capítulo 2. Traçado de vias cicláveis

v_i (km/h) - velocidade antes de travar

Desta forma, usando a primeira abordagem obtém-se a seguinte expressão, mais usual para o cálculo da distância de paragem para veículos motorizados e para velocípedes:

$$d_P = \frac{V}{1,44} + \frac{V^2}{254 \times (\mu \pm i)} \quad (2.6)$$

2.3.2.3 Largura da via

A largura da via materializa a largura necessária para a deslocação do ciclista com a comodidade e segurança necessárias. Esta depende das características do veículo, da velocidade de circulação e do declive que se traduz na existência de um “envelope dinâmico” ao qual se acresce uma distância de conforto a objetos fixos (*e.g.*, postos de iluminação, sumidouros) que pode variar entre 25 e 50 cm em função do tipo de via (IMTT, 2011).

De acordo com o IMTT(2011), um ciclista necessita de pelo menos 0,75m para se deslocar ao qual se acresce 0,125m de cada lado para efetuar manobras (ver Figura 2.5). As dimensões baseiam-se num percentil de 95%, estando este valor de acordo com o recomendado noutras publicações como o AASTHO(2012).

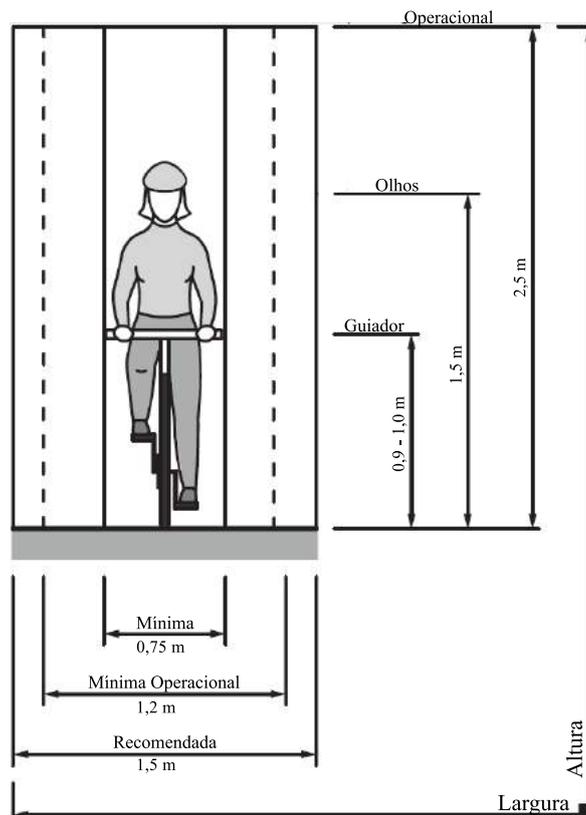


Figura 2.5: Espaço de operação de um ciclista (adaptado de AASTHO, 2012)

Todavia, a largura necessária está também ligada com a manutenção do nível de serviço do tipo de via escolhida. Desse modo, a largura cresce com a diversificação dos utentes que

2.3. Disposições gerais para o traçado de vias cicláveis

nela circulam e com o aumento do volume de tráfego. A sistematização das larguras, mínimas e recomendadas, apresentadas no manual nacional (IMTT, 2011) em função do tipo de via são apresentadas na Tabela 2.3, bem como a largura da zona de segurança a objetos fixos.

Tabela 2.3: Larguras mínimas, larguras recomendadas e largura da zona de segurança em função do tipo de infraestrutura

Tipologia de infraestrutura		Largura mínima (m)	Largura recomendada (m)	Largura zona de segurança (m)	
Via banalizada		0,7	0,9	0,8	
Faixa Ciclável	Unidirecional	1,3	-	0,8	
	Bidirecional	2,2	2,6	0,8	
Pista Ciclável	Exclusiva ciclistas	Unidirecional	-	0,8	
		Bidirecional	2,6	0,8	
	Partilha com peões - separada	Unidirecional	$1,3(C)+1,5(P)=2,8$	-	0,8
		Bidirecional	$2,2(C)+1,5(P)=2,7$	-	0,8
	Partilha com peões - mista	Bidirecional	2,5	3	0,8

Nota: No caso de a pista ser partilhada por peões, apresenta-se a largura considerada devido à presença de ciclistas, com a sigla “C”, e devido à presença de peões, com a sigla “P”.

2.3.2.4 Declive

O declive afeta fortemente o conforto dos utilizadores, podendo também condicionar a sua segurança. Por esse motivo, são atribuídos comprimentos máximos aos trechos onde se aplicam declives acima de 5%. Na Tabela 2.4a são apresentados os valores recomendados para os comprimentos máximos por declive do AASTHO (2012) e na Tabela 2.4b os valores recomendados pelo Cycle Embassy of Denmark (2012). O manual americano defende declives máximos admissíveis por trainel superiores ao documento Dinamarquês, apresentando também a possibilidade da criação de uma via suplementar para permitir que os utilizadores menos experiente levem a bicicleta “à mão”.

Tabela 2.4: Comprimentos máximos por declive

(a) (AASTHO, 2012)

Declive	Aptidão
<3%	aptidão total
3% - 5%	aptidão média
5% - 6%	até 240m
6% - 7%	até 120m
7% - 8%	até 90m
8% - 9%	até 60m
9% - 10%	até 30m
>11%	até 15m

(b) (Cycle Embassy of Denmark, 2012)

Declive	Aptidão
<3%	aptidão total
3% - 3,5%	até 300m
3,5% - 4%	até 200m
4% - 4,5%	até 100m
4,5% - 5%	até 50m

2.3.2.5 Alinhamento Horizontal

O guia AASTHO (2012) assume duas metodologias de cálculo do raio mínimo, a primeira em função da inclinação do ciclista e a segunda em função da sobrelevação.

De acordo com a primeira metodologia, é considerado que a máxima inclinação que os ciclistas adotam é de 20°, sendo este o método de utilização mais comum (ver Expressão 2.7). Esta inclinação advém do facto dos velocípedes sentirem necessidade de se inclinar em curva por forma a compensar a força centrífuga. Se a inclinação for muito elevada estes podem perder o equilíbrio ou tocar com os pedais no chão. Quando as pistas cicláveis são partilhadas com peões, devem cumprir requisitos de acessibilidade no que diz respeito às inclinações máximas transversais, que não devem exceder 1%.

$$r = \frac{0,0079 \times V^2}{\tan\theta} \quad (2.7)$$

Em que,

r (m) - raio mínimo da curva

V (km/h) - velocidade

θ (graus) - ângulo da inclinação com a vertical

A segunda metodologia baseia-se na sobrelevação da pista e no coeficiente de atrito (ver Expressão 2.8). Esta metodologia pode ser útil em pistas não pavimentadas por forma a transcrever os coeficientes de atrito reais, ou em pista pavimentadas não partilhadas com peões por forma permitir raios mais diminutos com velocidades mais elevadas ao se aumentar a sobrelevação.

$$r = \frac{0,0079 \times V^2}{\frac{e}{100} + f} \quad (2.8)$$

Em que,

r (m) - raio mínimo da curva

V (km/h) - velocidade

e (%) - sobrelevação

f - coeficiente de atrito

2.3.2.6 Alinhamento Vertical

O alinhamento vertical deve garantir visibilidade à distância de paragem para um objeto no pavimento (considerando um ciclista adulto com a posição dos olhos a 1,4m) . O raio mínimo da curva horizontal que o permite garantir é apresentado na Expressão 2.9 (AASTHO, 2012).

$$L = 2d_P - \frac{200(\sqrt{h_1} + \sqrt{h_2})^2}{i} \quad (2.9)$$

Em que,

L (m) - raio mínimo da curva vertical

d_P (m) - distância de paragem

h_1 (m) - altura dos olhos do ciclista (1,4 m)

h_2 (m) - altura do objeto (0,0 m)

i (%) - inclinação

2.3. Disposições gerais para o traçado de vias cicláveis

A distância de visibilidade horizontal $d_{horizontal}$ que tem de ser garantida é dada segundo a Expressão 2.10, para um ciclista e um objeto a 1/4 da largura desde a zona interior da curva.

$$d_{horizontal} = R \left[1 - \cos \left(\frac{28,65 \times d_P}{R} \right) \right] \quad (2.10)$$

Em que,

$R(m)$ - raio horizontal

$d_P(m)$ - distância de paragem

2.3.3 Pavimentos

Qualquer pavimento rodoviário tem como função essencial assegurar uma superfície de rolamento na qual os veículos possam circular. Todo o pavimento deve assegurar duas qualidades fundamentais: a qualidade funcional e qualidade estrutural. A primeira diz respeito às exigências de comodidade e segurança dos veículos e a segunda está relacionada com a capacidade do pavimento suportar as cargas e resistir às condições climáticas sem sofrer deformações acima de certos limites. Complementariamente, o pavimento deve também assegurar uma boa drenagem superficial das águas. Desta forma, a constituição do pavimento tem em consideração os seguintes fatores locais (que variam em função do local de aplicação): (i) intensidade de tráfego; (ii) condições climáticas; (iii) resistência do solo de fundação; (iv) materiais disponíveis e custos associados (Branco, 2008).

No caso dos pavimentos cicláveis, o ponto mais relevante prende-se com as qualidades funcionais atribuídas ao acabamento superficial, pois os pneus dos velocípedes têm reduzida área de contacto e os mesmos possuem sistemas de amortecimento pouco eficientes. Desta forma, o pavimento deve ser regular, liso e com boas características do ponto de vista da aderência sem descuidar as características estruturais necessárias às cargas do tráfego de velocípedes e da deslocação de veículos de manutenção e de apoio. Por fim, devem ser considerados os custos do ponto de vista da construção e manutenção.

Os pavimentos têm influência na distância de travagem na medida que em afetam o coeficiente de atrito, pelo que pavimentos degradados ou mais polidos garantem menor aderência do que pavimentos em bom estado de conservação com rugosidades consideradas normais.

A regularidade traduz-se numa maior área de contacto, e por isso dá-se preferência a materiais betuminosos ou em betão do que a materiais granulares como a gravilha.

A estrutura do pavimento é igual à dos pavimentos rodoviários com a variante de serem necessárias espessuras inferiores. A espessura das camadas depende em grande parte da qualidade da camada de leito sendo os valores normais de cerca de 50mm para a camada de base e 125 - 225 mm para a sub-base (Transport for London, 2015).

As interseções entre vias cicláveis e vias destinadas a outros modos, podem ser materializadas através da coloração da pista ao longo da interseção. De acordo com o manual Cycle Embassy of Denmark (2012), a coloração pode consistir na aplicação de uma camada termo-plástica, que apresenta custos reduzidos mas pouca durabilidade, ou consistir na aplicação de uma camada betuminosa de pequena espessura que aumenta significativamente o atrito mas que tem um custo mais elevado do que a primeira solução.

2.3.4 Sinalização e Marcação

A sinalização e a marcação tem um papel importante na clarificação das trajetórias e prioridades, sendo este assunto de especial interesse devido às recentes alterações ao Código

da Estrada.

Em relação à sinalização vertical aplicável no âmbito dos modo de transporte ciclável, distinguem-se os sinais de prioridade, perigo, proibição e obrigação apresentados nas Tabelas B.2 e B.3 (Anexo B).

Como já foi referido, em relação utilização das pistas cicláveis, apesar do seu uso ser recomendado não é obrigatório, excetuando quando devidamente assinalado através de sinalização vertical. Não há na sinalização portuguesa, ao contrário do que acontece na sinalização francesa, um sinal que indique a existência de pistas recomendadas a velocípedes cujo caráter não seja de obrigação. Os sinais de obrigação aplicáveis, indicam também se a pista é exclusiva a velocípedes *senal D7a*, se a pista é partilhada por peões e velocípedes mas não existe separação - *senal D7e* ou se a pista é partilhada por peões e velocípedes mas existe separação - *senal D7f*.

Salienta-se também a existência do *senal A17 - Saída de ciclistas* que alerta os condutores para a aproximação de um local frequentemente utilizado por ciclistas.

É usual existir uma marcação da pista ciclável, por forma a melhor orientar os ciclistas e a aumentar o grau de alerta dos condutores face à presença de ciclistas. Os locais de passagem pistas cicláveis são assinalados através de marcas transversais, pictogramas e ou coloração da pista (ver Figura 2.6). De notar que, a existência de marcas transversais confere prioridade aos ciclistas que circulam na pista ciclável (JAE, 1995).

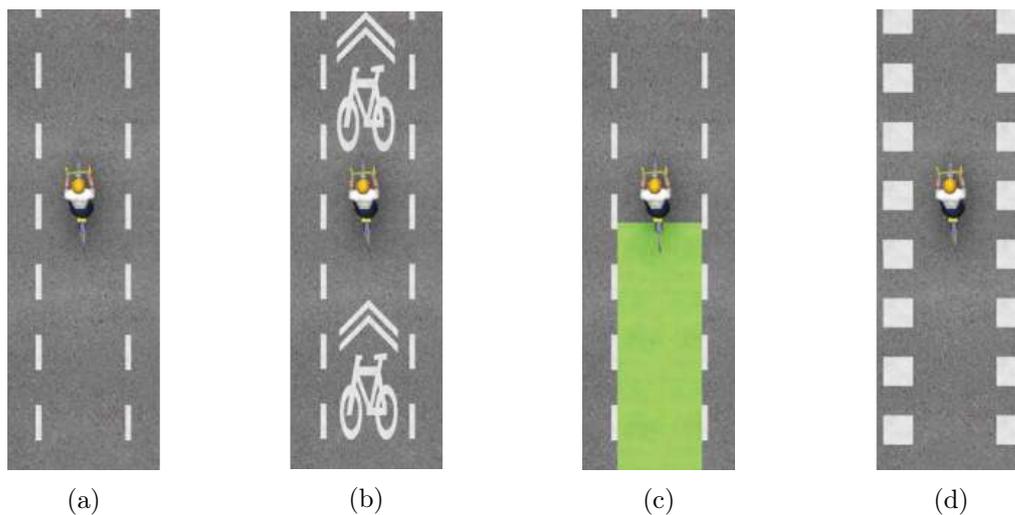


Figura 2.6: Marcação de pistas cicláveis (NACTO, 2014)

Capítulo 3

Soluções para interseções prioritárias com pistas cicláveis

3.1 Introdução

O presente capítulo analisa o estado do conhecimento do traçado de interseções com vias cicláveis focando-se numa área cuja carência de informação é notória: o caso particular do acesso a parques, garagens e caminhos particulares. Este caso particular constitui a forma de interseção mais frequente e caracteriza-se pela cedência de prioridade por parte dos veículos que saem destas vias. Usualmente dá origem a interseções prioritárias com visibilidade reduzida e pequenas dimensões, pelo que o presente capítulo apresenta soluções existentes nos manuais da especialidade para estas configurações. A aplicação das soluções apresentadas não é aleatória, devendo ser dada preferência à remoção dos elementos que restringem essa visibilidade, só se esta solução não for possível ou suficiente é que devem ser planeadas soluções complementares ao nível da reorganização da geometria da intersecção, diminuição das velocidades ou implementação de soluções de alerta (JAE, 1990).

No subcapítulo 3.2 são apresentadas as recomendações gerais e características de interseções prioritárias, no subcapítulo 3.3 é dado destaque à quantificação das distância de visibilidade em interseções, no subcapítulo 3.4 apresentam-se soluções geométricas aplicáveis ao caso particular e no subcapítulo 3.5 são apresentadas soluções que se baseiam em sistemas de sinalização de alerta para condutores.

3.2 Disposições para interseções prioritárias

As interseções são locais de quebra na continuidade da infraestrutura, por essa razão, as interseções têm grande influência no desempenho da rede rodoviária (*e.g.*, capacidade, segurança).

De uma forma geral, deve sempre ser tido em conta que a interseção não deve impor atrasos às correntes principais e deve ser o mais simples e legível para os utentes. Em relação à geometria da interseção, o seu projeto deve reger-se pelos seguintes princípios: (i) o ângulo formado pelos ramos deve ser o mais próximo possível dos 90°; (ii) deve ser passível de realizar alterações; (iii) a solução de 4 ramos deve ser evitada; (iv) deve ser considerado espaço para a operacionalidade dos veículos quando a sua presença o justificar (JAE, 1990).

A dificuldade na interpretação de uma intersecção por parte dos utentes está primeiramente ligada ao número de pontos de conflito existentes na mesma. Sob este ponto de vista,

Capítulo 3. Soluções para interseções prioritárias com pistas cicláveis

apresentam-se quatro tipos básicos de manobras conflitantes, cuja avaliação é necessária para a compreensão de qualquer interseção (Silva et al., 2008):

- A divergência consiste na separação de uma corrente de tráfego em duas ou mais vias, sendo que o tipo de acidentes mais comum entre veículos é a colisão frente-traseira;
- A convergência consiste na junção de duas ou mais correntes de tráfego, sendo que a tipologia de acidente mais comum com esta disposição são a lateral-frente ou lateral-lateral. A perigosidade depende em grande parte do ângulo de convergência;
- O atravessamento consiste na manobra de passar toda a interseção. É a manobra mais perigosa e a tipologia de acidente mais comum é frente-lateral com ângulos próximos dos 90°.
- O entrecruzamento é a manobra típica dos nós de ligação e consiste em manobras de divergência e convergência. Os acidentes são normalmente lateral-lateral.

A conceção geométrica de interseções deve ter como objetivos: (i) a redução do número de conflitos; (ii) a minimização da área de conflito; (iii) a separação física e temporal dos conflitos; (iv) a moderação das velocidades; (v) a melhoria da visibilidade; (vi) a definição de trajetórias (Silva et al., 2008).

As interseções prioritárias (cruzamentos prioritários) são a tipologia de interseção com maior aplicação em Portugal por serem pouco exigentes tanto em termos geométricos como de sinalização, sendo economicamente mais favoráveis e de desempenho razoável para baixos fluxos de tráfego. O funcionamento destas interseções baseia-se no cumprimento das regras de cedência de passagem do código da estrada por parte dos utentes o que pode, em algumas situações, gerar problemas de interpretação (Art.º 29 a 32, Lei n.º 72/2013, de 3 de setembro; Silva et al., 2008). Na Figura 3.1 apresenta-se o domínio de aplicação dos cruzamentos prioritários, rotundas, semáforos e cruzamentos desnivelados, onde se pode ver que os cruzamentos prioritários têm uma vasta aplicabilidade quando o TMDA da via secundária é reduzido, como se verifica no caso particular do acesso a parques de estacionamento, garagens e caminhos particulares.

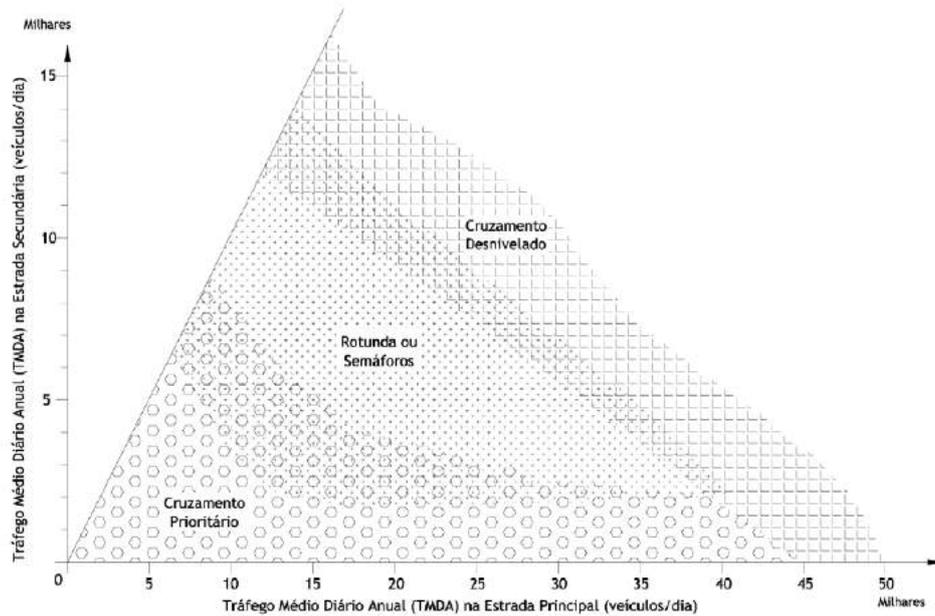


Figura 3.1: Domínio de Aplicação de Interseções (Silva et al., 2008)

A Norma de Interseções da JAE (1990) uniformiza os critérios de projeto e apresenta soluções padrão aplicáveis. Todavia, estas recomendações têm baixa aplicabilidade em zonas urbanas por se traduzirem em critérios muito exigentes (*e.g.*, distâncias de visibilidade) e por não contemplarem de forma sistemática a existência de veículos não motorizados e peões (Silva et al., 2008).

As interseções de pistas cicláveis com rodovias constituem pontos particularmente sensíveis na rede ciclável, em especial na presença de pistas bidirecionais, uma vez que: (i) ao diversificar-se o tipo de utentes aumenta-se a dificuldade de previsão da sua velocidade e do reconhecimento das prioridades; e porque (ii) as vias bidirecionais podem acrescentar trajetórias não expectáveis por parte dos condutores.

3.3 Garantia de Distâncias de Visibilidade

A distância de paragem é uma distância fundamental a ser garantida, sendo normalmente razoável para que condutores atentos imobilizem o veículo em segurança. No entanto, distâncias maiores têm de ser asseguradas por forma a permitir manobras mais complexas em situações onde a informação leva mais tempo a ser compreendida, como em interseções (JAE, 1990; AASTHO, 2011).

3.3.1 Distância de Visibilidade em Interseções genéricas

Tanto a Norma de Interseções (JAE, 1990) como a Norma Americana (AASTHO, 2011) referem a necessidade de salvaguardar distâncias de visibilidade em interseção, as quais se materializam num triângulo de visibilidade cujos catetos são distâncias livres ao longo das vias que se intersejam. A definição do triângulo de visibilidade permite escolher a sinalização aplicável a cada caso. Todavia, apenas a Norma Americana indica procedimentos de cálculo para vias sem sinalização ou com cedência de passagem (JAE, 1990; AASTHO, 2011).

De acordo com a Figura 3.2, os veículos P e S deslocam-se para o mesmo ponto, o *ponto de conflito*. As vias onde os veículos se deslocam são os catetos do triângulo de visibilidade e a *linha limite de visibilidade* é a hipotenusa desse mesmo triângulo.

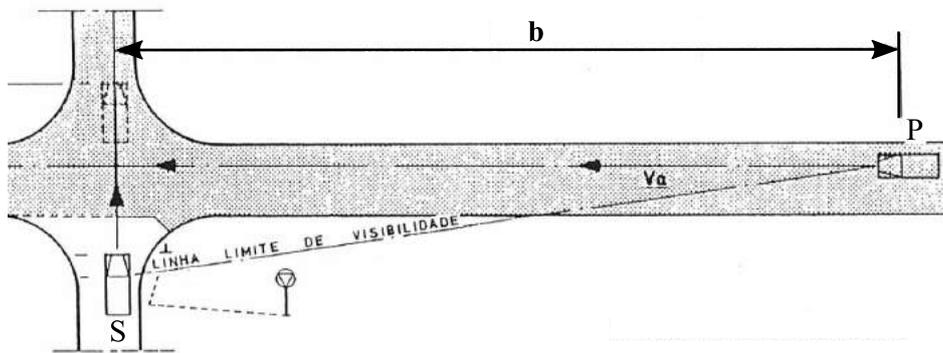


Figura 3.2: Distância de visibilidade mínima em interseções (adaptado de JAE, 1990)

A distância mínima de visibilidade ao longo da via principal b (ver Figura 3.2) é dada pela Expressão 3.1, que tem em conta a velocidade na via principal e o intervalo que tem de ser disponibilizado para o veículo da via secundária para realizar a manobra:

$$b = 0,278 \times V_{prior} \times t_g \quad (3.1)$$

Em que,

$b(m)$ - distância mínima de visibilidade ao longo da via principal

$t_g(s)$ - intervalo de tempo disponível para realizar a manobra

$V_{prior}(km/h)$ - velocidade na via prioritária

Considerando alternativamente que o veículo S pretende entrar na via principal, o tempo que o veículo S necessita para entrar na via principal e se colocar a uma velocidade semelhante aos restantes veículos deve ser menor do que o tempo entre a passagem de dois veículos na via principal. Assim, visto que o tempo necessário para realizar a manobra t_g é diferente, a distância b do triângulo de visibilidade também o é, pelo que é necessário calcular b para a manobra condicionante.

A Figura 3.3 permite compreender a influência de obstáculos no triângulo de visibilidade. Assumindo que A e B são veículos e se deslocam para o ponto de conflito, o triângulo de visibilidade (triângulo com os catetos de dimensões a , b) fica limitado pela existência de um obstáculo. Na mesma figura compreende-se que nas trajetórias de ambos os veículos há uma zona em comum, a zona de conflito (retângulo com lado w_1 , w_2). Ainda na mesma Figura,

depreende-se que estando ambos os veículos a deslocar-se para o mesmo ponto, a condição de unicidade de um veículo, implica que um deles a transponha a zona de conflito antes da chegada do outro.

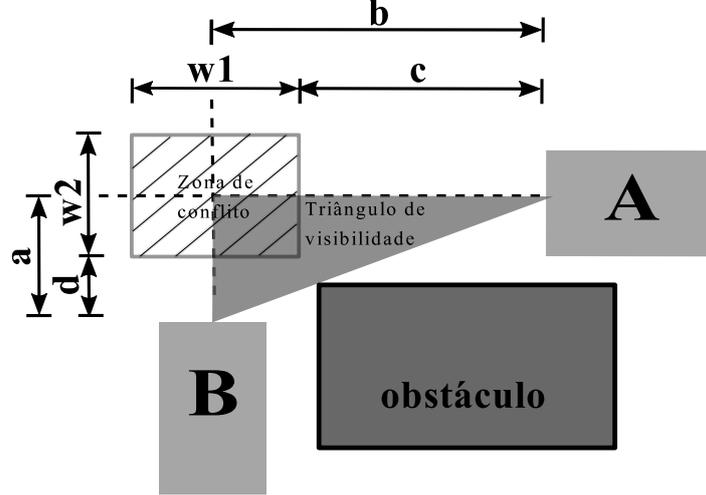


Figura 3.3: Distância de visibilidade em interseções - cruzamento

A distância de visibilidade que tem de ser assegurada na via onde segue o veículo A (distância b) tem de ser suficiente para o veículo B chegar à interseção e cruzar a interseção antes que o veículo A chegue à zona de conflito. Ou seja, o tempo que o veículo B leva a percorrer d mais w_2 mais o comprimento do veículo L_B (por forma a garantir que todo o veículo de encontra fora da área de interseção) tem de ser menor que o tempo que leva o veículo A percorrer c . Por sua vez, para calcular a distância a considera-se que o tempo que o veículo A leva a percorrer c mais w_1 mais o comprimento do veículo, tem de ser menor que o tempo que leva o veículo B percorrer d (Awadallah, 2009).

Procedimento de cálculo da distância a (com base na Figura 3.3):

1. Tempo que leva o veículo B até à interseção, t_d :

$$t_d = \frac{d}{V_B} \quad (3.2)$$

2. Tempo que leva o veículo B à passar a interseção, t_{w2} :

$$t_{w2} = \frac{L_B + w_2}{V_B} \quad (3.3)$$

3. Tempo que leva o veículo B a chegar e a passar a interseção, t_g :

$$t_g = t_d + t_{w2} \quad (3.4)$$

4. Tempo que leva o veículo A até a interseção, t_c :

$$t_c = \frac{c}{V_A} \quad (3.5)$$

5. Para que não existam conflitos, é necessário que,

$$t_g \leq t_c \quad (3.6)$$

Em que,

V_B - velocidade de B

V_A - velocidade de A

L_B - comprimento do veículo B

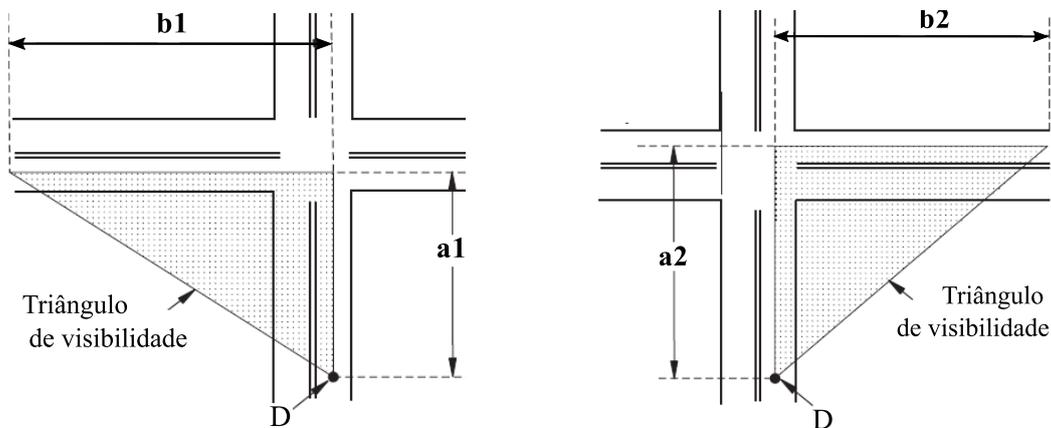
Todavia, a maioria das interseções resulta em movimentos mais complexos de calcular que o simples atravessamento de uma zona de conflito por dois veículos. Face a esta situação, o manual da AASTHO (2011) estabelece que a distância de visibilidade a ser salvaguardada varia segundo a sinalização aplicada à via sem prioridade, número de vias da interseção e segundo a manobra a executar (*e.g.*, cruzamento, viragem à direita, viragem à esquerda).

Considera-se um triângulo de aproximação nos casos em que não há sinalização ou o sinal na via sem prioridade seja de cedência de passagem (o que tem em conta a não obrigatoriedade do veículo parar antes de entrar na interseção) (ver Figura 3.4) e um triângulo de partida quando a sinalização é de paragem obrigatória (ver Figura 3.5).

Consideram-se sempre dois triângulos, um respeitante aos veículos que vêm da esquerda e outro aos veículos que vêm da direita. Note-se que o ponto de decisão D configura o ponto em que o condutor vê o obstáculo.

Para efeitos de cálculo, a consideração a nível horizontal da distância de visibilidade em interseções tem em conta a localização dos utentes/veículos por forma a determinar os pontos de colisão que resultam da interseção das trajetórias. De acordo com Marques (2005) considera-se para efeitos de cálculo que o veículo se desloca a 1,5 m da berma e que os peões se deslocam a 0,75 m de distância do objeto que impede a visibilidade (estando o peão no passeio). Por sua vez, o guia AASTHO (2012) estabelece que os velocípedes devem ser colocados no centro da pista ciclável.

A nível vertical o manual da AASTHO (2011) recomenda uma altura de 1,33m para veículos (percentil 15 para veículos ligeiros) sendo este um valor condicionante pois um veículo mais baixo tem menor visibilidade sobre a estrada. O valor recomendado pelas normas da JAE (1990) é de 1,08m de altura.



(a) Triângulo de visibilidade para veículos vindo da esquerda (b) Triângulo de visibilidade para veículos vindo da direita

Figura 3.4: Triângulos visibilidade de aproximação (adaptado de AASTHO, 2011)

3.3. Garantia de Distâncias de Visibilidade

Para o cálculo dos triângulos de aproximação (ver Figura 3.4), a distância que vai do ponto D ao início da interseção tem de ser igual ou superior à distância de paragem para o condutor ter tempo para perceber o objeto, *tempo de reação*, e imobilizar o veículo se necessário, *tempo de travagem*.

As distâncias $b1$ e $b2$, assinaladas na Figura 3.4, calculam-se segundo a Expressão 3.1 com t_g calculado segundo a Expressão 3.7¹. É de salientar que $b1$ e $b2$ são em geral inferiores às distâncias de paragem que seriam obtidas com a velocidade base da via secundária. Isto deve-se ao facto de diversas observações terem mostrado que os veículos na estrada secundária abrandam ao passarem uma via com prioridade o que diminui a sua distância de paragem (AASTHO, 2011).

$$t_g = t_d + \frac{w + L_v}{0,6 \times 0,278V_{secun}} \quad (3.7)$$

Em que,

$t_g(s)$ - intervalo de tempo disponível para realizar a manobra

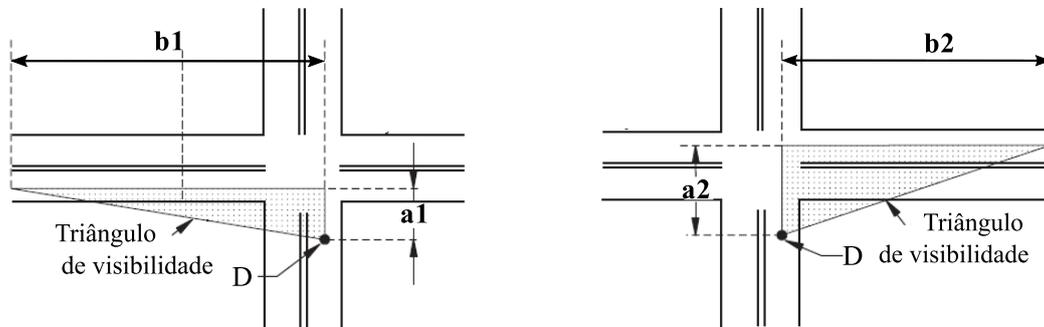
$V_{secun}(km/h)$ - velocidade de projeto na via secundária

$w(m)$ - comprimento da interseção

$L_v(m)$ - comprimento do veículo

$t_d(s)$ - tempo que leva o veículo na via secundária até à interseção

As distâncias ao longo da via secundária $a1$ e $a2$ (ver Figura 3.4) são recomendadas no AASTHO (2011) e apresentadas na forma tabelar apenas em função da velocidade base da via sem prioridade.



(a) Triângulo de visibilidade para veículos vindo da esquerda (b) Triângulo de visibilidade para veículos vindo da direita

Figura 3.5: Triângulos visibilidade de partida (adaptado de AASTHO, 2011)

Para o cálculo dos triângulos de partida (ver Figura 3.5) a distância que vai do ponto D ao início da interseção tem de ser apenas suficiente para imobilizar o veículo fora da interseção. O manual AASTHO (2011) define o ponto de decisão D a 4,4m da estrada principal enquanto que a norma da JAE a 3m (ver Figura 3.5).

Para além dos triângulos de visibilidade já referidos, no caso de existir sinalização, tem de ser salvaguardada uma distância de visibilidade de sinalização, ou seja, na via sem prioridade deve ser possível visualizar o sinal a uma distância superior à distância de paragem da linha de paragem.

¹Esta expressão tem como premissa que os veículos se deslocam a 60% da velocidade de projeto na via

Capítulo 3. Soluções para interseções prioritárias com pistas cicláveis

Em suma, existem dois tipos de triângulos de visibilidade que podem ser considerados em interseções, sendo que a escolha do triângulo prende-se com sinalização a colocar no local. Quando a sinalização não exige a paragem obrigatória, é necessário garantir uma distância de visibilidade de paragem à interseção. Quando existe sinalização, o sinal deve conseguir ser visto a uma distância igual ou superior à distância de paragem na via secundária (ver Tabela 3.1).

Tabela 3.1: Requisitos em função da sinalização

Triângulos de visibilidade	Sinalização	Distâncias a conservar
Triângulo de aproximação	Sem sinalização	Distância de paragem à interseção
	Cedência de passagem	Distância de paragem à interseção Distância de sinalização
Triângulo de partida	Paragem obrigatória	Distância de sinalização

Com base nesta metodologia exposta é possível generalizar para uma interseção com topologia arbitrária.

Por forma a simplificar o cálculo, principalmente nos movimentos com maior complexidade de determinação (viragens), a norma AASTHO (2011) recomenda valores de tempo necessário para a realização da manobra t_g em função do veículo de projeto (ligeiro de passageiros, pesado não articulado ou pesado articulado) para cada movimento e sinalização (ver Tabela 3.2). Os valores de t_g são introduzidos diretamente na Expressão 3.1.

Tabela 3.2: Tempo de intervalo necessário para a manobra (AASTHO, 2011)

t_g (s)	Movimentos a partir da via secundária						Movimentos a partir da via principal
	Paragem obrigatória			Cedência de passagem			
	Cruzar a interseção	Viragem à esquerda	Viragem à direita	Cruzar a interseção	Viragem à esquerda	Viragem à direita	Viragem à esquerda
Ligeiro	6,5	7,5	6,5	depende da velocidade na via secundária	8	8	5,5
Passageiros					10	10	6,5
Pesado não articulado	8,5	9,5	8,5		12	12	7,5
Pesado articulado	10,5	11,5	10,5				

Nota: Tabela para estradas principais de duas vias uma em cada sentido;
Para sentidos com mais do que uma via - em viragens à esquerda adiciona-se 0,5 segundo para veículos ligeiros e 0,7 segundo para veículos pesados por cada via adicional;
Para aproximações à via principal com inclinações superiores a 3% - adiciona-se 0,1 segundos por cada grau acima de 3%.

3.3.2 Distância de Visibilidade em Interseções com pistas cicláveis

Para vias cicláveis, apenas o guia “Guide for the Development of Bicycle Facilities” (AASTHO, 2012) estabelece critérios para as distâncias de visibilidade necessárias. Essa quantificação é realizada para segmentos fora de interseções com a metodologia utilizada para a sinalização de cedência de passagem.

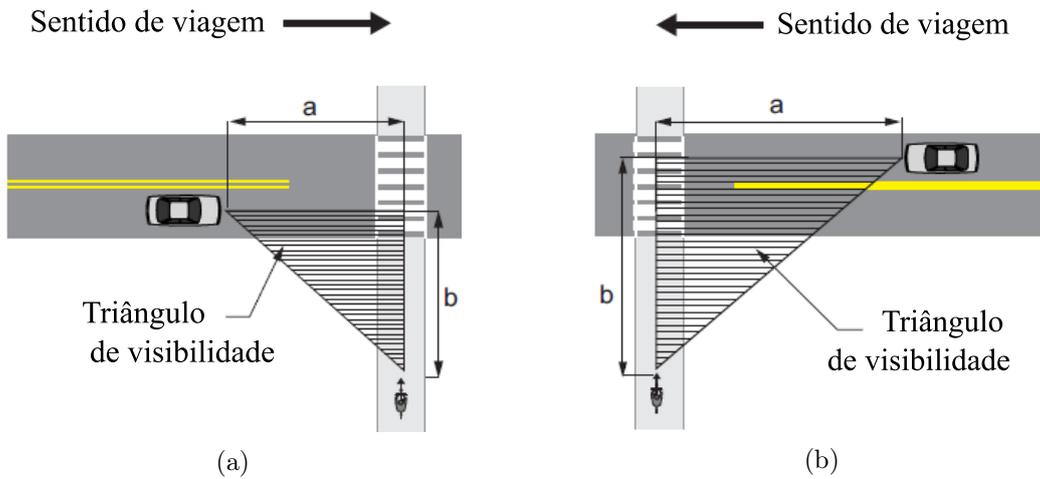


Figura 3.6: Triângulos visibilidade de aproximação com cedência de paragem para velocípedes (adaptado de AASTHO, 2012)

Procedimento de cálculo da distância a , de acordo com a Figura 3.6 uma metodologia semelhante à empregue nas Expressões 3.2 a 3.6:

1. Tempo que leva o velocípede até à interseção, t_b :

$$t_b = \frac{d_P}{0,278 \times V_{pista}} \quad (3.8)$$

2. Tempo que leva o velocípede a chegar e a passar a interseção, t_{g1} :

$$t_{g1} = t_b + \frac{w + L_{velo}}{0,278V_{pista}} \quad (3.9)$$

3. Para o cálculo da distância a , tem-se em consideração que t_{g1} tem de ser menor que o tempo que um veículo motorizado necessita para chegar ao ponto de conflito ($t_{estrada}$):

$$t_{g1} \leq t_{estrada} \quad (3.10)$$

$$a = 0,278 \times V_{estrada} \times t_{g1} \quad (3.11)$$

Em que,

d_P (m) - distância de paragem para velocípedes

$t_{estrada}$ - tempo que o veículo leva a percorrer distância a

V_{pista} (km/h)- velocidade de projeto da pista ciclável

$V_{estrada}$ (km/h) - velocidade de projeto da estrada

L_{velo} (m) - comprimento do velocípede

w (m) - comprimento da interseção

A via onde circulam os veículos motorizados é prioritária, pelo que não é necessário garantir a distância de paragem. Desta forma, considera-se apenas uma redução de velocidade na via prioritária, decorrente de uma desaceleração. O procedimento de cálculo da distância b , de acordo com a Figura 3.6 é o seguinte:

1. Tempo que leva o veículo até à interseção, considerando um desaceleração dos veículos na via principal, t_a :

$$t_a = \frac{0,278V_b - 0,278V_a}{a_B} \quad (3.12)$$

2. Tempo que leva o veículo a chegar e a passar a interseção considerando um redução de 40% na velocidade dos veículos na via principal, t_{g2} :

$$t_{g2} = t_b + \frac{w_c + L_v}{0,6 \times 0,278V_{estrada}} \quad (3.13)$$

$$(3.14)$$

3. Para o cálculo da distância b , tem-se em consideração que t_{g2} tem de ser menor que o tempo que um velocípede necessita para chegar ao ponto de conflito (t_{pista}):

$$t_{g2} \leq t_{pista} \quad (3.15)$$

$$b = 0,278 \times V_{pista} \times t_{g2} \quad (3.16)$$

Em que,

V_a (km/h) - velocidade do veículo antes de começar a travar

V_b (km/h) - velocidade do veículo depois de travar

V_{pista} (km/h) - velocidade de projeto da pista ciclável

a_B (m/s²) - desaceleração do veículo ao aproximar-se da interseção

L_v (m) - comprimento do veículo

w_c (m) - largura da pista

3.4 Soluções geométricas

As soluções geométricas apresentadas neste subcapítulo consistem na introdução de elementos de acalmia de tráfego, através da alteração de características do traçado, que visam aumentar o desconforto dos condutores para que os mesmos se vejam obrigados a ajustar a sua velocidade e nível de atenção às condições do local. A compatibilização do tráfego motorizado com os restantes modos é de especial relevância em meios urbanos devido à acrescida exposição dos utentes mais vulneráveis. No entanto, medidas de acalmia direcionadas a velocípedes podem também ser aplicáveis quando se verificarem velocidades e volumes elevados. Neste subcapítulo apresentam-se as medidas de acalmia de tráfego com aplicabilidade ao nível das interseções prioritárias nomeadamente as que atuam nas seguintes áreas: (i) alteração do alinhamento horizontal; (iii) alteração do alinhamento vertical; (iv) canalização de tráfego.

A aplicação destas soluções não deve ser feita apenas em locais pontuais mas sim estruturada em rede, por forma a não criar desequilíbrios e migração dos problemas para outros locais. As soluções apresentadas devem ser conjugadas por forma a criar soluções consistentes (INIR, 2011)

3.4.1 Alteração do alinhamento horizontal

Ao nível do alinhamento horizontal, o estreitamento de via é a medida de acalmia com maior aplicabilidade em interseções. Na Figura 3.7 são identificados os pontos mais relevantes a considerar nos estreitamentos nas entradas em interseções: (1) o estreitamento reduz a área de conflito entre os peões e os veículos, diminuindo também a dispersão de trajetórias; (2) o estreitamento favorece a diminuição da velocidade conseguindo-se que o condutor tenha um maior ângulo de visão (maiores velocidades estão associadas a um estreitamento do campo de visão); (3) é necessário ter em atenção objetos fixos que reduzam a visibilidade; (4) o InIR (2011) recomenda uma extensão mínima de 5 a 6m de estreitamento por forma a impossibilitar o estacionamento de veículos a uma distância tal que não afete a visibilidade; (5) devem considerar-se níveis de operacionalidade mínimos, por forma a evitar que os veículos pesados tenham de invadir as vias adjacentes para a execução da manobra de viragem, manobra que é apenas aceitável em condições excepcionais, nomeadamente caso se verifique pelo menos uma das seguintes condições (InIR, 2011): (i) TMDA < 500 veículos; (ii) VHP < 50 veículos; (iii) tráfego de pesados for inferior a 2%; (6) em relação aos raios de viragem, o InIR (2011) recomenda: (i) raios mínimos de 15m, em zonas em que o tráfego de pesados seja significativo; (ii) raios mínimos de 10m, em zonas urbanas onde a presença dos veículos longos é moderada; (iii) raios mínimos de 6m, onde a presença de veículos longos é quase negligenciável.

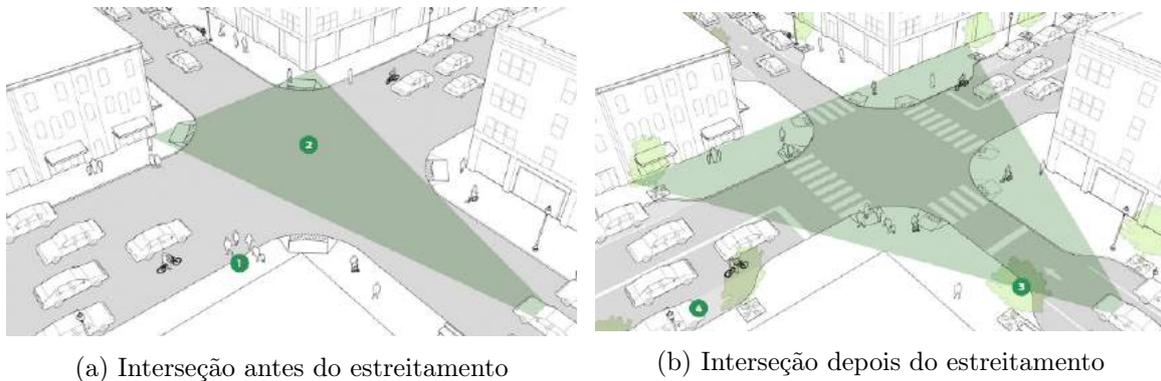


Figura 3.7: Estreitamento da faixa de rodagem (NACTO, 2014)

O guia IMTT(2011) evidencia a existência de duas soluções de realocização dos pontos de conflito no plano, uma que coloca a pista nas imediações da mesma e outra que visa o afastamento da pista ciclável da intersecção.

A solução de aproximação (ver Figura 3.8) pretende promover uma melhoria do contacto visual entre o ciclista e o condutor de veículos motorizados, sendo que a aproximação deve ser iniciada entre 15 e 25 metros antes da intersecção e afastada numa medida semelhante. A travessia deve ser assinalada no pavimento e a pista rebaixada no máximo de 2 cm ao nível da rodovia. A cedência de passagem por parte dos veículos da via secundária deve ser assinalada.

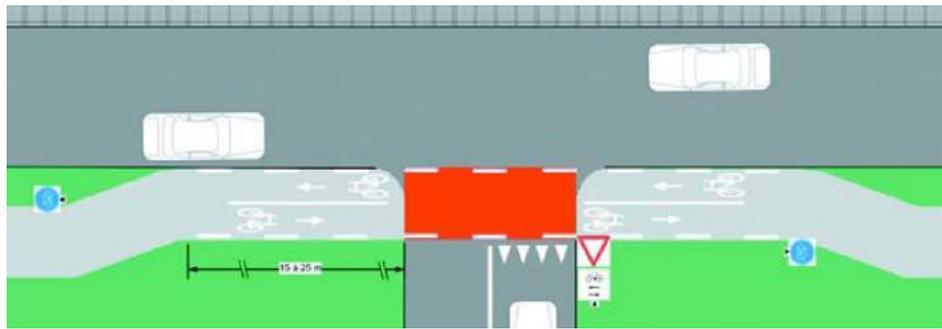


Figura 3.8: Solução de aproximação (Centre de Recherches Routières, 2009)

No caso de problemas de visibilidade, o guia aponta para uma solução de afastamento da pista da interseção (ver Figura 3.9) com uma distância mínima de 10m. O atravessamento da pista ciclável deve ser materializado através de linhas brancas descontínuas e a pista rebaixada ao nível da rodovia com um máximo de 2 cm. Neste caso, a prioridade deve ser retirada aos ciclistas e a sua cedência de passagem sinalizada.

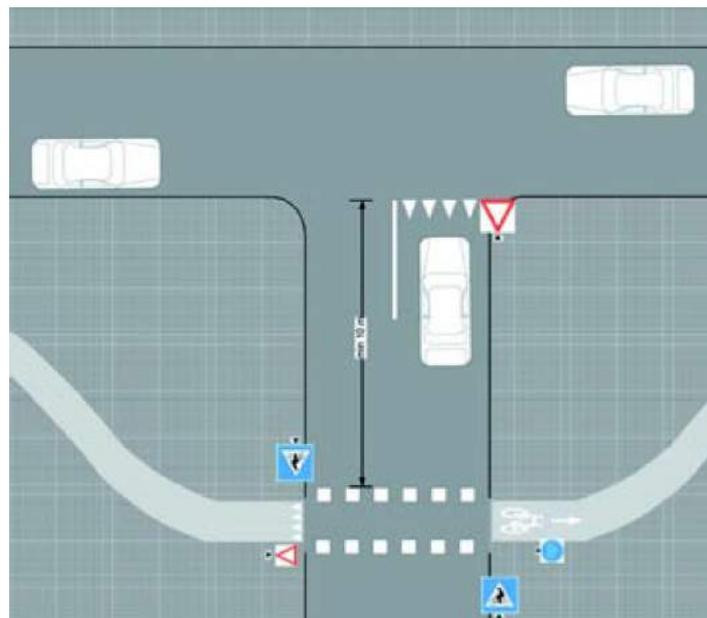


Figura 3.9: Solução de afastamento (Centre de Recherches Routières, 2009)

Esta solução pode ser integrada com o recomendado pelo Centre de Recherches Routières (2006) para atravessamentos pedonais por forma a ter em conta as necessidades dos invisíveis cujas orientações são de atravessar a estrada perpendicularmente ao lancil ou à marcação no pavimento. No caso de se optar por esta solução, passa a ser necessário marcar a passagem pedonal perpendicularmente ao percurso de acordo com a Figura 3.10.

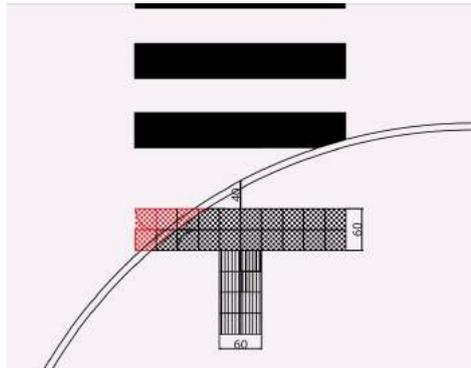


Figura 3.10: Marcação de passagem pedonal em curva (Centre de Recherches Routières, 2006)

O guia NACTO (2014) apresenta uma solução de junção da solução de aproximação da pista à rodovia com o conceito de faixa ciclável. Esta solução visa a eliminação da separação física da ciclovias aquando da aproximação à rodovia, pelo que proporciona maior visibilidade dos ciclistas perante os condutores (ver Figura 3.11). Esta solução é mais económica do que a sinalização semaforizada para ciclistas e mitiga o risco de embate aquando da viragem à direita. O guia CROW(1998) indica-a como uma boa opção para entrada em zonas de velocidade condicionada (*e.g.*, zonas 30) por forma a induzir a redução de velocidades e alertar os condutores para a mudança do sistema de prioridades.



Figura 3.11: Solução de eliminação da barreira física (NACTO, 2014)

3.4.2 Alteração do alinhamento vertical

Ao nível do alinhamento vertical, os sistemas de acalmia baseiam-se da criação de defleções verticais (alteração da cota do pavimento) ou introdução de sistemas de pré-aviso no pavimento (introdução de rugosidades).

Em relação a soluções que se materializem na alteração da cota do pavimento a sua implementação deve ser evitada quando a velocidade de circulação prevista for superior a 50 km/h. A sua aplicação pode ter efeitos não só ao nível da redução de velocidades de circulação mas também ao nível do controlo do volume de tráfego, levando os condutores a escolher novas rotas. A alteração da cota pode ser feita colocando os veículos motorizados ao nível dos peões ou colocando os velocípedes ao nível dos veículos motorizados apesar da solução que eleva o nível da ciclovias ser mais segura para os ciclistas (NACTO, 2014).

Capítulo 3. Soluções para interseções prioritárias com pistas cicláveis

A alteração da cota do pavimento rodoviário deve ser realizada em toda a interseção e zonas limítrofes com um nível muito próximo ao do passeio, mas ainda assim, inferior e o acesso à plataforma deve ser feito através de rampas (ver Figura 3.12 e Figura 3.13). Esta solução é recomendada para localizações com grande volume pedonal e ciclável, por melhorar a visibilidade de toda a interseção, e por poder ser um contributo para a redução de volumes de tráfego motorizado para além da inevitável redução de velocidades (InIR, 2011; NACTO, 2014).

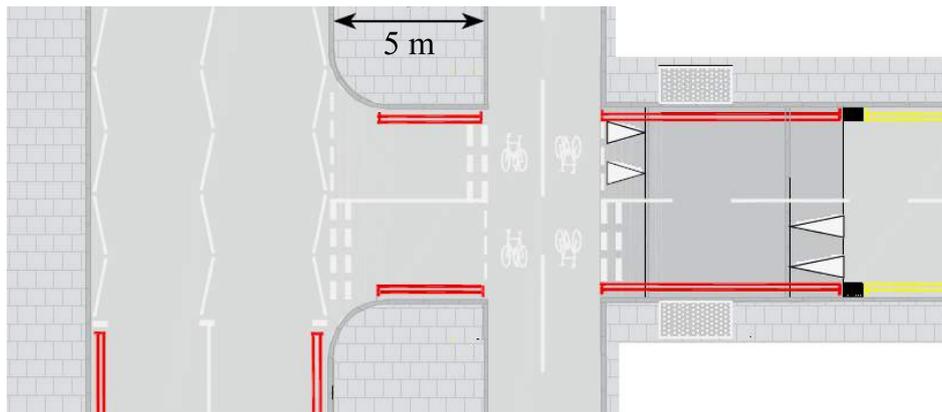


Figura 3.12: Interseção elevada (Transport for London, 2015)



(a) Interseção sem ilha central (Sustrans, 2014)



(b) Interseção com ilha central (Schepers et al., 2011)

Figura 3.13: Interseção elevada

No caso de se querer criar um desenho urbano orientado para a pedonalidade, a elevação da interseção pode ser complementada com o nivelamento de toda a via à nível do passeio (ver Figura 3.14). Todavia, esta solução acarreta elevados custos de construção e manutenção e provoca atrasos na deslocação dos veículos de emergência (InIR, 2011).

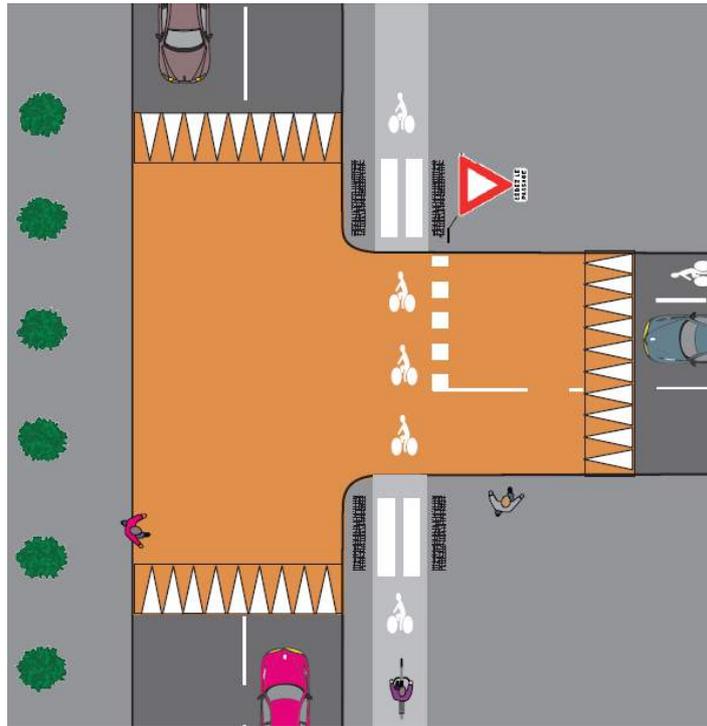
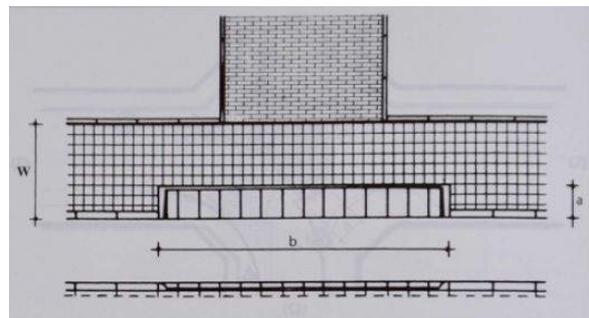


Figura 3.14: Interseção elevada em todos os ramos (CAPI, 2013)

Em cruzamentos de vias sem prioridade com ciclovias, os guias NACTO (2014) e CROW (1998) apresentam uma solução com pistas elevadas em que os ciclistas têm prioridade, fazendo com que os veículos que entram e saem da rodovia diminuam a sua velocidade por força da elevação do cruzamento (ver Figura 3.15a). Esta solução configura uma simplificação da interseção apresentada na Figura 3.12 e coloca os veículos que entram na estrada com prioridade em cima da ciclovia, aquando da decisão. A largura da rampa (indicada na Figura 3.15b como b) depende do espaço de manobrabilidade necessário e do comprimento da rampa, que deve estar situado entre 0,5 e 0,8 m (CROW, 1998).



(a) Perspectiva (NACTO, 2014)



(b) Planta (CROW, 1998)

Figura 3.15: Interseção elevada simplificada

Na Figura 3.16 apresentam-se duas soluções menos usuais referidas no manual Sustrans (2014). A Figura 3.16a apresenta um desnível com a forma de um quarto de círculo que permite a transição da ciclovia para a interseção na zona da curva. A Figura 3.16b apresenta uma

entrada para ciclistas na ciclovia por forma a que possam passar a interseção com segurança.



(a) Desnível em curva, Manchester, Inglaterra



(b) Entrada em pista para ciclista, Glasgow, Inglaterra

Figura 3.16: Soluções (Sustrans, 2014)

3.4.3 Canalização de tráfego

As soluções baseadas na canalização do tráfego são realizadas com base na implantação de separadores e ilhéus (direcionais ou separadores) que encaminham o tráfego segundo as rotas desejadas. Estas soluções têm como objetivo aumentar os níveis de desempenho e segurança da interseção e podem ser garantidas através: da diminuição das áreas de conflito, da separação espacial dos pontos de conflito, da orientação dos veículos segundo ângulos apropriados, da redução de velocidades e da redução de movimentos de infração. Estas soluções têm como grande limitação a necessidade de espaço de implantação e devem ser apenas consideradas quando o TMDA for superior a 300 veículos nos 2 sentidos para interseções novas e inferior a 500 para existentes. A Figura 3.17 apresenta recomendações para a escolha da medida de canalização de tráfego em função do TMDA das vias principal e secundária (Silva et al., 2008).

A introdução de separadores pode ser justificada pela necessidade de afastar fluxos de tráfego que circulem em direções opostas, seja porque as suas velocidades são elevadas ou porque os seus volumes o são. Os ilhéus separadores colocam-se entre dois sentidos de tráfego e a sua adoção justifica-se quando existem fluxos significativos de veículos para viragem à esquerda, quando o volume de tráfego pedonal é considerável, ou quando a distância de atravessamento é elevada. Os ilhéus direcionais utilizam-se por forma a orientar o tráfego em viragens fazendo uma separação entre os veículos que pretendem virar e os que pretendem continuar em frente (Silva et al., 2008).

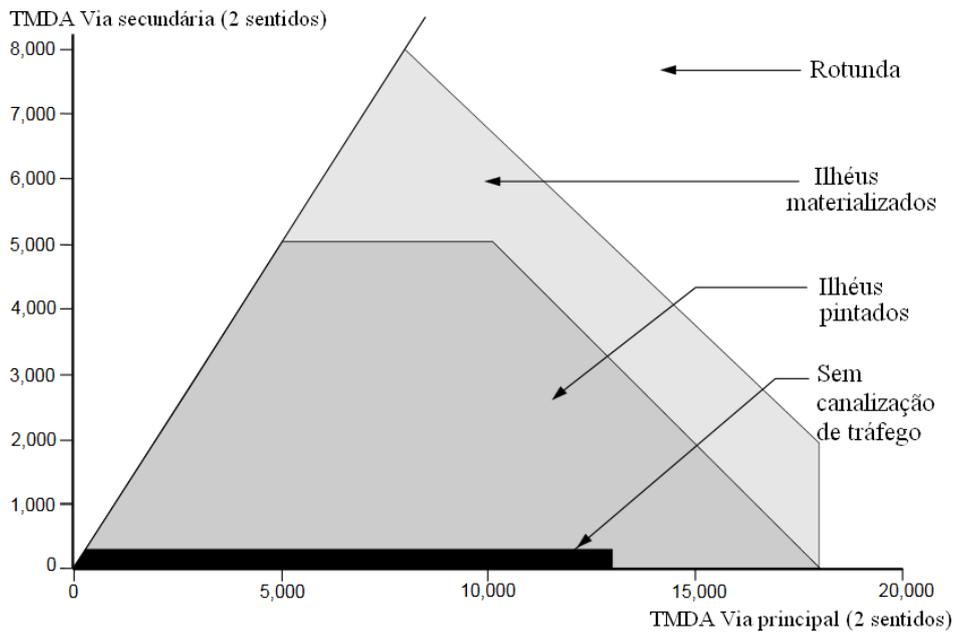


Figura 3.17: Gráfico auxiliar de escolha de medida de canalização de tráfego mais adequada (adaptado de Silva et al., 2008)

As soluções adequadas a velocidades mais baixas passam apenas pela marcação horizontal no pavimento dos ilhéus e separadores e para velocidades mais elevadas e condições mais exigentes, a solução recomendada consiste na materialização física dos ilhéus e separadores e na introdução de sistemas semaforizados (Silva et al., 2008).

Deve ser considerada uma sobrelargura L no caso da curva de concordância ter um raio, R , inferior a 25m, ou seja, junto às interseções com um raio de viragem inferior a 25 m a largura deve ser aumentada em:

$$L = 3,5 + 55/R \tag{3.17}$$

Por sua vez, todos os ilhéus devem ter em consideração a existência de peões e ter uma largura mínima de 2,5m para servir de refúgio a ciclistas (AASTHO, 2012).

A solução de interseção protegida (ver Figura 3.18) configura uma solução em que existe uma separação entre os velocípedes e os veículos motorizados e assenta na introdução de ilhéus com a função separadora e direcional (ilhéus de proteção) na viragem à direita. Esta solução é usualmente introduzida com recurso a sinalização semaforizada por forma a separar temporalmente os movimentos (Transport for London, 2015).

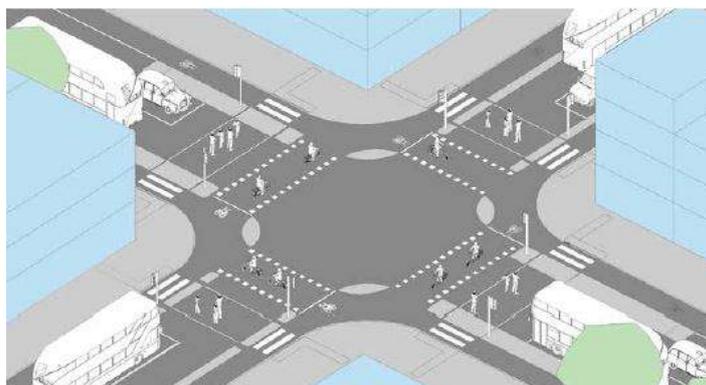


Figura 3.18: Interseção Protegida (Transport for London, 2015)

Soluções de acalmia direcionadas a alertar os ciclistas para a existência de uma intersecção podem passar pela colocação de marcas tácteis de aproximação, balizas flexíveis nas intersecções ou pela coloração do pavimento que permite a diferenciação do local de passagem dos ciclistas (NACTO, 2014; IMTT, 2011).

3.5 Sinalização de alerta

Os “Equipamentos de Informação Ativados pelos Veículos” são equipamentos ativados pela passagem dos veículos. Estes equipamentos são constituídos por painéis eletroluminescentes que têm a possibilidade de exibir de forma automática inscrições e símbolos (de acordo com o regulamento de sinalização de trânsito). Os referidos equipamentos servem como complemento à sinalização vertical por forma a melhorar a perceptibilidade da informação e o grau de alerta dos utentes. Devem ser encarados como soluções de recurso quando tenha sido comprovado que a sinalização vertical não é eficaz. Estes dispositivos apresentam uma perda de efeito com a utilização recorrente (ANSR, a).

Apresentam-se como características técnicas desta solução: superfície escura e devem conter mais 2 luzes de aviso e/ou texto máximo de 2 linhas (de acordo com a Ficha técnica da ANSR). O painel é ativado pela passagem de veículos, sendo que a mensagem permanece o tempo necessário para a sua leitura. A sua instalação necessita de autorização das entidades competentes. A Figura 3.19 exemplifica um possível sinal de alerta para condutores de uma passagem de ciclistas, utilizando o sinal *A17*.



Figura 3.19: Sinal de alerta para condutores se veículos motorizados

À semelhança do que é utilizado para identificação de veículos motorizados, podem ser introduzidas espiras (laços indutivos) no pavimento (ver Figura 3.20). Apesar do custo ser relativamente reduzido quando comparado com as restantes soluções tecnológicas, estes dispositivos têm como desvantagens o facto de apenas conseguirem identificar os ciclistas que circulam na sua área de atuação (o que nem sempre acontece) e não identificarem de forma fiável bicicletas em fibra de carbono (NACTO, 2014; Ryus et al., 2014).



Figura 3.20: Laços indutivos para identificação de velocípedes (NACTO, 2014)

O uso de ferramentas tecnológicas veio criar novas possibilidades ao nível da deteção e alerta como a identificação vídeo e térmica.

A identificação vídeo faz-se utilizando ferramentas que detetam objetos em movimento e os caracterizam pela sua dimensão. Apesar de haver um grande campo de investigação já a desenvolver algoritmos de identificação, este processo necessita de boas condições de luminosidade para funcionar, o que limita a sua utilização como sistema de alerta.

Na Nova Zelândia foi implementado um sistema inovador de deteção de ciclistas através de câmaras térmicas que identifica os ciclistas e aciona um sinal luminoso para aviso dos

Capítulo 3. Soluções para interseções prioritárias com pistas cicláveis

condutores (ver Figura 3.21). Esta solução consegue captar a presença de velocípedes fora de pista e releva induz uma maior fiabilidade que a solução de identificação vídeo (FLIR, 2012).



Figura 3.21: Imagem do sistema de captação térmica (FLIR, 2012)

Capítulo 4

Métodos de análise de interseções com vias cicláveis

4.1 Introdução

A análise do funcionamento de uma interseção é usualmente realizada através da caracterização dos volumes de tráfego, das velocidades de circulação, das trajetórias, dos conflitos e da sinistralidade rodoviária.

Neste capítulo são apresentadas sumariamente técnicas utilizadas para estudar interseções no âmbito da segurança rodoviária com aplicabilidade a interseções com infraestruturas cicláveis. Sendo que, no subcapítulo 4.2 apresenta-se a análise nos conflitos de tráfego, no subcapítulo 4.3 os volumes de tráfego, no subcapítulo 4.4 nas trajetórias e no subcapítulo 4.5 nas velocidades de circulação.

4.2 Estudo dos conflitos de tráfego

A avaliação tradicional na segurança rodoviária é feita com base nos dados de sinistralidade. Estes dados são em Portugal registados por parte das entidades fiscalizadoras (GNR e PSP) através do preenchimento do “Boletim Estatístico de Acidente de Viação (BEAV)” que retrata os principais aspetos do acidente. O mesmo deve ser preenchido sempre que o acidente tenha ocorrido numa via pública ou equiparada, com pelo menos um veículo em movimento, e deste tenham resultado vítimas, feridos ou danos materiais (ANSR, b). Desta forma, o BEAV possui uma grande abrangência na identificação do acidente, das circunstâncias, da natureza, dos veículos, dos condutores e das consequências.

Dentro do domínio das circunstâncias relativas a velocípedes, o BEAV identifica e diferencia a existência de velocípedes, com e sem motor, e em relação à situação do acidente prevê que o acidente tenha acontecido em pista ou via reservada. Não existe nenhum esquema que retrate um acidente que decorra do atravessamento da faixa de rodagem por uma pista reservada a velocípedes com mudança de direção do veículo.

O BEAV foca-se em parâmetros genéricos por forma a facilitar tratamento estatístico e não caracteriza os comportamentos que precederam o acidente. Na realidade verifica-se que são os acidentes com vítimas aqueles que apresentam a maior cobertura de registo, pois no caso dos acidentes só com danos materiais, as entidades policiais não são necessariamente chamadas a intervir. O número de acidentes não reportados aumenta com a diminuição da

gravidade e com a diminuição do número de utentes (*e.g.*, acidentes com um único velocípede são raramente reportados)(Elvik e Mysen, 1999).

Acidentes são acontecimentos raros e são necessários dados de pelo menos 3 anos para tornar os dados fiáveis, pelo que podem nem sempre ser um indicador fiável na identificação de pontos negros da sinistralidade rodoviária (Seco et al., 2008). De acordo com a mesma fonte, o uso dos números de sinistralidade como indicador rodoviário é de certa forma contraproducente por se basear na ocorrência de eventos que se pretende evitar.

O estudo dos conflitos de tráfego, através de Técnicas de Conflitos de Tráfego (TCT) surge como um complemento ao estudo dos acidentes rodoviários. Estas técnicas foram desenvolvidas por forma a analisar situações de interação entre os utentes rodoviários permitindo estudar o processo de aproximação ao acidente. Uma vez que o número de conflitos tende a ser substancialmente superior ao número de acidentes estas ferramentas de estudo podem ter diversos objetivos, tais como: a caracterização das condições de insegurança; a identificação de “deficiências operacionais” no sistema de tráfego e a avaliação do impacte de medidas corretivas em traçados rodoviários.

A aplicação dos conflitos de tráfego considera as seguintes hipóteses fundamentais: (i) a génese de um conflito é a mesma dos acidentes; (ii) o limiar do perigo é suficientemente perceptível pelo utente permitindo estabelecer uma relação entre o número de conflitos e colisões (Cardoso, 1992).

Perkins e Harris (1968) definem um conflito de tráfego como “qualquer situação de potencial acidente, levando à ocorrência de ações evasivas como travar ou desviar”. Considerando esta definição, a manobra de emergência tem de constituir uma rutura visível na continuidade do trajeto.

A análise dos conflitos de tráfego consiste na observação, recolha e avaliação da frequência e gravidade dos conflitos numa interseção. O conceito teve diversas abordagens em vários países que variam essencialmente no método de recolha de dados (número de observadores e duração das observações) e na classificação da gravidade (escalas de gravidade). Algumas escalas já incluem a existência de conflitos ligeiros que se traduzem na mudança de trajetória antecipada de um ou mais intervenientes, enquanto outras os colocam abaixo do limiar necessário para o registo. As técnicas evoluíram também no sentido da caracterização da gravidade através de parâmetros que representam as relações de proximidade (física e temporal) entre os utentes. Seguidamente apresentam-se as técnicas estudadas (Cardoso, 1992):

- Na abordagem sueca, a identificação de conflitos graves baseia-se na relação “Tempo inicial até acidente/Velocidade de conflito” e na sua localização face à curva de nível de gravidade uniforme (curva que identifica também um “limiar de registo” que separa os “conflitos” dos “encontros”). Dentro dos conflitos graves, a escala de graduação da gravidade é dada em função da distância de uma curva perpendicular à curva de nível de gravidade uniforme.
- Na técnica holandesa “DOCTOR”, a gravidade é dada segundo uma escala de gravidade crescente de 1 a 5 que tem em conta a probabilidade de ocorrência e da gravidade potencial do acidente, caso este tivesse ocorrido.
- Na técnica finlandesa os conflitos são separados em: conflito sério que ocorre quando toda a manobra evasiva se dá com um carácter descontrolado, conflito potencial em que os utentes ajustam as suas velocidades antecipadamente porém um destes não realizou a manobra acertada e o encontro quase que se transforma num conflito sério e conflitos simples em que os utentes ajustam as suas velocidades antecipadamente.

Apesar da variação nas escalas de gravidade, é possível distinguir 3 patamares de conflitos que se repetem em várias escalas: (i) conflito que quase ocorreu; (ii) conflito com algum potencial de ocorrer mas que foi evitado antecipadamente; (iii) conflito com baixa probabilidade de ocorrer pois as ações para o evitar foram tomadas num momento muito precoce.

Para cada conflito é preenchida uma folha de registo em que se registam: a hora da ocorrência, a descrição esquemática do conflito, a velocidade e distâncias, o tipo de veículos, o tipo de manobras e a classificação do conflito (Cardoso, 1992).

As técnicas mais recentes incluem a gravação de imagens e o posterior tratamento por programas especializados. Estas apostam em algoritmos desenvolvidos para registar trajetórias que possibilitam o cálculo de parâmetros com aplicabilidade ao nível das técnicas de conflitos de tráfego (St-Aubin et al., 2015).

Foram conduzidos diversos estudos por forma a analisar o tipo de conflitos para diferentes infraestruturas, utentes e condições meteorológicas, sendo os mais relevantes apresentados na continuação deste subcapítulo.

Phillips et al. (2011) analisaram a alteração das interações entre velocípedes e veículos na Noruega numa interseção prioritária para 2 meses, 4 anos e dez anos após a construção de um pista ciclável através da análise de imagens vídeo. Os resultados deste estudo mostraram uma adaptação gradual dos utentes à existência da pista tendo aumentado a percentagem de veículos a ceder a passagem a ciclistas e diminuído a percentagem de conflitos.

Schleinitz et al. (2015) identificaram conflitos a partir da monitorização das velocidades, distâncias e horas dos percursos de 28 ciclistas e constataram que cerca de metade dos participantes se viram envolvidos em eventos críticos durante o período de monitorização. Dos conflitos identificados, 43% envolveram veículos motorizados, sendo que os restantes se verificaram com outros velocípedes ou peões. Tendo em conta a exposição, foram hierarquizados os conflitos reativos a cada tipo de infraestrutura, constatando-se que o maior número de conflitos entre veículos e velocípedes ocorreu na estrada, e que em infraestruturas cicláveis houve maior número de conflitos de velocípedes entre si do que entre veículos motorizados e velocípedes.

Li et al. (2015) estudaram a interação entre ciclistas e peões numa intersecção, através do processamento de imagens de vídeo captadas dentro de um *campus* universitário. Foram relacionados diferentes volumes e velocidades em interações entre peões e velocípedes e a relação das interações com o nível de serviço através da percentagem de conflito e interação (encontro).

4.3 Caracterização dos volumes de tráfego

A caracterização dos volumes de tráfego tem como objetivos a previsão da procura, bem como a classificação da importância relativa entre os vários movimentos (JAE, 1990). O volume de tráfego representa o número de veículos que circulam num determinado ponto da via por unidade de tempo. O fluxo de tráfego não é habitualmente uniforme, variando não só no tempo e no espaço, como também nas características individuais dos condutores. Porém, é possível constatar que há um grande número de condutores que apresentam comportamentos semelhantes, pelo que é possível considerar cada indicador na caracterização dos fluxos de tráfego (Silva et al., 2008).

Em fase de planeamento recorre-se habitualmente ao tráfego médio diário anual TMDA, que consiste na média anual dos volumes de tráfego medidos num determinado local durante 365 dias em ambos os sentidos. Vários estudos recentes têm-se debruçado sobre os volumes de

tráfego para veículos não motorizados, especialmente velocípedes. Uma grande parte desses estudos foca-se em estimar o TMDA com base em contagens de curta duração por meio do cálculo de fatores de ajustamento (*e.g.* El Esawey, 2014; Miranda-Moreno et al., 2013; Nordback et al., 2013).

A partir da utilização de contagens contínuas podem obter-se informações acerca da flutuação do tráfego ao longo dos dias, semanas e meses, o que permite calcular um TMDA de referência, $TMDA_{ref}$, para o local (Ryus et al., 2014).

Na impossibilidade de realizar contagens contínuas, recorre-se muitas vezes a contagens de curta duração, que são utilizadas na obtenção de estimativas de TMDA. Estas contagens podem ser apoiadas em contagens contínuas para a identificação de fatores de expansão. Por meio destes fatores corrige-se individualmente a variação mensal F_{Mi} , diária F_{Di} e horária F_{Hi} . Complementarmente, devem-se considerar também fatores de crescimento de tráfego. O procedimento de cálculo parte das contagens contínuas com as quais se calculam os fatores de expansão (ver Expressões 4.1 a 4.3) que são multiplicados pelo volume de tráfego recolhido para se chegar a um TMDA estimado (ver Expressão 4.4) (Ryus et al., 2014).

$$F_{Mi} = TMDA_{ref}/TMDMx \quad (4.1)$$

$$F_{Di} = TMDA_{ref}/TMDy \quad (4.2)$$

$$F_{Hi} = TMDA_{ref}/TMHz \quad (4.3)$$

$$TMDA_{estimado} = V_j \times F_{Mi} \times F_{Di} \times F_{Hi} \times Ci \quad (4.4)$$

Em que,

V_j - volume de tráfego (por eixos) localização j

F_{Mi} - fator de ajustamento mensal para o grupo de estradas i

F_{Di} é o fator de ajustamento diário para o grupo de estradas i

F_{Hi} é o fator de ajustamento diário para o grupo de estradas i

Ci é o fator de crescimento de tráfego para um grupo de estradas i

$TMDA_{ref}$ - Tráfego médio diário anual de referência

$TMDMx$ - Tráfego Médio Diário Mensal para um mês genérico x

$TMDy$ - Tráfego Médio Diário para um dia genérico y

$TMHz$ - Tráfego Médio Horário para uma hora genérica z

Os fatores de expansão traduzem padrões de comportamento dos utilizadores da ciclovia. Um padrão de utilização utilitário caracteriza-se pela existência de dois picos acentuados de volume de tráfego em dias úteis (início da manhã e fim da tarde) e ao fim de semana um aumento de volume mais gradual com pico durante o período de início da tarde. Um padrão de utilização recreacional caracteriza-se por ter um pico durante o meio do dia nos dias úteis e um padrão semelhante durante o fim de semana. A junção destes padrões de utilização dá origem a padrões mistos, denotando-se sempre uma maior incidência para deles (ver Figura 4.1) (Miranda-Moreno et al., 2013; Nordback et al., 2013).

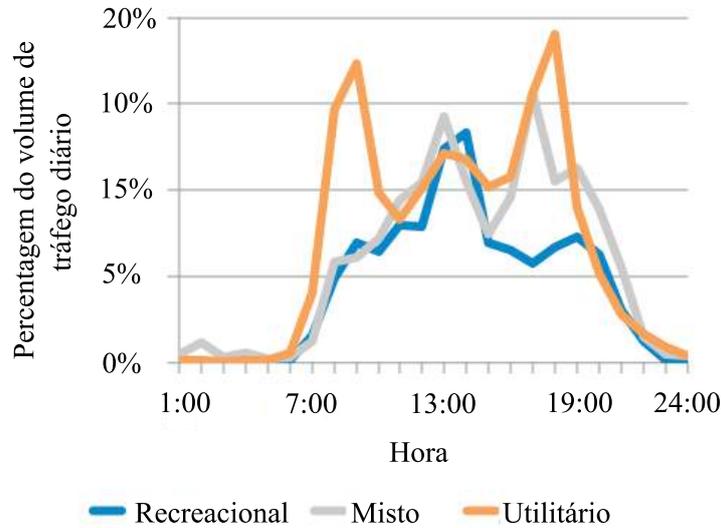


Figura 4.1: Padrões de comportamento de ciclistas (adaptado de Nordback et al, 2013)

O estudo da distribuição dos volumes numa rede pode constituir uma alternativa viável para estimar o volume em vias onde esse valor não é conhecido. El Esawey et al. (2015) desenvolve um modelo de volumes de tráfego ciclável para a cidade de Vancouver no Canadá com base nos fatores de ajustamento apresentados por El Esawey (2014). O cálculo destes fatores teve por base contagens de mais de 810 000 horas entre 2005 e 2011 através de laços indutivos indutivos em 12 pontos da cidade.

É consensual que o volume de velocípedes é fortemente influenciado por fatores meteorológicos, pelo que diversos estudos correlacionam estes fenómenos com volumes de tráfego. O número de ciclistas diminui com condições meteorológicas adversas e os seus efeitos podem fazer-se sentir mesmo nos dias subsequentes ao fenómeno (Ryus et al., 2014). O volume de tráfego pode variar consideravelmente ao longo do dia, formando geralmente picos respeitante aos movimentos pendulares casa-trabalho em direções opostas. As estradas devem estar concebidas por forma a servirem estes períodos de ponta de forma eficientemente. Assim, torna-se necessário caracterizar a hora de maior volume de tráfego, a ponta horária (Silva et al., 2008).

Em fase de projeto é habitual considerar-se o volume horário de projeto (VHP), correspondente ao volume da 30ª hora de ponta por sentido. Este volume horário está relacionado com a capacidade da via (JAE, 1990).

A ponta horária pode ser estimada através das projeções de volumes diários recorrendo para tal a uma constante que traduza a proporção do volume de ponta em relação ao tráfego diário e a outra que traduza a proporção do volume de tráfego na direção principal durante a hora de ponta (Costa e Macedo, 2008).

$$VHP = TMDA \times k_1 \times k_2 \quad (4.5)$$

Sendo,

VHP - Volume horário de projeto (veículos/h);

$TMDA$ - Tráfego médio diário anual (veículos/dia);

k_1 - Fração do TMDA que ocorre na hora de ponta;

k_2 - Fração do tráfego da hora de ponta correspondente ao sentido mais carregado.

A flutuação dentro de cada hora pode ser também relevante para a consideração de congestionamentos. Os volumes observados por períodos inferiores a uma hora são definidos como “débitos”. A instabilidade dos valores de débitos obtidos, em especial para volumes mais baixos, pode tornar a leitura gráfica bastante difícil (Costa e Macedo, 2008).

A grande parte dos estudos sobre volumes de tráfego ciclável foram realizados para cidades da América do Norte. Não sendo conhecidos estudos para determinar tráfego diário anual de ciclistas em cidades portuguesas as conclusões são difíceis de extrapolar.

4.4 Caracterização das trajetórias

A relevância do estudo das trajetórias prende-se com a necessidade de comparar as trajetórias verificadas *in situ* com as trajetórias de projeto, descritas nos manuais da especialidade, e que são a base para o traçado das vias.

Refere-se um estudo desenvolvido em Amsterdão e Copenhaga onde se identificaram as trajetórias reais de ciclistas em interseções de elevado volume de tráfego ciclável por forma a comparar os comportamentos reais com os comportamentos tipificados. Tendo em vista esse objetivo, os ciclistas foram agrupados em três categorias: (i) “conformistas”, ciclistas que cumprem as regras formais e as rotas destinadas; (ii) “monumentalistas”, ciclistas que seguem a sua própria rota mas que adaptam o comportamento por forma a evitar situações perigosas e conflitos; (iii) “retalhistas”, ciclistas que ignoram as regras formais e que causam conflitos com os restantes. Este estudo concluiu que apesar de grande parte dos ciclistas seguirem a rota convencional, pertencem ao grupo dos “conformistas”; há uma percentagem considerável que escolhe não seguir as regras, pertencendo ao grupo dos “monumentalistas” ou “retalhistas”, em proporções idênticas (Copenhagense Design Co, 2014). Este estudo permitiu concluir também que o número de ciclistas em transgressão tende a ser maior quando há congestionamento das vias.

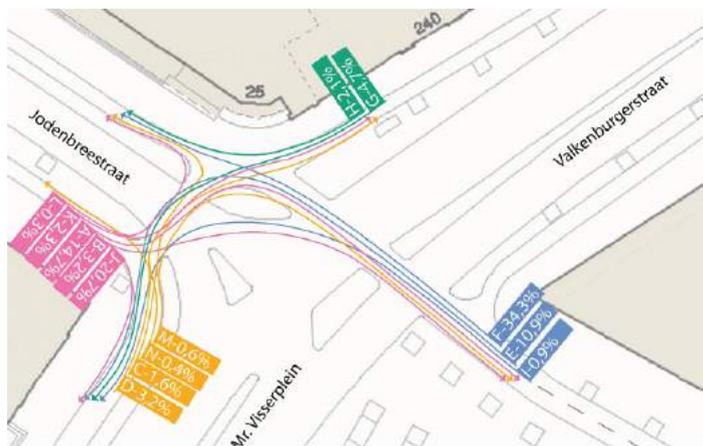
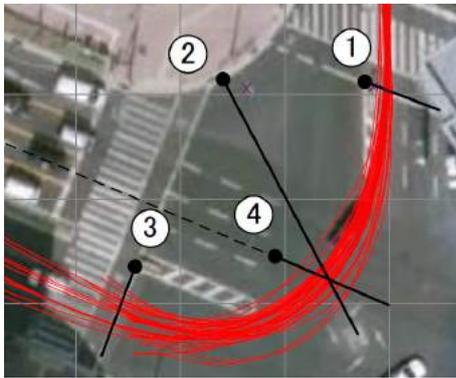


Figura 4.2: Linhas indicativas de percentagens das trajetórias de ciclistas numa interseção (Copenhagense Design Co, 2014)

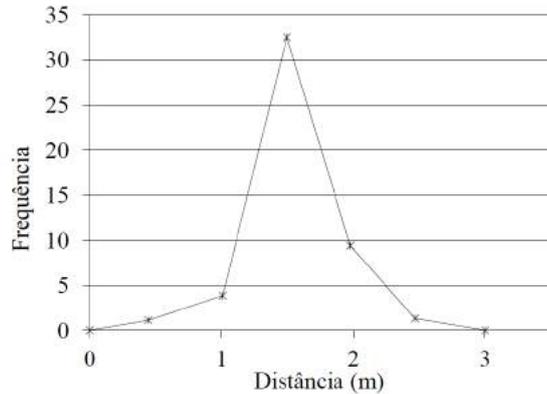
Com o objetivo de criar uma metodologia para estudar a gama de trajetórias em viragens em interseções semaforizadas para veículos motorizados, Alhajyassen et al. (2011) estudaram interseções semaforizadas no Japão, com distintas configurações geométricas (ângulos de viragem, ângulos de intersecção, distâncias entre a passadeira e a intersecção) e registaram a distância a pontos fixos (ver Figura 4.3).

4.5. Caracterização das velocidades de circulação

Adaptando para os sentido de circulação utilizados em Portugal, concluiu-se que as trajetórias associadas à manobra de viragem à direita dependem do ângulo de intersecção, do ângulo de curvatura, do número de vias de saída, do tipo de veículo e da velocidade de aproximação. Por sua vez, as trajetórias de viragem à esquerda dependem do ângulo de intersecção, do número de vias e da velocidade de circulação.



(a) Pontos fixos



(b) Distribuição das distâncias registadas ao ponto 1

Figura 4.3: Caracterização das trajetórias através da distância a pontos fixos (adaptado de Alhajyassen et al., 2011)

4.5 Caracterização das velocidades de circulação

No âmbito do modo ciclável, salientam-se dois métodos de estudo diferenciados para a caracterização das velocidades de circulação: (i) os métodos de medição num local fixo ao longo do tempo, em que o equipamento é instalado num local específico e são recolhidas as velocidades dos veículos que passam no seu raio de ação, sendo que estes estudos podem contar com recolha de dados em diversos locais; (ii) os métodos *naturalistas*, em que o equipamento que regista a velocidade é instalado no veículo em estudo, sendo recolhidos os dados ao longo de um percurso. Devido ao método de recolha de dados, os métodos de observador móvel são geralmente utilizados na caracterização da variação da velocidade e aceleração ao longo de percursos por diversos utentes.

É usual caracterizar-se a distribuição das velocidades e acelerações em pista, viragem, atravessamento e aproximação, tanto para bicicletas convencionais como para bicicletas elétricas. É possível diferenciar dois ramos de estudo: um foca-se na obtenção de distribuições das velocidades de circulação não impedida¹, com o objetivo de obter as estatísticas “média”, “percentil 85” e acelerações e o outro que se destina a obter a evolução da velocidade e da aceleração ao longo de um percurso. Os estudos considerados relevantes nesta área apresentam-se no decorrer deste subcapítulo.

Pein (1997) caracterizou velocidades e acelerações médias para cruzamentos com diferentes dimensões. Foram recolhidos os tempos de atravessamento em 16 interseções para os casos em que o ciclista efetuou uma paragem antes do atravessamento por forma a correlacionar o tempo de atravessamento com a distância percorrida através de uma regressão linear.

¹“Velocidade não impedida - velocidade a que circulam os condutores (em retas e em curvas) sob condições de baixo volume de tráfego, sem condicionantes devidas aos outros condutores” (Almeida Roque, 2010).

Figliozzi et al. (2013) criaram uma metodologia para estimar a aceleração e a velocidade de ciclistas em interseções, que consiste em: (i) dividir a interseção em dois trechos de comprimentos conhecidos e semelhantes; (ii) comparar os tempos de atravessamento nos 2 trechos por forma verificar em que trecho o ciclista é atingida a aceleração máxima; (iii) consoante o trecho em que é atingida a aceleração máxima, aplicar as fórmulas cinemáticas correspondentes por forma a calcular a aceleração e velocidade.

Rubins and Handy (2005) correlacionaram a distribuição de velocidades com o comprimento da interseção e com o comportamento de aceleração. Fizeram-no verificando se o ciclista estava a pedalar, a pedalar levemente ou se não estava a pedalar na passagem pela interseção.

Na Figura 4.4 apresentam-se perfis típicos de aceleração e desaceleração. Baseiam-se na função polinomial da aceleração de Akçelik e Biggs (1987) indicada na Expressão 4.6.

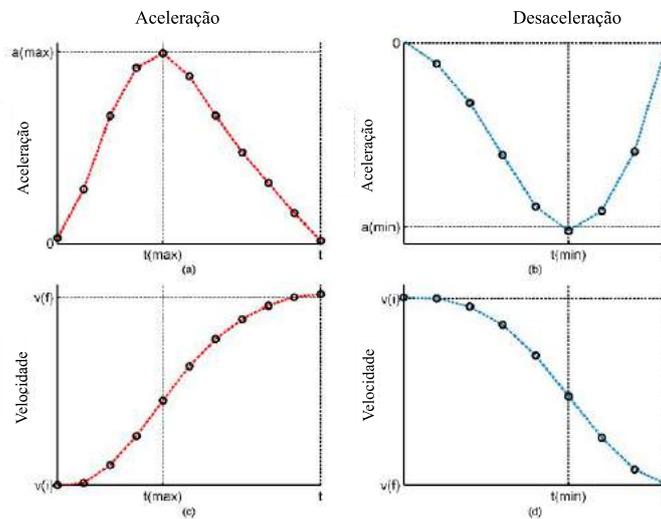


Figura 4.4: Perfis típicos de aceleração e velocidade (adaptado de Luo, 2014)

$$a(t) = Ra_m \theta^n (1 - \theta^m)^2 \quad (4.6)$$

Em que,

$a(t)$ - aceleração em função do tempo;

a_m - aceleração máxima;

θ - rácio de tempo, t/t_a ;

t_a - tempo de aceleração;

m, n - parâmetros a ser determinados ($n > 0$; $m > -0,5n$);

R - parâmetro que depende de m e n .

Esta função satisfaz as seguintes condições:

1. aceleração inicial igual a zero, $a(t=0)=0$
2. aceleração inicial final a zero, $a(t = t_{final})=0$
3. variação da aceleração inicial igual a zero, $da/dt (t=0)=0$

4.5. Caracterização das velocidades de circulação

4. variação da aceleração final igual a zero, $da/dt (t = t_{final})=0$

Luo (2014) parametrizou modelos matemáticos, com base na Expressão 4.6, para traduzir a aceleração de ciclistas e comparou-os com dados observados através de uma bicicleta instrumentada com GPS. Na opinião do autor da presente dissertação, a relevância do estudo de Luo prende-se com a necessidade de perceber o andamento da curva de velocidades na aproximação a interseções.

Alhajyassen et al. (2012) caracterizaram a variação da velocidade em movimentos de viragem para diferentes configurações geométricas, estudando o impacto na velocidade da existência de peões a atravessar a passadeira, localizada logo a seguir à curva. A variação da velocidade em função do tempo para o movimento de viragem referido apresenta-se na Figura 4.5 a pela sua análise é possível perceber que a realização da manobra leva a uma desaceleração gradual por parte do condutor. O veículo começa por deslocar-se a uma velocidade inicial ($v_{entrada}$) e essa diminui ao realizar a manobra, acautelando a necessidade de paragem. Prevendo o momento de chegada do peão à passadeira (mais uma margem de segurança) o condutor consegue avaliar a necessidade de paragem. Desta forma, a partir do momento que o condutor assume que não há perigo de colisão, a sua velocidade pode voltar a aumentar. Quanto mais tarde for a decisão de voltar a aumentar a velocidade (momento marcado na Figura 4.5 com t_1 , t_2 e t_3 para as diferentes curvas) mais baixa será a velocidade com que chega à passadeira.

Analisando as situações de interação veículo/peão possíveis (não haver interação, não estar na rota de colisão ou estar em rota de colisão) destacam-se 3 tipos de perfis velocidade/tempo: (i) o perfil livre onde a velocidade do veículo não é condicionada por outros utentes ou mudança de fase na sinalização luminosa, sendo que o veículo circula a uma velocidade não impedida; (ii) o perfil de saída quando o condutor percebe a existência de um peão mas considera o intervalo como aceitável e por isso volta a acelerar; (iii) o perfil de paragem onde o condutor não percebe o intervalo de passagem como aceitável e pára antes do início da passadeira.

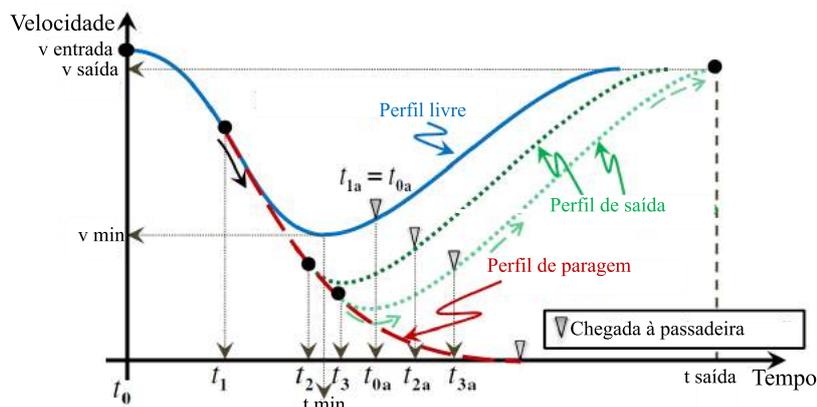


Figura 4.5: Perfis típicos de aceleração e velocidade (adaptado de Alhajyassen, 2012)

Outra possibilidade de caracterização da velocidade assenta na utilização do percentil 85, como é usual na área de engenharia de tráfego rodoviário. O tráfego motorizado e o tráfego ciclável têm comportamentos distintos no que respeita às velocidades de circulação. Em geral, grande parte dos veículos motorizados apenas viaja consideravelmente abaixo do limite de velocidade quando existe algum fator impeditivo que a isso obrigue (*e.g.* congestionamento, potência, radares de velocidade, entre outros) (Forester, 1994). No caso dos velocípedes

constata-se uma grande amplitude de velocidades de circulação decorrente da variabilidade das características dos utentes (*e.g.* idade, experiência, propósito, tipo de velocípede) e das características das infraestruturas cicláveis (*e.g.* tipologia de infraestrutura, declive, largura, interseções e visibilidade). Diversos autores dedicaram-se a caracterizar a variabilidade da velocidade fazendo variar um ou mais dos aspetos referidos. Os estudos considerados mais relevantes são apresentados na continuação deste subcapítulo.

Forester (1994) refere um estudo realizado pela FHWA¹ em 1976 na Califórnia que apresenta distribuições de velocidade para uma pista de caráter utilitário e outra com caráter recreativo. De acordo com o estudo referido, as velocidades são consideravelmente superiores em pistas com caráter utilitário.

Bernardi e Rupi (2015) estudaram também a velocidade registada em diversas infraestruturas. Este estudo, realizado em Bolonha, foca-se na variação de velocidade causada pelo cruzamento com outros utentes e consiste na caracterização das velocidades em pista e em rodovia com e sem a existência de uma perturbação. No caso das pistas, as perturbações consistem no cruzamento com um ou mais peões e para a rodovia de um ou mais veículos pesados ou ligeiros.

Jensen et al. (2010) caracterizaram a velocidade dos ciclistas ao longo do dia utilizando os velocípedes do sistema de bicicletas partilhadas de Lyon. A velocidade foi calculada através da consideração do tempo em que a bicicleta foi usada e da distância entre estações. De acordo com este estudo, a velocidade média atinge o seu pico às 6:00 e decresce até às 10:30, tendo um pico intermédio 15 minutos antes das 9:00, consistente com os padrões de mobilidade decorrentes dos horários de trabalho que começam às 9:00.

¹FHWA-RD-112

Capítulo 5

Caso de Estudo

5.1 Introdução

A escolha do caso de estudo partiu do interesse por parte do Laboratório Nacional de Engenharia Civil (LNEC) em estudar os conflitos entre ciclistas e veículos motorizados no acesso ao seu campus. Este caso de estudo enquadra-se no caso particular de interseções que configuram acessos a propriedades privadas, garagens e parques de estacionamento com uma pista ciclável adjacente ao acesso.

O processo de estudo parte da caracterização da envolvente, avança para a recolha de dados que posteriormente são tratados e analisados por forma a serem adequados às soluções estudadas no capítulo 2. O presente capítulo está organizado da seguinte forma: após a breve introdução apresentada no subcapítulo 5.2, é analisado o local e a envolvente no subcapítulo 5.3 descrevem-se os processos de recolha de dados, no subcapítulo 5.4 analisam-se os dados e no subcapítulo 5.5 caracterizam-se as soluções face ao caso de estudo.

5.2 Caracterização do local e da envolvente

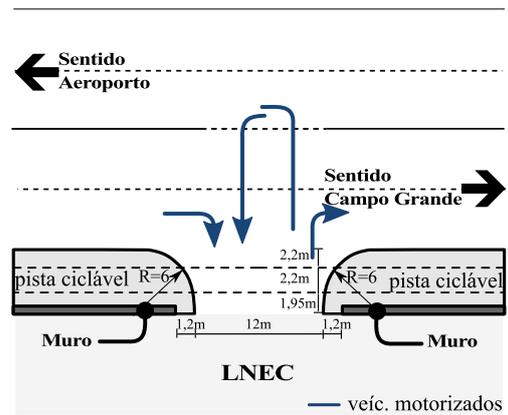
A intersecção em estudo localiza-se em Lisboa, na Avenida do Brasil, nº 101 no acesso principal de veículos motorizados do Laboratório Nacional de Engenharia Civil (LNEC) conforme apresentado na Figura 5.1a.

A Avenida do Brasil localiza-se na freguesia de Alvalade e faz a ligação entre a Rotunda do Aeroporto e o Campo Grande, junto à cidade Universitária. A Avenida faz parte da Rede de distribuição secundária da cidade de Lisboa que assegura o encaminhamento dos fluxos de tráfego para vias de nível superior, assegurando também, a distribuição local de fluxos. Possui dois cruzamentos de tráfego considerável: a Este da intersecção cruzamento da Avenida do Brasil com Avenida Rio de Janeiro (cerca de 100m) e a Oeste com a Avenida de Roma (cerca de 300m). Na Avenida do Brasil encontram-se também o Parque de Saúde de Lisboa e o Parque de Alvalade.

Alvalade é um bairro residencial com comércio, serviços, escolas e igrejas. Os seus usos principais segundo o PDM de Lisboa são de Espaço Central e Residencial, havendo também Espaços de Uso Especial de Equipamentos (ver Figura C.1 do Anexo C). A Rotunda do Aeroporto serve como eixo de ligação à zona Oriental da Cidade e ao Aeroporto de Lisboa que se encontra nas suas proximidades. A Cidade Universitária é um polo universitário de diversas universidades com conta com mais de 37 mil estudantes. A Avenida de Roma vai desde a entrada principal do Parque de Saúde de Lisboa, na Avenida do Brasil, até à Praça de



(a) Localização do acesso (Bing Maps)



(b) Características geométricas do acesso

Figura 5.1: Acesso em estudo

Londres e é um eixo de ligação importante na cidade de Lisboa uma vez que travessa outras avenidas de grande dimensão como a Avenida Estados Unidos da América e a Avenida João XXI.

O acesso é complementado pela existência de uma pista ciclável construída em 2013 (ver Figura 5.1b). A pista ciclável é parte integrante da rede de ciclovias de Lisboa, mantida pela Câmara Municipal de Lisboa e tem especial interesse na ligação entre a zona oriental e ocidental da cidade, fazendo a ligação pela zona norte da cidade. A Empresa Municipal de Estacionamento de Lisboa (EMEL) planeia a implementação de uma rede de bicicletas partilhadas na cidade de Lisboa e prevê a criação de um posto de bicicletas partilhadas junto à entrada principal do LNEC adjacente à pista atual.

As imagens disponíveis antes da construção da pista datam de maio de 2009. Pelas comparação destas imagens com imagens de 2014 (ver Figura 5.2) conclui-se que a introdução da pista ao longo do acesso foi realizada apenas através de marcação transversal no pavimento (*Passagem de ciclistas - Sinal M10*, ver Tabela B.4 do Anexo B), sendo que não foi complementada com alteração da geometria do acesso, nem pela melhoria das condições de visibilidade ou alvo de estudo aprofundado. As mesmas conclusões se retiram ao analisar outros segmentos da pista ao longo da Avenida do Brasil.



(a) Imagem de Agosto de 2009



(b) Imagem de Julho de 2014

Figura 5.2: Acesso de veículos ao LNEC - imagem do exterior (Google Maps, 2009; Google Maps, 2014)

A pista ciclável é exclusiva a ciclistas, bidirecional e tem uma largura de 2,2 metros, a

largura mínima recomendada pelos documentos analisados para esta tipologia (ver Tabela 2.3). Devido à sua localização, no centro do passeio, e à irregularidade da calçada portuguesa, a pista é propícia à utilização por peões, apesar do seu uso ser proibido pois possuem infraestruturas próprias. Numa análise à pista ciclável em toda a Avenida do Brasil é possível constatar que:

- A pista sofre quebras de continuidade sempre que a dimensão do passeio é reduzida (*e.g.* paragens de autocarro) e sempre se cruza com a saída de uma zona de volume de tráfego pedonal elevado (*e.g.*, Parque de Saúde de Lisboa, entrada principal no LNEC);
- A pista sofre quebras de continuidade cerca de 5m antes de algumas interseções, o que, segundo o código da estrada obriga o ciclista a desmontar do velocípede (*e.g.*, interseção com a Rua das Murtas);
- O pavimento da pista tem vindo a deteriorar-se, principalmente nas interseções;

As características geométricas do acesso são apresentadas na Figura 5.1b e as características gerais mais relevantes para o estudo são enumeradas de seguida:

1. Existência de uma pista ciclável bidirecional, localizada no passeio em frente ao acesso;
2. Existência de um muro com dimensões tais que impede a visibilidade tanto por parte dos motoristas como dos ciclistas que circulam na pista (bordo do muro com 1,35m de altura e a sua continuação com 1,15m de altura);
3. Pista ciclável marcada no pavimento por meio de linhas descontínuas;
4. Inexistência de sinalização prioritária vertical no local (prioridade dada aos ciclistas que circulam na pista em relação ao veículos que entram/saem do LNEC);
5. Existência de sinalização de obrigatoriedade de circulação na pista para velocípedes;
6. Entrada com 12m de largura;
7. Pavimento da interseção em más condições;
8. O troço da Avenida do Brasil onde se encontra o acesso está numa subida com um declive de 3 a 5% (Félix, 2012), estando a zona do Aeroporto no local mais elevado, o que corresponde a um declive de aptidão média de acordo com o AASTHO (2012);
9. Não há registo de acidentes com velocípedes no acesso em estudo e na sua envolvente, de acordo com os dados de sinistralidade já apresentados no Capítulo 2.

5.3 Recolha de dados

O objetivo deste estudo de caso assenta na avaliação da adequabilidade do acesso, com base nas características do tráfego ciclável e motorizado e da interação entre estes, e na proposta de medidas de corretivas da mesma. Com base no objetivo descrito, definiram-se como variáveis a medir: velocidades de circulação de velocípedes, volumes de tráfego de velocípedes e avaliação dos conflitos com outros modos de tráfego (tráfego motorizado e tráfego pedonal).

5.3.1 Seleção de métodos de recolha de dados

A recolha de dados de volumes de tráfego, velocidades de circulação e conflitos foi efetuada através de imagens vídeo. Para a recolha de imagens foi usado o seguinte material: (i) atrelado com mastro; (ii) câmara de filmar com possibilidade de carregamento durante o registo de imagens; (iii) computador portátil com programa informático de gravação de imagens; (iv) alimentação elétrica; (v) dispositivo de proteção contra intempéries (ver Figuras 5.3 e 5.4).



(a) Atrelado



(b) Câmara de vídeo no mastro

Figura 5.3: Equipamento utilizado para recolha de imagens vídeo (Imagens da campanha de 2013)



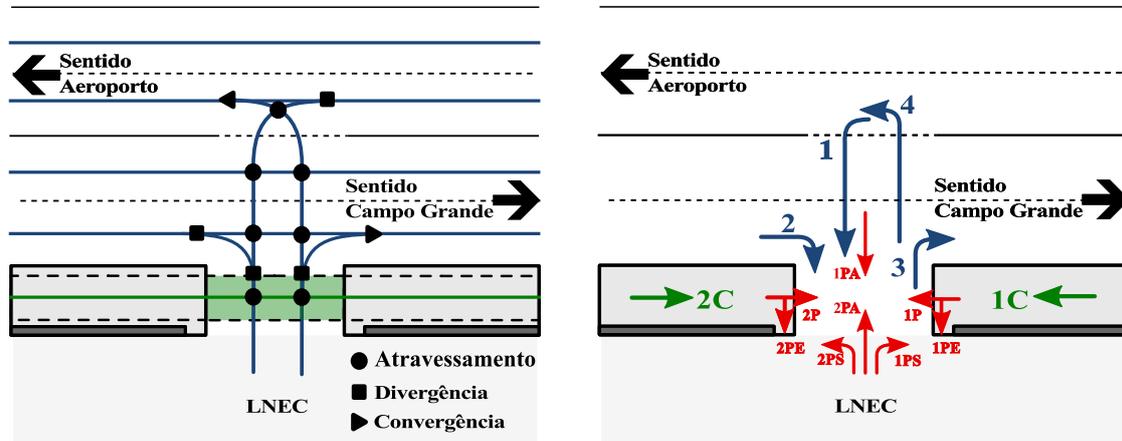
(a) Equipamento visto do acesso



(b) Equipamento vista lateral

Figura 5.4: Equipamento utilizado para recolha de imagens vídeo (Imagens da campanha de 2015)

Com vista à execução de contagens, foram identificados tipos de conflitos, movimento resultantes da interferência da pista ciclável (ver Figura 5.5a) e definidos os movimentos a contabilizar para o estudo¹ (ver Figura 5.5b).



(a) Tipos de movimentos conflitantes no acesso

(b) Movimentos registados nas contagens

Figura 5.5: Acesso de veículos do LNEC

Para os veículos motorizados foram identificados 4 movimentos principais, 2 referentes a entradas e 2 a saídas (ver movimento 1 a 4 a azul na Figura 5.5b) por categoria de veículo (veículos ligeiros, motorizados e pesados).

Foram registados 8 movimentos pedonais, de acordo com o representado na Figura 5.5b, a vermelho. Os movimentos *1PA* e *2PA* dizem respeito a atravessamentos da faixa de rodagem por peões que entram, (*1PA*), ou saem (*2PA*). Os movimentos *1P* e *2P* dizem respeito a peões que circulam no passeio. Os movimentos *1PE* e *2PE* dizem respeito a entradas no LNEC por peões que se deslocavam no passeio e os movimentos *1PS* e *2PS* a peões que saem do LNEC para o passeio.

Os movimentos de ciclistas foram registados cumulativamente segundo: (i) a localização, na pista, na estrada ou no passeio (do lado oposto ao acesso); (ii) o sentido, *1C* e *2C*.

Para veículos motorizados e peões, os volumes de tráfego foram obtidos por contagem manual em intervalos de 15 minutos sucessivos começando o 1º à hora certa. Para velocípedes as contagens foram efetuadas em contínuo, com o registo da hora de passagem no acesso. Na Figura C.2 (Anexo C) apresenta-se um exemplo das tabelas das folhas de registo utilizadas.

As velocidades de velocípedes foram organizadas segundo: (i) localização, na ciclovia ou na estrada; (ii) sentido, *1C* ou *2C*; (iii) registo de velocidade, sem ocorrência de anomalia ou com ocorrência de anomalia; (iv) outras ocorrências que possam ter impedido o registo de velocidades ou a leitura de valores anormais.

A avaliação dos conflitos foi realizada através da análise de imagens vídeo de acordo com o referido no Subcapítulo 4.2. Separaram-se as ocorrências registadas em: (i) conflitos; (ii) situações em que a cedência de passagem não foi cumprida; (iii) desvios por parte dos ciclistas com manobra antecipada. Os conflitos foram ainda catalogados em conflitos graves, conflitos potenciais e conflitos simples de acordo com o referido no subcapítulo 4.2.

¹Foi adotada uma notação para os movimentos atribuindo um número seguido: de um *C* para os movimentos de ciclistas; de um *P* para movimentos pedonais; e sem nenhum outro dígito para movimentos de veículos motorizados.

5.3.2 Campanhas de recolha de dados

A recolha de dados de tráfego e velocidades na zona em análise foi efetuada através de análise manual de imagens de vídeo recolhidas em dois períodos distintos: 2013 e 2015. Em 2013 as imagens foram captadas do lado exterior do LNEC permitindo recolher volumes de tráfego, velocidades de aproximação, velocidades de atravessamento na intersecção, trajetórias de desvio e conflitos. Estas imagens foram recolhidas durante o mês de maio durante 5 dias, de segunda-feira a sexta-feira, das 8h30 às 18h30, havendo pequenas variações de dia para dia.

Considerou-se que o exetável aumento de tráfego ciclável, o número de dados perdidos devido a falta de visibilidade proporcionada pelos veículos que circulavam na Avenida do Brasil e a necessidade de dados com uma série contínua de 24h justificavam nova coleta de dados.

Assim, em 2015 foi efetuada uma nova campanha de recolha de imagens de vídeo, desta vez, captadas do lado interior do LNEC. Foi possível recolher volumes de tráfego, velocidades de atravessamento do acesso, trajetórias de desvio e conflitos. Esta campanha foi efetuada em duas fases, uma em Outubro e outra em Novembro, sempre em períodos de 24h, das 16h de quinta-feira até as 16h de sexta-feira.

Na Figura 5.6 apresentam-se os esquemas de captação de imagens para os anos de 2013 e 2015. Para a campanha de 2013, foram recolhidos os tempos de passagem em 3 pontos, correspondendo aos limites das distâncias apresentadas¹(ver Figura 5.6a). Para a campanha de 2015, foram recolhidos os tempos de atravessamento, segundo o que é apresentado na Figura 5.6b.

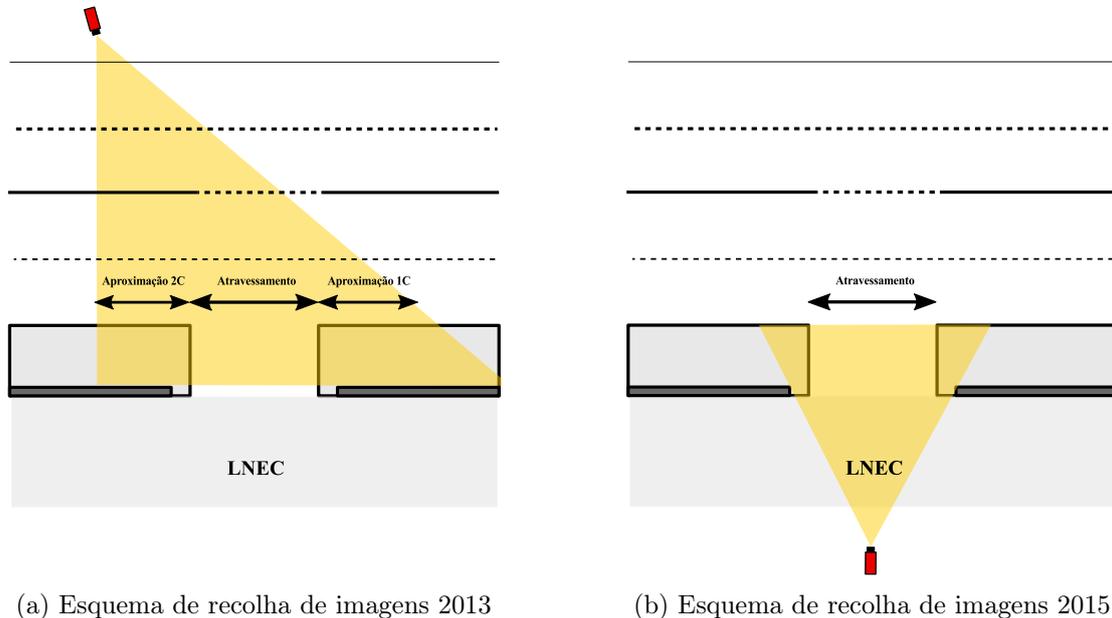


Figura 5.6: Esquema de captação de imagens

A instalação do material para a recolha de imagens de 2015 tentou colmatar as dificuldades

¹Para os velocípedes a circular no sentido *1C* retiraram-se os tempos de passagem correspondentes às distâncias de *Aproximação 1C* e *Atravessamento*. Para os velocípedes a circular no sentido *2C* retiraram-se os tempos de passagem correspondentes às distâncias de *Aproximação 2C* e *Atravessamento* (ver Figura 5.6a)

que levaram à perda de dados na campanha anterior: (i) a recolha de imagens pelo interior diminui o número de dados perdidos, uma vez que os veículos parados não bloqueiam a visibilidade do local de análise; (ii) a recolha de imagens pelo interior permite também captar imagens durante a noite pois o material fica em segurança dentro das instalações do LNEC; (iii) a câmara de vídeo foi colocada num ângulo mais vertical do que na 1ª campanha por forma a possibilitar melhor visualização das trajetórias; (iv) a orientação da câmara pelo interior permite também um melhor posicionamento em relação à exposição solar pois estando virado de NW para SE, o sol durante o crepúsculo não interfere com as imagens; (v) procurou-se melhorar a qualidade da imagens alterando o formato de recolha para um de maior qualidade.

Este posicionamento no interior do LNEC não oferece, no entanto, a possibilidade de recolha de velocidades de aproximação, pelo que a comparação das velocidades de aproximação entre 2013 e 2015 só pôde ser feita de forma analítica.

Algumas dificuldades operacionais foram sentidas durante a preparação da campanha, tais como: escolha dos dias da recolha condicionada pelas intempéries devido a limitações do equipamento, dificuldades de armazenamento e processamento dos ficheiros vídeo devido ao seu tamanho.

As contagens de veículos motorizados e peões foram realizadas manualmente através da análise das imagens de vídeo pela equipa de tráfego do Departamento de Transportes do LNEC que possui treino específico na tarefa a desempenhar. As contagens de velocípedes, cálculo de velocidades de circulação através da consideração do tempo percorrido e a avaliação de conflitos foram realizadas pelo autor. A organização da recolha em função da variável é apresentada na Tabela 5.1.

Tabela 5.1: Organização da recolha de dados

Variável	Tipologia de tráfego	Método de recolha	Responsável
Volumes de tráfego	motorizado	manual	equipa LNEC
	pedonal	manual	equipa LNEC
	ciclável	manual	autor
Velocidades de circulação	ciclável	manual	autor
Conflitos	velocípedes/veículos	manual	autor

5.4 Tratamento de dados

5.4.1 Volumes de tráfego

O procedimento de cálculo utilizado para cada movimento e tipo de utente consistiu no cálculo de valores médios para os intervalos de 15 minutos, obtendo-se séries separadas para 2013 e 2015. Uma vez que o tratamento dos dados é feito partindo do intervalos de 15 minutos foram retirados todos os intervalos inferiores a esse valor.

5.4.1.1 Veículos motorizados

Neste subcapítulo apresenta-se a análise dos volumes de tráfego de veículo motorizados. Começou-se pela avaliação dos volumes por categorias de veículos, realizou-se uma comparação entre os volumes totais nos anos 2013 e 2015, por fim avaliaram-se os movimentos para o ano 2015 (ver Figura 5.7).

Capítulo 5. Caso de Estudo

Os movimentos relativos a veículos pesados são relativamente baixos quando comparados com os volumes de veículos ligeiros, representando 1,1% do total de veículos, tal como os motociclos que perfazem 1,5% do total de veículos.

Considerando o volume total de veículos motorizados, não foi identificada nenhuma diferença substancial na comparação entre volumes de 2013 e 2015 de tráfego motorizado a partir da Figura 5.7.

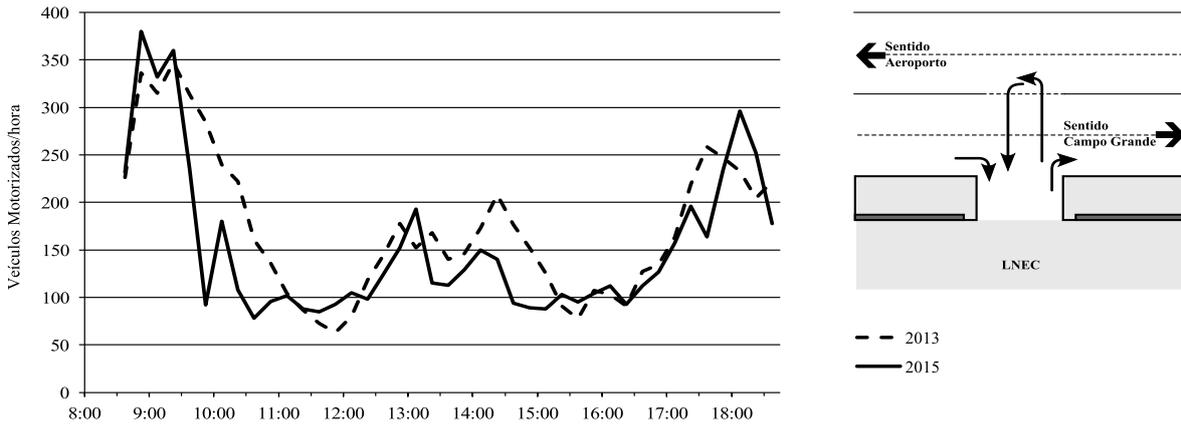


Figura 5.7: Tráfego total de veículos motorizados em 2013 e 2015

Nas Figuras 5.8 e 5.9 apresentam-se os movimentos de entrada e saída para os anos de 2013 e 2015 respetivamente.

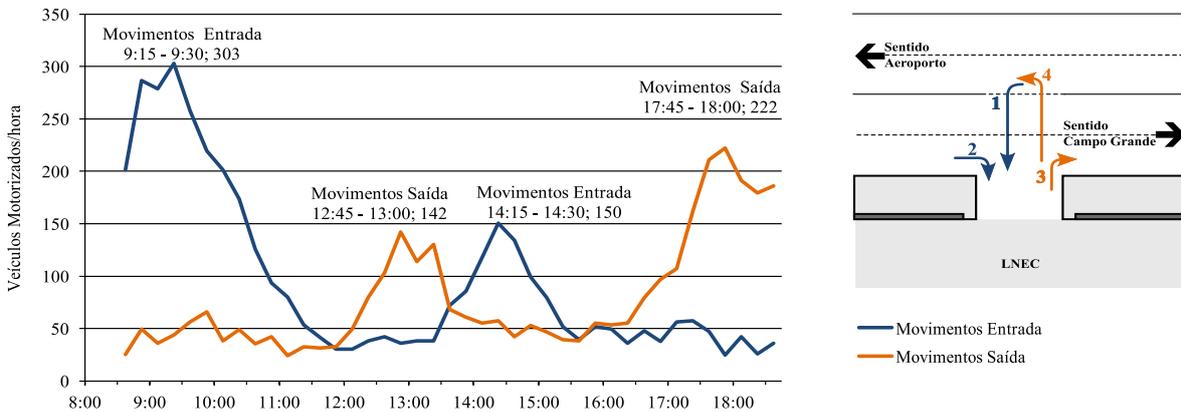


Figura 5.8: Tráfego de entrada e saída de veículos motorizados em 2013

No gráfico da Figura 5.8 é possível identificar: (i) picos principais correspondentes a movimentos pendurares casa-trabalho que ocorrem ao início da manhã entre as 8:45 e as 9:30 e ao fim da tarde entre as 17:45 e as 18:00; (ii) picos secundários correspondentes a saídas do LNEC no período de almoço, saídas entre as 12:45 e as 13:30 e as entradas entre as 14:15 e as 14:30. Para 3 dos dias analisados o pico de entradas mais significativo registou-se entre as 9:15 e as 9:30 e os pico de saída, para 4 dos dias registados, entre as 17:30 e as 18:00.

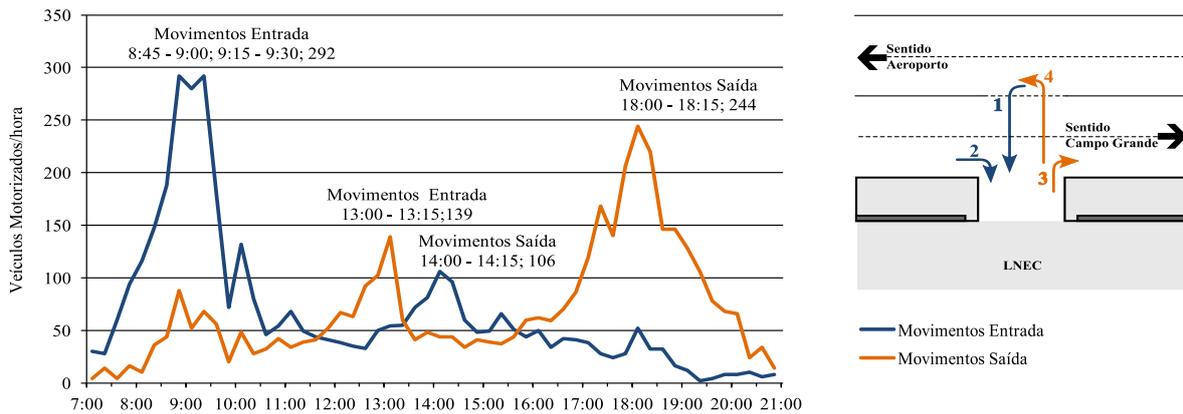


Figura 5.9: Tráfego de entrada e saída de veículos motorizados 2015

No gráfico da Figura 5.9 verifica-se que (i) os picos principais correspondentes a movimentos pendurares casa-trabalho ocorrem ao início da manhã, à semelhança do que se verificava em 2013, entre as 8:45 e as 9:30 e ao fim da tarde entre as 18:00 e as 18:15 (ver Figura 5.8); (ii) picos secundários correspondentes a saídas do LNEC no período de almoço, com saídas entre as 13:00 e as 13:30 e entradas entre as 14:00 e as 14:15.

A introdução de um maior número de horas semanas (das 35 para as 40 horas) acompanhada de uma redução da hora de almoço pode estar na origem da menor dispersão nas entradas e saídas. Devido às alterações de comportamento constatadas decidiu-se focar o estudo de volumes de tráfego automóvel apenas para o ano 2015.

Nas Figuras 5.10 e 5.11 apresentam-se separadamente os volumes dos movimento de entrada e saída respetivamente.

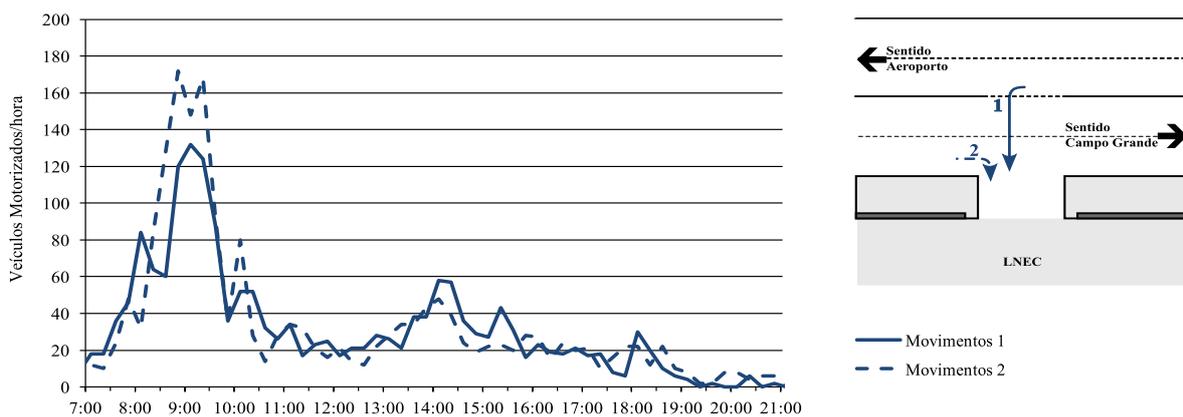


Figura 5.10: Distribuição de tráfego motorizado entre os movimentos de entrada 1 e 2 em 2015

Verifica-se que os volumes de tráfego para os movimentos 1 e 2 apresentam um comportamento semelhante ao longo do dia, tendo uma distribuição de 49% para o movimento 1 e 51% movimento 2.

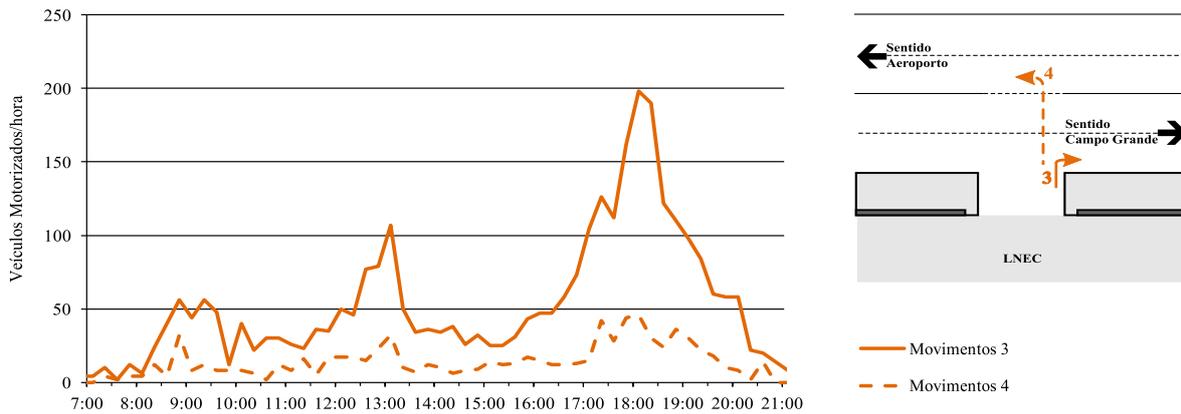


Figura 5.11: Distribuição de tráfego motorizado entre o movimento 3 e o movimento 4 em 2015

Os movimentos 3 e 4 não apresentam flutuações semelhantes ao longo do dia, apresentado o movimento 3 volumes duas vezes mais elevados fora dos períodos de almoço e ao fim do dia volumes 3 a 8,5 vezes mais elevados. Globalmente o movimento 3 representa 80% das saídas e o movimento 4, 20%. Esta disparidade pode dever-se aos destinos possíveis ou à dificuldade da manobra.

5.4.1.2 Peões

O tráfego de peões apresentado na Figura 5.12 revela características de pendularidade, à semelhança ao tráfego de veículos motorizados, revela também um ligeiro aumento no volume total de peões em 2015, face aos valores de 2013, no período entre as 8:30 e as 9:00 e novamente, à tarde, entre as 18:15 e as 18:30.

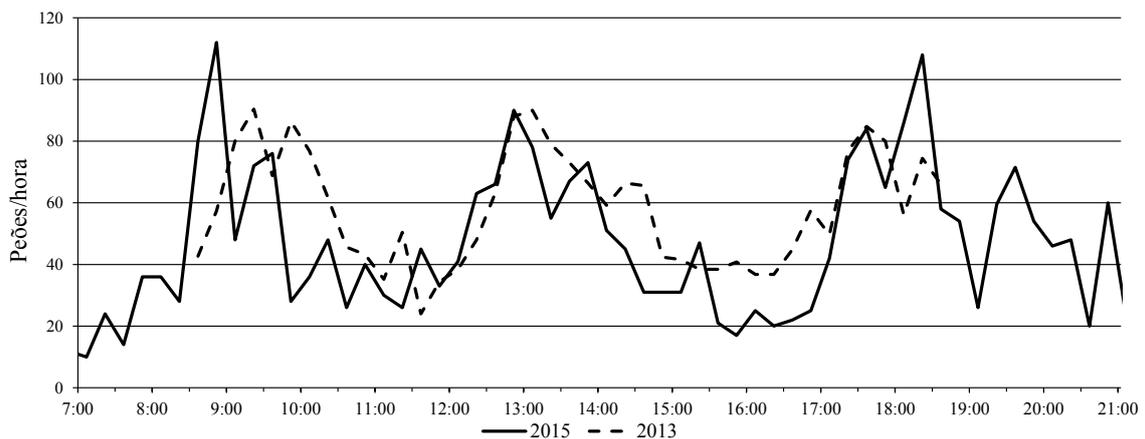


Figura 5.12: Variação do volume de peões ao longo do dia (entradas + saídas) em 2013 e 2015

Analisando os dados de 2015 apresentados na Figura 5.13 é possível diferenciar: (i) picos referentes movimentos pendurares casa-trabalho, no início da manhã e fim da tarde; (ii) picos referentes a saídas e entradas no LNEC no período de almoço, saídas ocorrem entre as 12:00 e as 14:00 e as entradas entre as 14:00 e as 15:00.

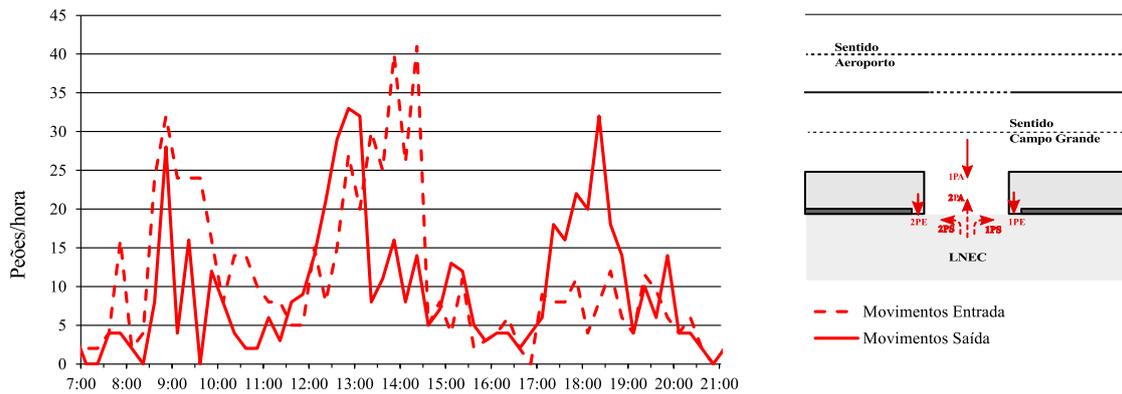


Figura 5.13: Distribuição de tráfego de peões entre entradas e saídas em 2015

Verificou-se também que os movimentos *1PA* e *2PA* correspondentes a entradas e saídas no LNEC, respetivamente, realizadas com o atravessamento da faixa de rodagem por parte dos peões é bastante significativo, tendo um pico durante o período de almoço e tendo o movimento de entrada *1PA* o maior volume. A localização da passadeira mais próxima do acesso, em frente ao Edifício principal do LNEC, pode estar na origem do verificado.

5.4.1.3 Velocípedes

Foram registados 1324 velocípedes, sendo que destes, 46% viajam no sentido *1C* e 54% no sentido *2C*.

Tal como para os veículos motorizados e peões, foram calculadas as médias do volume horário. Na Figura 5.14 apresentam-se as séries de 2013 e 2015 para o volume horário total de velocípedes¹.

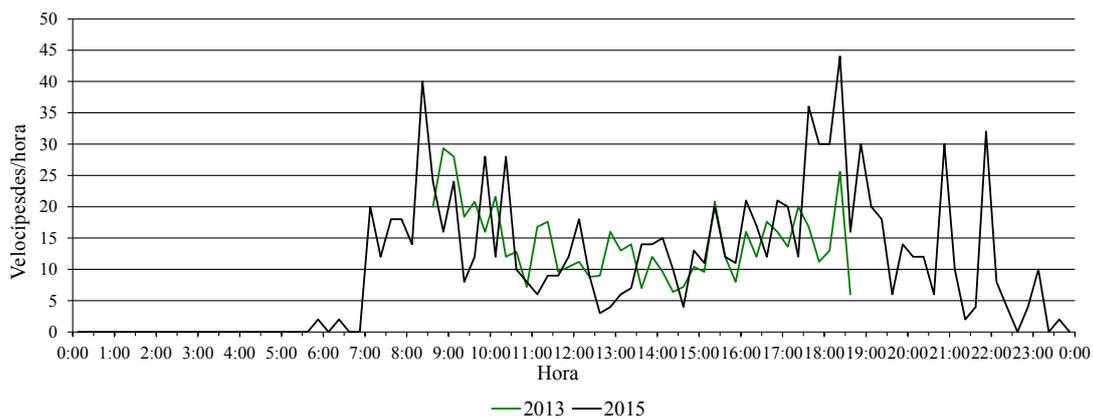


Figura 5.14: Variação do volume horário total de velocípedes (série 2013 e série 2015)

Da análise da Figura 5.14 constata-se uma grande variação de velocípedes ao longo do dia, que se traduzem em elevadas flutuações devido ao baixo tráfego. O volume decresce desde as 8:30 até meio do dia, tendo um mínimo no intervalo entre as 14:15 e as 14:30, voltando a

¹O volume total de velocípedes corresponde à soma dos volumes nos três locais de circulação (pista ciclável, estrada e passeio) em ambos os sentidos de circulação (sentido *1C* e sentido *2C*)

crescer depois deste período até às 18:30 e a decrescer depois deste período, tal verifica-se em ambos os sentidos (ver Figura 5.15).

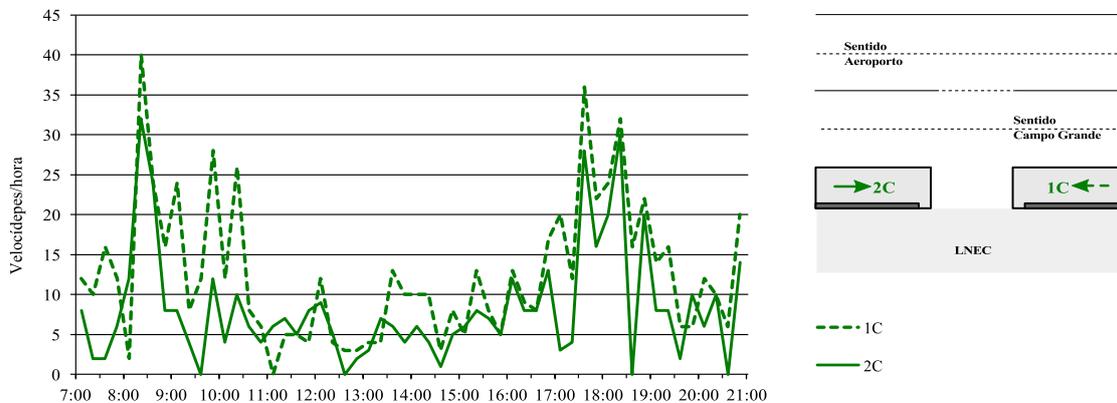


Figura 5.15: Variação horária do tráfego de velocípedes - sentido 1C e sentido 2C para a pista ciclável em 2015

Como foi já referido anteriormente, os factores meteorológicos têm grande influência no tráfego ciclável em especial no volume de tráfego.

O valor de TMD foi estimado através de uma expansão da série de dados recolhidos em 2013, na raiz de 2015. A escolha da expansão da série de 2013 é por se basear num maior número de dias de recolha. Por forma a estimar o tráfego médio diário anual recorreu-se ao seguinte procedimento de cálculo:

1. Para ambos os anos, 2013 e 2015, calcularam-se as médias para cada intervalo de 15 minutos, obtendo-se a série de 2013 e a série de 2015. As séries obtidas apresentam o número de velocípedes por intervalo de 15 minutos;
2. Registou-se o intervalo temporal para o qual ambas possuem dados, obtendo-se um intervalo das 8:30 às 19:45;
3. Calculou-se a percentagem da série de 2015 que corresponde ao intervalo obtido no Ponto 2, $PercV_{2015}(8 : 30 - 19 : 45)$;
4. Estimou-se o volume total da série de 2013 utilizando a percentagem obtida no Ponto 3, com a Expressão 5.1;

$$V_{Total} = \frac{V_{2015}(8 : 30 - 19 : 45)}{PercV_{2015}(8 : 30 - 19 : 45)} \quad (5.1)$$

5. Para cada hora cujo valor não era conhecido aplicou-se a percentagem correspondente na série de 2015 de acordo com a Expressão 5.2.

$$V(hora\ x) = PercV_{2015}(hora\ x) \times V_{Total} \quad (5.2)$$

Na Tabela 5.2 são apresentados os valores de TMD estimados para 2013 e 2015, discriminados segundo o local e o sentido de circulação. Estes valores resultaram dos cálculos apresentados nos pontos 1 e 4 mencionados anteriormente. A distribuição horária do tráfego, calculada segundo o ponto 5, é apresentada para o sentido 1C na Figura 5.16 e para o sentido 2C na Figura 5.17.

Tabela 5.2: TMD estimado por localização, ano e sentido

Local de circulação	Ano	TMD	
		Sentido 1C	Sentido 2C
Pista ciclável	2013	84	92
	2015	122	95
Pista ciclável + Estrada	2013	92	130
	2015	126	135
Total	2013	224	
	2015	258	

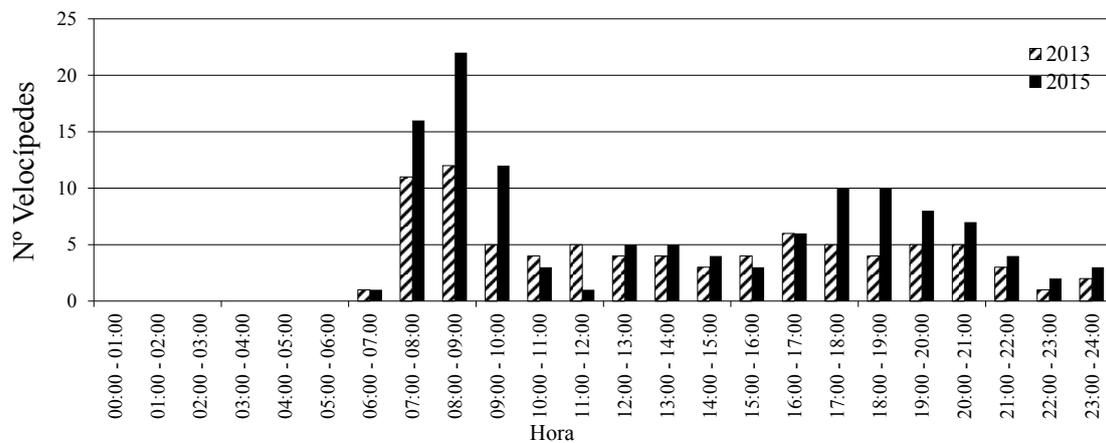


Figura 5.16: Distribuição horária do tráfego de velocípedes na pista, 1C em 2013 e 2015

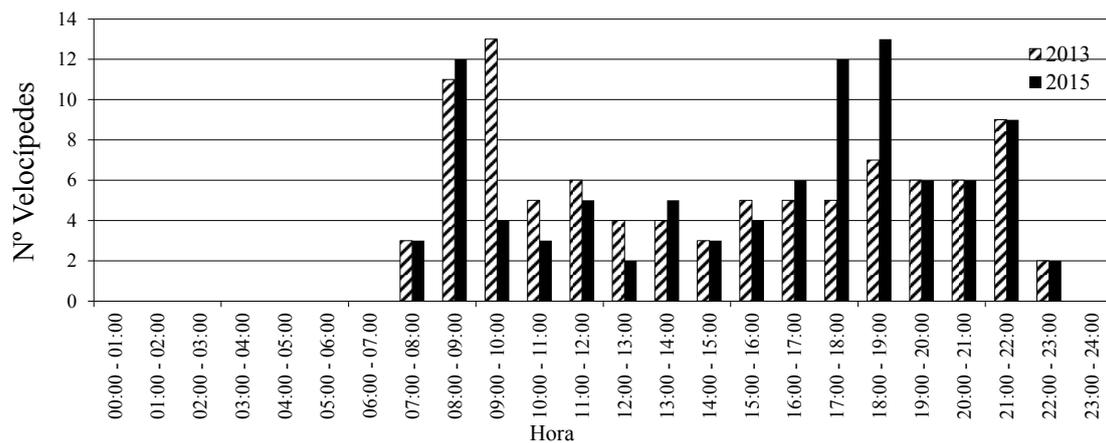


Figura 5.17: Distribuição horária do tráfego de velocípedes na pista, 2C em 2013 e 2015

Da análise das Figuras 5.16 e 5.17 e da Tabela 5.2, pode-se concluir o seguinte:

- Ambas as séries apresentam grande variabilidade, devido ao baixo volume de tráfego (Figura 5.14);

- Ambas as séries exibem características de pendularidade o que leva a crer que a pista seja utilizada com carácter utilitário (Figura 5.16, Figura 5.17);
- Verifica-se um aumento no volume total de ciclistas em ambos os sentidos (Tabela 5.2). Este aumento é mais acentuado no sentido 2C como demonstra a tabela mas o sentido 1C apresenta maior crescimento de volume em pista (Figura 5.16);
- Há uma grande tendência para a utilização da rodovia por parte dos ciclistas principalmente no sentido 2C. Esta tendência poderá dever-se à proximidade com o cruzamento da Avenida do Brasil com a Avenida Rio de Janeiro.

De acordo com a sinalização no local, a circulação na pista ciclável tem carácter obrigatório para velocípedes. No entanto, dos 1324 velocípedes registados, 12,1% circulavam na estrada o que corresponde a 61 velocípedes no sentido 1C e 99 no sentido 2C. Os valores de TMD espelham a diferença mais significativa no número de velocípedes que circula na estrada.

5.4.2 Velocidades de circulação

As velocidades de circulação foram recolhidas para ambos os sentidos de circulação, 1C e 2C, em pista e em estrada e foram excluídas desta análise todas as ocorrências cuja velocidade teve uma interferência, desvios ou paragens antes do início da interseção. Como já foi referido anteriormente, na campanha de 2013 foram calculadas as velocidades de aproximação e atravessamento e em 2015 apenas velocidades de atravessamento.

O número de registos de velocidade variou consoante o local e o sentido de circulação: para o ano 2013, sentido 1C - 195 registos e sentido 2C - 265 registos; para o ano 2015, sentido 1C - 187 registos e sentido 2C - 179 registos. Do mesmo modo, em estrada tem-se: para o ano 2013, sentido 1C - 2 registos e sentido 2C - 49 registos; para o ano 2015, sentido 1C - 23 registos e sentido 2C - 39 registos.

Neste Subcapítulo pretende-se estudar os valores representativos da velocidade, v_{50} , v_{85} para os dois sentidos.

Na Figura 5.18 apresentam-se as velocidades acumuladas de atravessamento para 2013 e 2015 para o sentido 1C (ver Figura 5.18a) e para o sentido 2C (ver Figura 5.18b). Considerou-se necessário comparar os dados obtidos com valores da literatura por forma a validar os resultados. Neste caso foram escolhidas as curvas de distribuição de velocidades apresentadas por Forester (1994) (ver subcapítulo 4.5) sendo comparadas com as distribuições calculadas para o atravessamento do acesso (ver Figura 5.18). Não se procura com esta comparação que as curvas sejam completamente iguais mas apenas perceber se a forma da curva apresenta características semelhantes, tal como as velocidades calculadas.

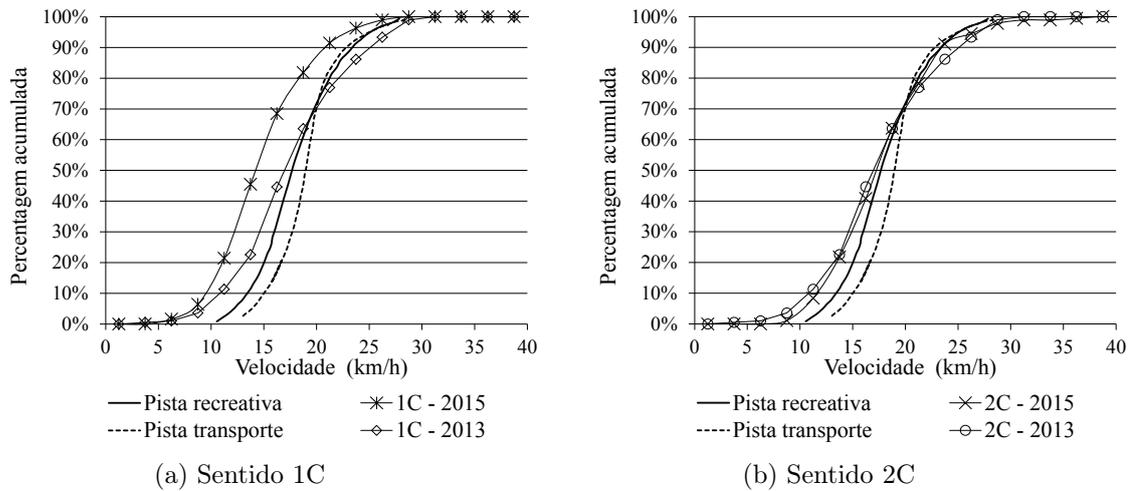


Figura 5.18: Comparação entre curvas de velocidade acumulada calculadas para 2013 e 2015 e as apresentadas em Forester (1994) para pista recreativa e pista de transporte

De acordo com a Figura 5.18, as curvas apresentadas por Forester (1994) e as curvas calculadas no âmbito deste estudo têm andamentos semelhantes à exceção da curva para o sentido 1C de 2015 cujas velocidades são consideravelmente inferiores. Nota-se, no entanto, que as curvas fruto deste trabalho têm maior dispersão de resultados

Na Figura 5.19 apresentam-se as velocidades acumuladas de aproximação e de atravessamento para 2013 e 2015 para o sentido 1C (ver Figura 5.19a) e para o sentido 2C (ver Figura 5.19b)) e na Tabela 5.3 apresentam-se os percentis de velocidade 50 e 85 em pista.

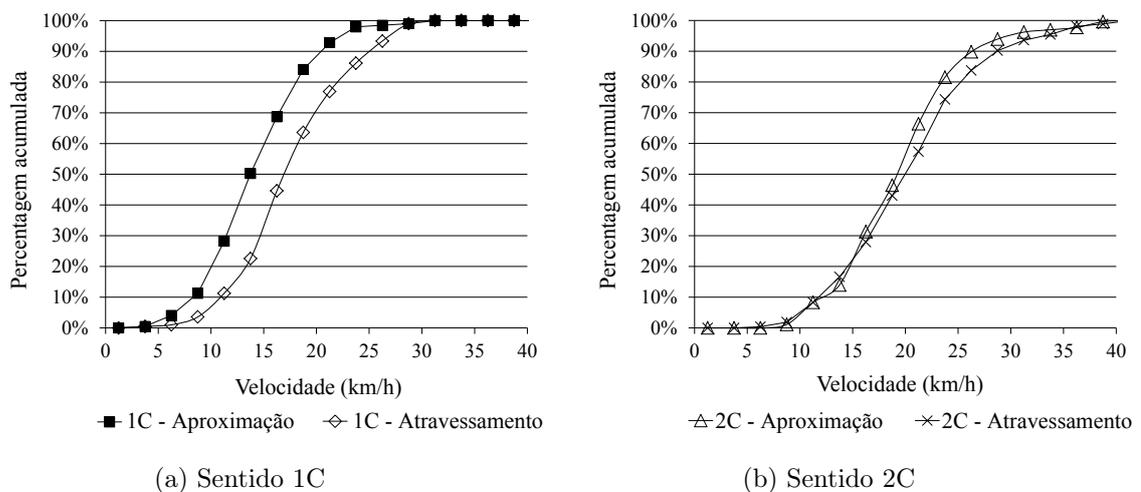


Figura 5.19: Comparação de curvas percentagens acumuladas para velocidades de aproximação e atravessamento

Tabela 5.3: Percentis de velocidade em pista para 2013 e 2015, em km/h

Ano	1C				2C			
	Aproximação		Atravessamento		Aproximação		Atravessamento	
	Perc 50	Perc 85	Perc 50	Perc 85	Perc 50	Perc 85	Perc 50	Perc 85
2013	14,8	20,4	18	24,2	20,7	26,1	21,5	27,8
2015	-		15,6	20,5	-		18,8	24,0

Da análise da Figura 5.18 e da Tabela 5.3, pode concluir-se o seguinte:

- As velocidades no sentido 1C são consideravelmente inferiores, tal como seria de esperar por se tratar de uma subida;
- Comparando as velocidades de aproximação e atravessamento para cada sentido isoladamente é possível concluir que as velocidades de aproximação e atravessamento para o sentido 2C são semelhantes. No entanto, para o sentido 1C as velocidades de aproximação são inferiores às velocidades de atravessamento o que pode ser devido a falta de visibilidade que obriga os ciclistas a abrandar fortemente ou mesmo a parar antes de chegar ao acesso.

Por forma a relacionar as velocidades de circulação com as condições de visibilidade, compararam-se as velocidades de aproximação e atravessamento para ambos os sentidos de circulação separadamente por meio de uma regressão linear, sem qualquer imposição (ver Figura 5.20). O conceito subjacente a esta análise é de que quanto menor a interferência do acesso na velocidade dos ciclistas, menor a diferença entre as velocidades de aproximação e atravessamento, e vice-versa.

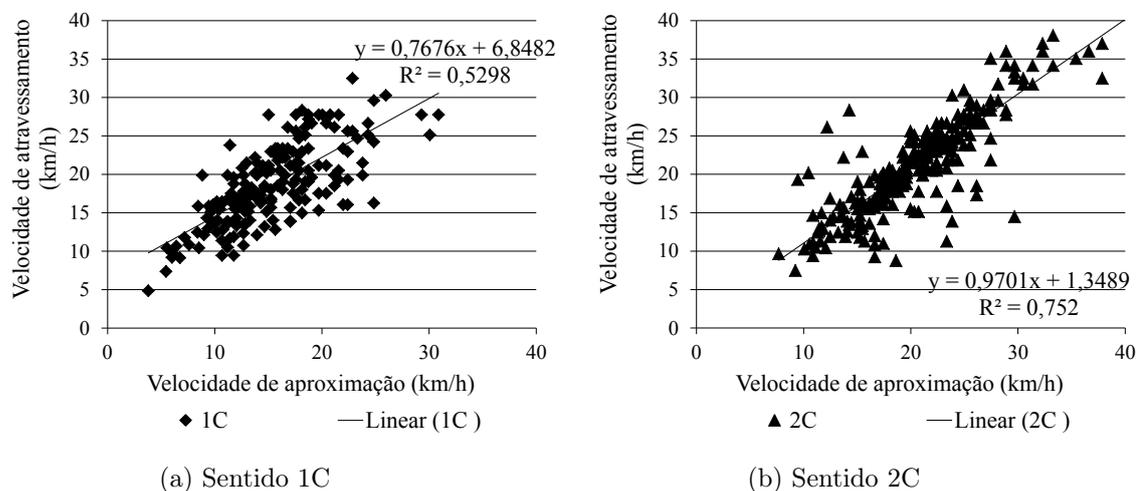


Figura 5.20: Comparação entre as velocidades de aproximação e afastamento

Da análise da Figura 5.20 pode-se concluir o seguinte:

- A reta de regressão da Figura 5.20a demonstra que de uma forma generalizada as velocidades de aproximação são inferiores às velocidades de atravessamento, ilustrando a necessidade que os ciclistas têm de reduzir a velocidade ao aproximar-se do acesso e que as velocidades de atravessamento são maiores que as velocidades de aproximação principalmente para velocidades mais baixas (declive da reta é inferior a 1);

- Maiores visibilidades como as registadas no sentido 2C, apresentado na Figura 5.20b, originam retas de regressão com um declive mais próximo de 1 e com uma velocidade de atravessamento para uma velocidade de aproximação igual a zero mais próximas de 0. Este facto demonstra que os ciclistas são capazes de ajustar a sua velocidade antecipadamente e por esse motivo as velocidades de aproximação e atravessamento são semelhantes;
- Velocidades no sentido 1C relevam mau ajustamento ($R^2 = 0,53$) o que demonstra uma grande dispersão de comportamentos. No sentido 2C obteve-se um melhor ajustamento ($R^2=0,75$) levando a crer que uma melhor visibilidade leva a uma menor dispersão de velocidades pois não obriga a uma tão grande experiência e conhecimento do local. No entanto, note-se que o número de registos de velocidade no sentido 2C é 35% superior ao número de registos no sentido 1C, pelo que é expectável que a dispersão de resultados seja menor no sentido 2C.

Para a compreensão dos resultados da velocidade faz sentido estudar a variação da velocidade na aproximação e atravessamento do acesso pelos ciclistas que se deslocam na pista. Recorre-se novamente aos perfis de velocidade caracterizados por Alhayassen (2012) apresentada no Subcapítulo 4.5, adaptando-se para o presente caso de estudo.

A Figura 5.21 apresenta esquematicamente a variação da velocidade de um ciclista no espaço, sendo A e B os pontos limítrofes da zona de conflito entre a pista ciclável e a rodovia. O ciclista viaja no sentido de A para B. A velocidade máxima indicada corresponde à velocidade não impedida em que o ciclista circula antes de se aproximar da interseção e que volta a atingir depois de passar a interseção.

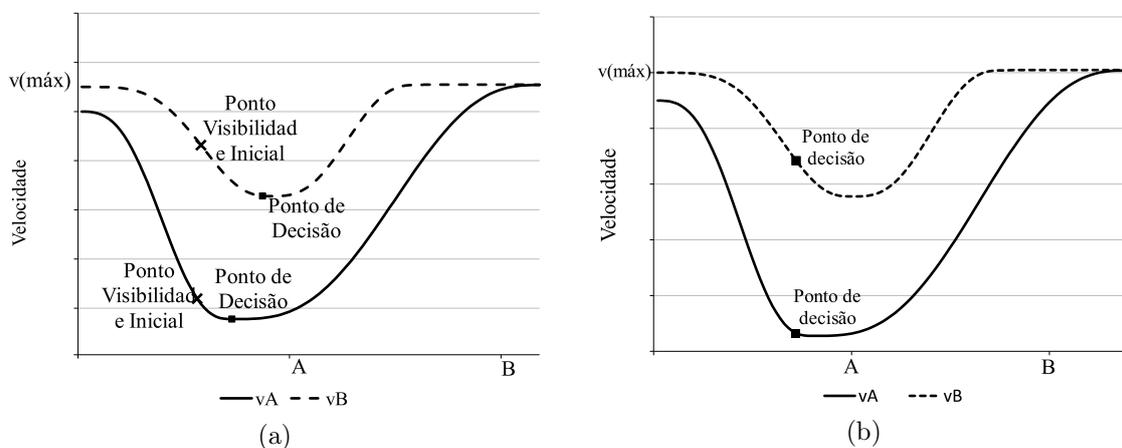


Figura 5.21: Variação da velocidade ao longo da aproximação e atravessamento do acesso

Um ciclista atento que pretenda realizar uma paragem em segurança antes do início do acesso, reduz a velocidade gradualmente por forma a acautelar a necessidade de parar antes de atingir o ponto A (ver Figura 5.21a). Para essa paragem acontecer antes do ponto A a distância do ponto de decisão¹ tem de ser igual ou superior à distância de paragem. Desta forma, se a velocidade for inferior na aproximação a distância de reação é menor e o ponto em que se volta a acelerar, se mantém a desaceleração ou se aumenta a desaceleração acontece mais

¹Ponto de decisão - ponto em que o ciclista obtém visibilidade suficiente para decidir de tem tempo de chegar e passar a interseção antes que um veículo chegue à zona de conflito ou se tem de parar

longe do início do acesso (ver Figura 5.21b). Este raciocínio leva a concluir que as menores velocidades de atravessamento verificadas em 2015 são resultado de menores velocidades de aproximação.

Comparando-se as velocidades de atravessamento entre 2013 e 2015, apresentadas na Figura 5.18, conclui-se que houve uma redução generalizada no sentido 1C pois as velocidades de atravessamento mais reduzidas são fruto de velocidades de aproximação mais reduzidas e como tal de maior precaução por parte dos ciclistas.

5.4.3 Conflitos de tráfego

Foram registados 9 conflitos potenciais, 7 no sentido 1C e 2 no sentido 2C, estes são apresentados na Tabela C.1a (Anexo C). De notar que este número é bastante reduzido, o que pode ser devido ao método de observação. O número de conflitos é superior no sentido 1C o que suporta a problemática da falta de visibilidade em conjunto com os mecanismos de deteção de conflitos referidos por Summala et al. (1995) (ver Subcapítulo 2.3.1). Salienta-se também que 2 dos conflitos ocorreram com veículos em inversão de marcha no acesso (a Figura 5.22 apresenta um desses conflitos).



Figura 5.22: Conflito registado entre ciclista e um veículo em inversão

Foram apenas registadas duas situações em que, inequivocamente, não foi dada prioridade ao ciclista, o que leva a concluir que as prioridades são bem compreendidas por parte dos condutores.

Através das mesmas imagens de vídeo, concluiu-se que de uma forma generalizada, em caso de obstrução da pista os ciclistas contornam o veículo motorizado sem efetuar qualquer paragem. Este comportamento ocorre principalmente quando se verifica congestionamento na Avenida do Brasil (sentido Aeroporto - Campo Grande) o que acontece normalmente entre as 18:30 e as 19:00. Podem classificar-se estas interações como conflitos simples, uma vez que a mudança de trajetória antecipada do ciclista evita um conflitos mais sérios. Os conflitos simples registados apresentam-se na Tabela C.2 (Anexo C).

5.4.4 Visibilidade

A análise das necessidades de visibilidade foi efetuada recorrendo à metodologia do manual AASTHO(2012) apresentada no Subcapítulo 3.3.1. O estudo passou pelo levantamento das dimensões no local das características geométricas da via e distâncias a obstáculos à visibilidade, apresentados na Figura 5.1b.

Como já foi referido, o obstáculo à visibilidade encontrado no local é o muro de ambos os lados do acesso que condiciona a visibilidade dos movimentos de saída, pelo que esses são os movimentos a considerar no cálculo da visibilidade. A configuração geométrica do local impele os condutores a realizarem as manobras de saída em duas fases: na primeira, os condutores passam a pista ciclável e numa segunda fase, entram na via principal (realizando os movimentos 3 e 4 apresentados no subcapítulo 5.3. Uma vez que manobra é realizada em duas fases não é necessário ter em conta o tempo da segunda manobra no cálculo da distância de visibilidade necessária. A altura do muro faz com que os veículos ligeiros sejam os mais condicionados em termos de visibilidade, pelo que para o cálculo da visibilidade optou-se por utilizar o veículo ligeiro apresentado no manual AASTHO (2011) (ver Figura 5.23).

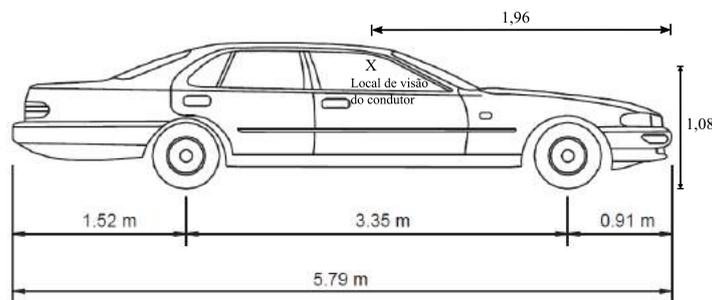


Figura 5.23: Veículo de projeto para o cálculo das distâncias de visibilidade (adaptado de AASTHO, 2011)

O procedimento de cálculo adotado para a aferição das distâncias de visibilidade necessárias consiste no cálculo do comprimento do muro que é necessário retirar em cada um dos lados do acesso para garantir a visibilidade. Este procedimento recorre à metodologia do manual AASTHO (2012) que pressupõe que a sinalização no local é de cedência de passagem para velocípedes. Por forma a aplicar a essa metodologia de cálculo foram necessárias as seguintes alterações:

- A via onde circulam os veículos não tem prioridade, como tal deve garantir-se a distância de paragem para veículos d_P ;
- Apesar da pista ter prioridade, decidiu-se garantir a distância de paragem para velocípedes, uma vez que o código da estrada diz que os ciclistas têm de garantir que realizam o atravessamento sem provocar acidentes;
- Para veículos assume-se 20 km/h como velocidade de circulação;
- Para velocípedes, utiliza-se o percentil 85 de velocidade de aproximação, V_{85}^{approx} , e atravessamento $V_{85}^{atravess}$, para as aproximações nos sentidos 1C e 2C separadamente, recolhidas no local e apresentadas na Tabela 5.3.

Capítulo 5. Caso de Estudo

Para a aferição da visibilidade, calculam-se separadamente as distâncias necessárias para garantir a visibilidade para o sentido $1C$ (ver Figura 5.24) e sentido $2C$ (ver Figura 5.25), em relação ao movimento de saída de veículos motorizados pois se as velocidades de aproximação e atravessamento são diferentes, as dimensões do triângulo de visibilidade também o são. Da mesma forma, define-se a área de conflito em relação ao movimento de saída, por esse motivo, para o sentido $2C$ considera-se o comprimento total da interseção ($w_1 = 12m$), e para sentido $1C$ apenas uma via ($w_1 = 6m$). Os veículos são colocados no centro da via e os velocípedes no centro da pista.

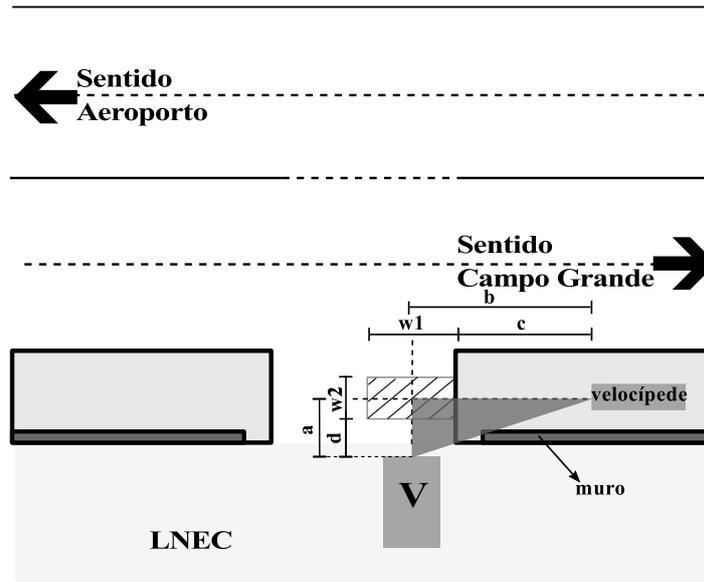


Figura 5.24: Triângulos visibilidade sentido $1C$ (adaptado de AASTHO, 2012)

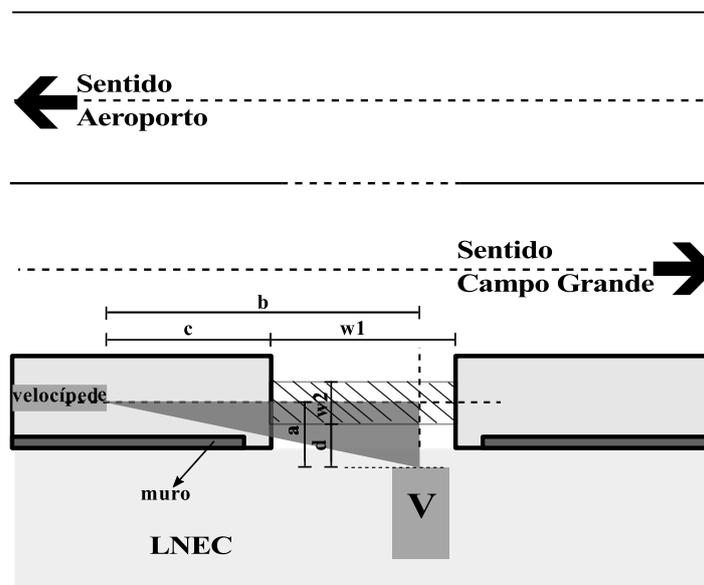


Figura 5.25: Triângulos visibilidade sentido $2C$ (adaptado de AASTHO, 2012)

Cálculo da distância a , distância de visibilidade necessária ao longo do acesso, de acordo

com as Figuras 5.24 e 5.25:

$$t_c = \frac{d_P}{0,278 \times V_{85}^{aprox}} \quad (5.3)$$

$$t_{g1} = t_c + \frac{w_1 + L_{velo}}{0,278 V_{85}^{atravess}} \quad (5.4)$$

$$a = 0,278 \times V_{estrada} \times t_{g1} \quad (5.5)$$

Em que,

d_P (m) - distância de paragem para velocípedes

t_c (s) - tempo que leva o velocípede a chegar à interseção

t_{g1} (s) - tempo que leva o velocípede a chegar e cruzar a interseção

V_{85}^{aprox} (km/h) - velocidade de aproximação pista ciclável

$V_{85}^{atravess}$ (km/h) - velocidade de atravessamento pista ciclável

$V_{estrada}$ (km/h) - velocidade de projeto do acesso

L_{velo} (m) - comprimento do velocípede

w_1 (m) - largura do acesso

Cálculo da distância de visibilidade necessária ao longo da pista b , de acordo com as Figuras 5.24 e 5.25:

$$t_d = \frac{d_P}{0,278 \times V_{estrada}} \quad (5.6)$$

$$t_{g2} = t_d + \frac{w_2 + L_v}{0,278 V_{estrada}} \quad (5.7)$$

$$b = 0,278 \times V_{85}^{aprox} \times t_{g2} \quad (5.8)$$

Em que,

d_P (m) - distância de paragem para veículos

t_d (s) - tempo que leva o veículo a chegar à ciclovia

t_{g2} (s) - tempo que leva o veículo a chegar e cruzar a interseção

V_{85}^{aprox} (km/h) - velocidade de aproximação pista ciclável

L_v (m) - comprimento do veículo

$V_{estrada}$ (km/h) - velocidade de projeto do acesso

w_2 (m) - largura da pista

Na Tabela 5.4 estão indicados os comprimentos do muro a retirar, L_{muro} , para cumprir as condições de visibilidade utilizando as Expressões 5.3

Tabela 5.4: Extensão do muro a reduzir para serem cumpridas as condições de visibilidade

Sentido 1C	a= 26,40 m	$L_{muro} = - 15,85$ m
	b=22,68 m	
Sentido 2C	a= 32,58 m	$L_{muro} = - 11,81$ m
	b= 24,29 m	

Os valores apresentados na Tabela 5.4 comprovam a falta de visibilidade do local e a inadequabilidade de um sistema de prioridade que não obrigue os veículos que saem do acesso

a parar antes de realizar a manobra. Constatou-se também pelo visionamento dos vídeos recolhidos no local que a grande maioria dos condutores imobiliza ou abranda o veículo ao aproximar-se da interseção por forma a verificar a aproximação de velocípedes.

De forma a considerar a paragem obrigatória dos veículos, foi efetuado um novo cálculo considerando que os veículos se imobilizam no local em que o condutor tem visibilidade para velocípedes no sentido *1C* (L_{muro} a retirar igual a zero). Assim, procura-se uma distância d , apresentada na Figura 5.24 que cumpra as condições de visibilidade para um veículo que retome a marcha, ou seja, adapta-se a metodologia AASTHO (2012) para condições de sinalização de paragem obrigatória para veículos motorizados. Em relação ao cálculo utilizado anteriormente, fazem-se as seguintes alterações:

- Introduce-se um tempo de reação inicial t_{ri} que corresponde ao tempo necessário para o condutor colocar o veículo em movimento de 2,5s;
- A distância de paragem d_P é substituída por um termo que tem em conta o local real de visibilidade do condutor quando se encontra à distância de visibilidade suficiente para realizar a manobra e é dado pela soma das distâncias d , distância que se pretende calcular, com 1,96m, distância entre a dianteira do veículo e o local de visão do condutor.

Cálculo da distância d , de acordo com as Figura 5.24:

$$t_d = t_{ri} + \frac{d + 1,96}{0,278 \times V_{estrada}} \quad (5.9)$$

$$t_{g2} = t_d + \frac{w_c + L_v}{0,278 V_{estrada}} \quad (5.10)$$

$$b = 0,278 \times V_{85}^{aprox} \times t_{g2} \quad (5.11)$$

Em que,

t_d (s) - tempo que leva o veículo a chegar à ciclovia

t_{g2} (s) - tempo que leva o veículo a chegar e cruzar a ciclovia

V_{85}^{aprox} (km/h) - velocidade de aproximação pista da ciclável

$V_{estrada}$ (km/h) - velocidade de projeto do acesso

L_v (m) - comprimento do veículo

w_c (m) - largura da pista

De acordo com esta metodologia, a visibilidade é atingida quando o veículo se encontra $d = 0,33m$ da pista, o que significa que há uma pequena margem de segurança e que a visibilidade deve ser aumentada.

5.5 Adequabilidade das soluções ao caso de estudo

A melhoria do funcionamento do acesso em estudo pode ser conseguida através de diferentes soluções:

- Aumentar a visibilidade e grau de alerta dos condutores face aos ciclistas;
- Aumentar a visibilidade e grau de alerta dos ciclistas face ao acesso;

5.5. Adequabilidade das soluções ao caso de estudo

- Reduzir os conflitos entre ciclistas e veículos;
- Impedir movimentos de inversão;
- Reduzir as velocidades de tráfego dos veículos motorizados.

A melhoria que se considera mais relevante consiste em aumentar a visibilidade pois ficou provado ser insuficiente no subsubcapítulo 5.4.4. Em segundo lugar, dá-se destaque ao alerta dos ciclistas face à existência do acesso. A redução das velocidades automóveis e do tráfego apresenta-se como uma melhoria favorável e a redução dos conflitos como uma consequência das anteriores.

É também necessário garantir condições de manobrabilidade para veículos pesados de mercadorias, em especial veículos de transporte de aço, uma vez que no LNEC se realizam ensaios com este tipo de material. Considera-se também relevante manter a prioridade aos velocípedes por forma a ir de encontro ao aconselhado pelos manuais da especialidade.

Seguidamente apresenta-se a análise da adequabilidade das medidas apresentadas no capítulo 3 ao caso de estudo:

- De acordo com o referido, retirar elementos obstrutivos utilizando a metodologia de cálculo baseada na metodologia AASTHO (2012), apresentada subcapítulo 5.4.4, implicaria destruir parte do muro do LNEC (16m e 12m). A solução a implementar pode consistir na destruição do muro apenas até à altura dos olhos do condutor de veículos ligeiros (destruição até 0,90m de altura). No entanto, tal solução dificilmente será aprovada pois o Campus do LNEC foi classificado como monumento de interesse público (Portaria n.º 740-Z/2012). Dessa classificação advém a especial proteção dos seus jardins e edificado no qual se inclui o referido muro que se estende ao longo de todo o limite do campus na Avenida do Brasil.
- Em relação à alteração do alinhamento horizontal, é necessário garantir que os veículos interferem o mínimo possível com a pista ciclável, principalmente nos movimentos de saída, antes de passar a pista ciclável e antes de entrar na via principal. Imediatamente depois de sair do LNEC é necessário garantir que o local de visão dos condutores permite que a parte dianteira do veículo não esteja na pista e depois de passar a pista pretende-se que a interferência da parte traseira do veículo com a pista, enquanto aguarda por entrar na via principal, seja também reduzida ao máximo. Foram analisadas as seguintes possibilidades:
 - (i) A alteração da localização da pista em relação à via principal através da implementação das soluções de aproximação, afastamento e uma solução de junção entre o conceito de faixa ciclável e a solução de aproximação. No entanto, a implementação destas soluções não é possível devido à reduzida dimensão entre a via principal e o muro (ver Figura 5.1b);
 - (ii) A diminuição da área de conflitos reduz a área de exposição dos utentes vulneráveis (peões e ciclistas), pelo que é uma solução a considerar devido à grande largura do acesso (12m) mas é necessário ter em consideração a manobrabilidade dos veículos pesados. O movimento mais condicionante para a manobrabilidade resulta num ângulo de 180°, de acordo com o apresentado na Figura 5.26. Desta forma, considera-se que o aumento de 1 a 1,5 m não acarreta problemas ao nível da manobrabilidade e favorece melhorias nos seguintes aspetos: (i) diminuição na

dispersão das trajetórias dos movimentos de saída; (ii) faz com que os movimentos de saída sejam realizados mais à esquerda, favorecendo a visibilidade dos veículos e velocípedes.

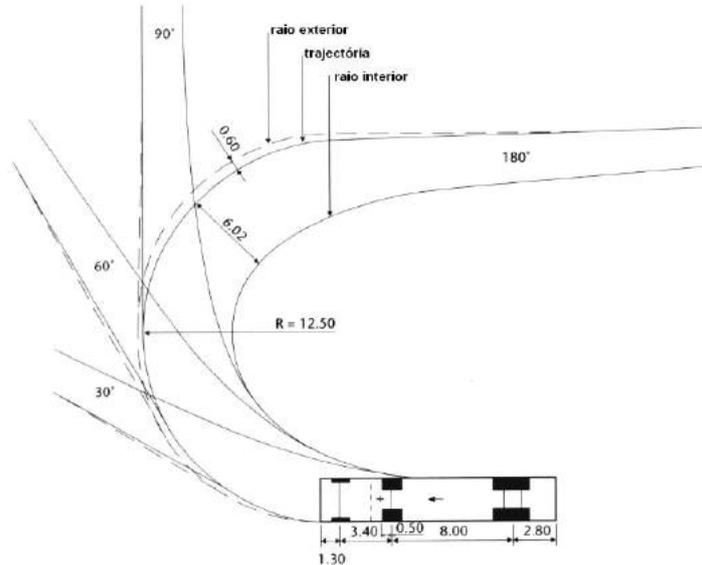


Figura 5.26: Manobrabilidade (CROW, 1998)

- Em relação à alteração do alinhamento vertical, foram analisadas as seguintes possibilidades:

- (i) A elevação do acesso, de entre as soluções de interseção elevada apresentadas no capítulo 3 (interseção elevada em todos os ramos, interseção elevada e interseção elevada simplificada) a única solução passível de ser aplicada é a interseção elevada simplificada pois a distância entre a pista e a via principal a distância é inferior a 5m. A introdução desta solução salienta a presença da pista ciclável e induz os condutores a reduzir a sua velocidade (ver subcapítulo 3.4.2). No presente caso pode ser utilizada com a introdução de uma lomba trapezoidal, conforme o apresentado na Figura 5.27;

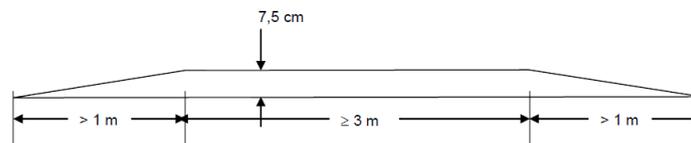


Figura 5.27: Exemplo de Lomba Redutora de Velocidade do tipo trapezoidal (ANSR, 2007b)

- (ii) O rebaixamento da ciclovia é a solução aplicada atualmente não favorecendo o caráter prioritário dos utentes da pista ciclável.
- Em termos de canalização do tráfego consideraram-se as seguintes soluções:
 - (i) A separação de sentidos de circulação do tráfego motorizado. Esta solução permite separar os movimentos, diminuir os pontos de conflito, velocidades e impedir movimentos de inversão na interseção, que resultaram em conflitos de acordo com o

5.5. Adequabilidade das soluções ao caso de estudo

estudo de conflitos (ver subcapítulo 4.2). No entanto, esta solução não assegura a manobrabilidade dos veículos pesados pelo que esta solução não é adequada.

- (ii) A introdução de canalização de tráfego direcionada para velocípedes. Esta solução consiste na delimitação da pista e na separação dos sentido de circulação imediatamente antes dos acesso, através da introdução de balizas (ver subcapítulo 3.4.3 resultam na diminuição das velocidades de atravessamento e no aumento do nível de alerta os ciclistas para a existência de um ponto sensível no seu percurso. No local já existem balizas não flexíveis nas extremidades da pista e no decorrer deste estudo foram introduzidas balizas flexíveis a eixo pela CML.
- Em relação à marcação da pista na interseção, a coloração aumenta o nível de atenção dos condutores face aos ciclistas, o que é desejável. A adoção desta solução corresponde à utilização de uma solução de marcação semelhante à apresentada na Figura 2.6c.
- Os sinais automáticos de alerta podem ter impacte significativo ao nível do alerta dos condutores da aproximação de velocípedes e não necessitam de grandes áreas de implantação. No entanto, as medidas baseadas em sinais automáticos de alerta tendem a perder a eficácia com a utilização, o que pode ser problemático pois a maioria dos condutores que utiliza o acesso são os mesmos. Dentro do âmbito da introdução de sinais automáticos de alerta analisaram-se duas possibilidades para identificação dos ciclistas de acordo como apresentado no subcapítulo 3.5:
 - (i) Utilização de câmaras térmicas para identificação dos ciclistas, esta solução permite a identificação de todos os ciclistas em pista e em estrada. No entanto, é uma solução com um custo elevado, que exigiria a implementação de duas câmaras térmicas;
 - (ii) A utilização de laços indutivos para identificação dos ciclistas, esta solução apresenta lacunas ao nível da identificação de velocípedes em fibras de carbono e apenas identifica os velocípedes que circulam na pista.
- O presente estudo considera apenas o estudo de um acesso, pelo que não é passível a análise de uma intervenção em rede.

Considerando a análise acima exposta, concluí-se que nenhuma medida por si só é suficiente. Desta forma, apresenta-se a solução que se considera mais adequada ao presente caso e que resulta da combinação de três medidas: (i) coloração do pavimento ao longo do acesso, por forma a aumentar o grau de alerta dos condutores face à existência de ciclistas; (ii) elevação do acesso, por forma a a aumentar o grau de alerta dos condutores face à existência de ciclistas e a reduzir as velocidades do tráfego motorizado; (iii) colocação de espiras de indução na pista, em ambos os lados do acesso com sinal de alerta para condutores como medida de alerta que favorece diretamente a visibilidade. Na Figura 5.28 encontra-se um esquema da solução final que se considera mais apropriada.

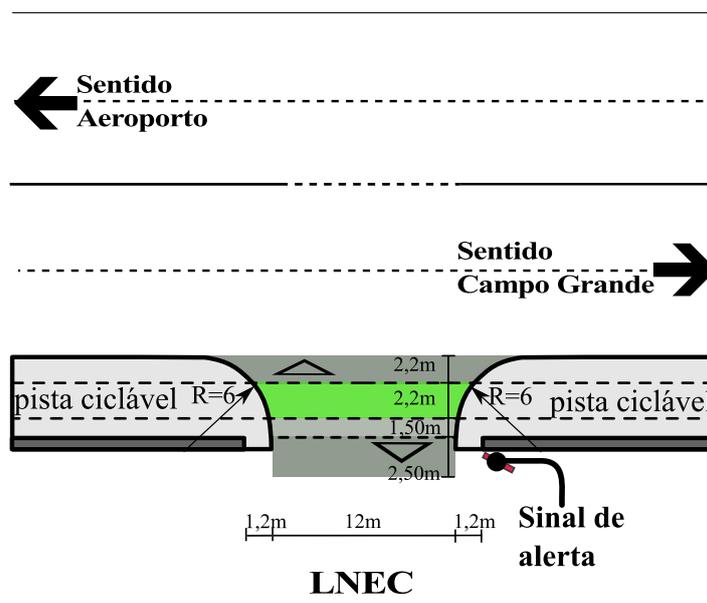


Figura 5.28: Solução Final

Capítulo 6

Notas finais

6.1 Conclusões

O trabalho apresentado está enquadrado no desenvolvimento de um estudo sobre a adequabilidade das distâncias de visibilidade no caso particular dos acessos a parques, caminhos particulares e garagens. Este estudo visa contribuir para melhorar o conhecimento sobre o comportamento dos ciclistas em interseções, bem como de soluções que vão ao encontro das suas necessidades.

O estudo desenvolvido ao nível da caracterização do tráfego para o caso de estudo permitiu as retirar as seguintes conclusões em relação aos volumes de tráfego, velocidades de circulação e conflitos:

- (i) O estudo dos volumes de tráfego de veículos motorizados permitiu identificar uma mudança de comportamento decorrente do alargamento do horário de trabalho de 35 para 40 horas semanais que se reflete em volumes de ponta mais concentrados nas horas de entrada e saída;
- (ii) O estudo dos volumes de tráfego ciclável permitiu estimar o TMD para velocípedes que poderá servir de referência para estudos futuros. Concluiu-se com esta análise que houve um aumento no volume total de velocípedes, tendo este sido mais acentuado no sentido *1C*.
- (iii) A análise das velocidade de circulação recolhidas no local permitiu calcular curvas de velocidade acumulada, bem como percentis de velocidade média e percentis 85 que permitiram as comparação com outros valores encontrados na literatura;
- (iv) O estudo das velocidades de aproximação e atravessamento permitiu aumentar o espectro de conhecimentos em relação ao comportamento dos ciclistas em zonas de reduzida visibilidade. Identificou-se uma redução acentuada da velocidade na aproximação ao acesso no lado com fracas condições de visibilidade, comportamento que não se verificou no outro lado do acesso;
- (v) O estudo dos conflitos de tráfego permitiu identificar uma estratégia de cruzamento da interseção por parte dos ciclistas em casos de congestionamento que consiste em contornar os veículos que se encontram a bloquear a pista.

O estudo desenvolvido ao nível da caracterização das necessidades de visibilidade no local em estudo permitiu aplicar a metodologia de quantificação das distâncias de visibilidade a

uma uma interseção prioritária que configura o acesso a uma propriedade. Face às características singulares do caso de estudo foi apresentada uma aplicável a acessos com configurações geométricas semelhantes, que consiste nos seguintes passos:

- (i) Definição dos triângulos de visibilidade necessários face às características geométricas, sistema de prioridades e velocidades de circulação recolhidas no local. Face aos triângulos de visibilidade definidos calcular o comprimento do muro a retirar para garantir a segurança dos utentes;
- (ii) Cálculo do local de visão onde o condutor tem visibilidade suficiente para realizar a manobra.

Utilizando a metodologia proposta para o presente caso de estudo concluiu-se que o local para o qual o condutor tem visibilidade dá-se quando o veículo se encontra a 0,33m da pista. Ou seja, a visibilidade no local deve ser melhorada.

O estudo desenvolvido ao nível das soluções de interseções com vias cicláveis, permitiu compilar um conjunto de soluções aplicáveis interseções com pistas cicláveis, com adaptabilidade a interseções prioritárias, e identificar as seguintes soluções aplicáveis ao caso de estudo:

- Remoção dos elementos obstrutivos até ao nível dos olhos do condutor, ou seja, retirar (16 m e 12m) até 1m de altura.
- Diminuição a largura do acesso por forma a reduzir a área de conflito;
- Elevação do acesso para forçar os condutores a reduzir a velocidade na aproximação à pista;
- Coloração da pista por forma a destacar a existência de uma pista ciclável;
- Introdução de uma sinal de alerta para condutores, utilizando como mecanismo de deteção espiras de indução ou câmaras térmicas;

Face à configuração geométrica do local, a solução que se considera mais apropriada resulta da combinação de diversas medidas: (i) coloração do pavimento; (ii) elevação do acesso; (iii) colocação de espiras de indução na pista, em ambos os lados do acesso com sinal de alerta para condutores.

6.2 Desenvolvimentos futuros

No seguimento deste estudo, sugere-se a integração da metodologia de cálculo de visibilidade AASTHO (2012) e a e do caso particular de que trata este documento nos manuais da especialidade.

Existe um vasto leque de possibilidades a serem exploradas ao nível das infraestruturas cicláveis e da caracterização do tráfego ciclável, pelo que se considera relevante o desenvolvimento do estudo nas seguintes vertentes:

1. Sugere-se a caracterização das variáveis do tráfego ciclável apresentadas neste documento (volumes de tráfego, velocidades de circulação e conflitos) para interseções com diferentes configurações geométricas e diferentes sistemas de prioridade;

2. O presente documento estuda a relação entre as velocidades de aproximação e atravessamento, para um caso de estudo com fracas condições de visibilidade, sugere-se essa mesma abordagem para diferentes casos de estudo por forma a aprofundar o conhecimento sobre a relação entre as velocidades de circulação e a visibilidade;
3. Caracterização dos volumes de tráfego ciclável na rede ciclável da cidade de Lisboa, através da recolha em diversos pontos em simultâneo. O estudo dos volumes de tráfego carece de constante atualização pelo que seria relevante a instalação de dispositivos de contagem de longa-duração;
4. Sugere-se um estudo sobre a origem-destino das viagens de ciclistas com base no sistema de bicicletas partilhadas a implementar pela EMEL;
5. Sugere-se a caracterização dos comportamentos dos utentes em zonas de coexistência, em especial dos conflitos e velocidades;
6. Análise do custo de cada medida por forma a determinar a relação custo/eficácia.

Bibliografia

- AASHTO Executive Committee. (2011). *Policy on geometric design of highways and streets*. 6ª edição. American Association of State Highway and Transportation Officials. Washington, DC
- AASHTO Executive Committee. (2012). *Guide for the Development of Bicycle Facilities*. 4ª edição. American Association of State Highway and Transportation Officials. Washington, DC
- Akçelik, R., & Biggs, D. C. (1987). Acceleration profile models for vehicles in road traffic. *Transportation Science*, 21(1), 36-54.
- Alhajyaseen, W. K., Asano, M., & Nakamura, H. (2012). Estimation of left-turning vehicle maneuvers for the assessment of pedestrian safety at intersections. *IATSS research*, 36(1), 66-74.
- Alhajyaseen, W. K., Asano, M., Nakamura, H., & Tan, D. M. (2011). A Methodology for Modeling the Distribution of Turning Vehicle Paths at Signalized Intersections. In *Presentation at 3rd International Conference on Road Safety and Simulation, Indianapolis, Ind.*
- Almeida Roque, C. (2010). *Revisão da Norma de Traçado*. InIR. Lisboa
- Autoridade Nacional de Segurança Rodoviária (a). *Equipamento de Segurança - Equipamentos de informação ativados pelos veículos*. Núcleo de Fiscalização e Trânsito - Unidade de Prevenção Rodoviária. Acedido em: 29, outubro, 2015 . Disponível em: <http://www.ansr.pt/>
- Autoridade Nacional de Segurança Rodoviária (b). *Manual de preenchimento BEAV*. Acedido em: 18, outubro, 2015 . Disponível em: <http://www.ansr.pt/>
- Autoridade Nacional de Segurança Rodoviária (2004). *Ano de 2003 - Sinistralidade rodoviária*. Observatório de Segurança Rodoviária.
- Autoridade Nacional de Segurança Rodoviária (2005). *Ano de 2004 - Sinistralidade rodoviária*. Observatório de Segurança Rodoviária
- Autoridade Nacional de Segurança Rodoviária (2006). *Ano de 2005 - Sinistralidade rodoviária*. Observatório de Segurança Rodoviária
- Autoridade Nacional de Segurança Rodoviária (2007). *Ano de 2006 - Sinistralidade rodoviária*. Observatório de Segurança Rodoviária
- Autoridade Nacional de Segurança Rodoviária, (2007b). *Instalação e Sinalização de Lombas Redutoras de Velocidade*. Núcleo de Fiscalização e Trânsito - Unidade de Prevenção Rodoviária. Acedido em: 29, outubro, 2015 . Disponível em: <http://www.ansr.pt/>

Bibliografia

- Autoridade Nacional de Segurança Rodoviária (2008). *Ano de 2007 - Sinistralidade rodoviária*. Observatório de Segurança Rodoviária
- Autoridade Nacional de Segurança Rodoviária (2009). *Ano de 2008- Sinistralidade rodoviária*. Observatório de Segurança Rodoviária
- Autoridade Nacional de Segurança Rodoviária (2010). *Ano de 2009 - Sinistralidade rodoviária*. Observatório de Segurança Rodoviária
- Autoridade Nacional de Segurança Rodoviária (2011). *Ano de 2010 - Vítimas a 30 dias*. Observatório de Segurança Rodoviária
- Autoridade Nacional de Segurança Rodoviária (2012). *Ano de 2011 - Vítimas a 30 dias*. Observatório de Segurança Rodoviária
- Autoridade Nacional de Segurança Rodoviária (2013). *Ano de 2012 - Vítimas a 30 dias*. Observatório de Segurança Rodoviária
- Autoridade Nacional de Segurança Rodoviária (2014a). *Ano de 2013 - Vítimas a 30 dias*. Observatório de Segurança Rodoviária
- Autoridade Nacional de Segurança Rodoviária (2014b). *Ficha Temática “Os velocípedes”*. Núcleo de Estudos e Planeamento. Acedido em: 11, novembro, 2015. Disponível em: <http://www.ansr.pt/>
- Autoridade Nacional de Segurança Rodoviária (2015). *Ano de 2014 - Vítimas a 30 dias*. Observatório de Segurança Rodoviária
- Awadallah, F. (2009). Intersection sight distance analysis and guidelines. *Transport policy*, 16(4), 143-150.
- Bernardi, S., & Ruppi, F. (2015). An Analysis of Bicycle Travel Speed and Disturbances on Off-street and On-street Facilities. *Transportation Research Procedia*, 5, 82-94.
- Branco, F., Pereira, P., & Santos, L. P. (2008). *Pavimentos rodoviários*. 4ª edição. Almedina. Coimbra
- Buehler, R., & Dill, J. (2016). Bikeway networks: A review of effects on cycling. *Transport Reviews*, 36(1), 9-27.
- Cardoso, J. (1992) *Aplicação da técnica dos conflitos de tráfego em estudos de segurança rodoviária : relatório 1*. Laboratório Nacional de Engenharia Civil. Lisboa
- Centre de Recherches Routières (2009). Guide de bonnes pratiques pour les aménagements cyclables. *Les manuels du MET*, 10. Bélgica. Acedido em: 12, fevereiro, 2016. Disponível em: <http://www.gamah.be/documentation/ouvrages-de-reference/manuel-met-10>
- Centre de Recherches Routières (CRR). (2006). Guide de bonnes pratiques pour l'aménagement de cheminements piétons accessibles à tous. *Les manuels du MET*, 10. Bélgica. Acedido em: 12, fevereiro, 2016. Disponível em: <http://www.gamah.be/documentation/ouvrages-de-reference/manuel-met-10>
- Chataway, E. S., Kaplan, S., Nielsen, T. A. S., & Prato, C. G. (2014). Safety perceptions and reported behavior related to cycling in mixed traffic: A comparison between Brisbane and Copenhagen. *Transportation research part F: traffic psychology and behaviour*, 23, 32-43.

- Código da Estrada. Lei n.º 72/2013 de 3 de setembro. *Diário da República*, 1.ª série - N.º 169
- Communauté d'Agglomération Porte de l'Isère (CAPI). *Guide des aménagements cyclables*. Acedido em: 12, fevereiro, 2016. Disponível em: <http://www.capi-agglo.fr/>
- Copenhagenize Design Co. (2014). *The Desire Lines of Bicycle Users in Amsterdam*. Acedido em: 28, dezembro, 2015. Disponível em: <http://copenhagenize.eu/>
- Costa, A., & Macedo, J. (2008). Engenharia de Tráfego: Conceitos Básicos. *Manual do Planeamento de Acessibilidades e Transportes*, 1-32.
- CROW (1998). *Recommendations for traffic provisions in built-up area*. Information and Technology centre for Transport and Infrastructure. Vol. Record No 15
- Cycle Embassy of Denmark (2012). *Collection of cycle concepts 2012*. 1ª Edição. Cycle Embassy of Denmark
- El Esawey, M., Lim, C., & Sayed, T. (2015). Development of a cycling data model: City of Vancouver case study. *Canadian Journal of Civil Engineering*, 42(12), 1000-1010.
- El Esawey, M. (2014). Estimation of Annual Average Daily Bicycle Traffic with Adjustment Factors. *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*, (2443), 106-114.
- Elvik, R., & Mysen, A. (1999). Incomplete accident reporting: meta-analysis of studies made in 13 countries. *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*, (1665), 133-140.
- European Communities (1999). *cycling: the way ahead for towns and cities*. Office for Official Publications of the European Communities. Luxembourg
- Federal Highway Administration. (2015). *Separated Bike Lane Planning and Design Guide*. Acedido em: 25, novembro, 2015. Disponível em: <https://www.fhwa.dot.gov/> (FHWA-HEP-15-025)
- Félix, R. (2012). *Gestão da Mobilidade em Bicicleta. Necessidades, factores de preferência e ferramentas de suporte ao planeamento e gestão de redes. O caso de Lisboa*. Dissertação de Mestrado em Engenharia do Território. Instituto Superior Técnico - Universidade Técnica de Lisboa, Lisboa.
- Figliozzi, M., Wheeler, N., & Monsere, C. (2013). Methodology for estimating bicyclist acceleration and speed distributions at intersections. *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*, (2387), 66-75.
- FLIR Commercial Systems B.V. (2012). *Application note: FLIR thermal imaging sensor improves bicycle safety at Tamaki Drive, Auckland, New-Zealand*. Acedido em: 23, dezembro, 2015. Disponível em <http://flirmedia.com/>
- Forester, J. (1994). *Bicycle transportation: a handbook for cycling transportation engineers*. Mit Press.
- Gössling, S., & Choi, A. S. (2015). *Transport transitions in Copenhagen: Comparing the cost of cars and bicycles*. *Ecological Economics*, 113, 106-113.
- Instituto da Mobilidade e dos Transportes (2012). *Plano de Promoção da Bicicleta e Outros Modos Suaves 2013-2020*.

Bibliografia

- Instituto da Mobilidade e dos Transportes Terrestres (2011) Rede Ciclável Princípios de Planeamento e Desenho. *Colecção de brochuras técnicas/temáticas*. Lisboa.
- Instituto de Infra-estruturas Rodoviárias (2011). Medidas Individuais Aplicadas em Atravesamentos de Localidades. *Medidas de Acalmia de tráfego*. Vol. 1. Acedido em: 12, janeiro, 2016. Disponível em: <http://www.imtt.pt/>
- Instituto Nacional de Estatística (2015). Índices de Preços na Produção Industrial. Acedido em 24 de Novembro de 2003. Disponível em: <http://www.ine.pt>.
- Jacobsen, P. L. (2003). Safety in numbers: more walkers and bicyclists, safer walking and bicycling. *Injury prevention*, 9(3), 205-209.
- Jensen, P., Rouquier, J. B., Ovtracht, N., & Robardet, C. (2010). Characterizing the speed and paths of shared bicycle use in Lyon. *Transportation research part D: transport and environment*, 15(8), 522-524.
- Jensen, S. U., Rosenkilde, C., & Jensen, N. (2007). *Road safety and perceived risk of cycle facilities in Copenhagen*. Presentation to AGM of European Cyclists Federation.
- Junta Autónoma de Estradas (1990) *Norma de Intersecções*. Junta Autónoma de Estradas. Almada.
- Junta Autónoma de Estradas (1995). *Norma de Marcas Rodoviárias*. Junta Autónoma de Estradas. Almada.
- Li, B., Xiong, S., Li, X., Liu, M., & Zhang, X. (2015). The Behavior Analysis of Pedestrian-cyclist Interaction at Non-signalized Intersection on Campus: Conflict and Interference. *Procedia Manufacturing*, 3, 3345-3352.
- Luo, D. (2014). *Modeling of cyclists acceleration behavior using naturalistic data..* Msc Thesis. Department of Transport Science, Division of Traffic and Logistics, KTH Royal Institute of Technology. 76pp
- Marques (2005) *Engenharia de Segurança Rodoviária em áreas urbanas - Recomendações e Boas Práticas*, 1ª Edição. Prevenção Rodoviária Portuguesa. Lisboa
- Miranda-Moreno, L., Nosal, T., Schneider, R., & Proulx, F. (2013). Classification of bicycle traffic patterns in five North American Cities. *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*, (2339), 68-79.
- National Association of City Transportation Officials. (2014). *Urban Bikeway Design Guide*. Island Press. New York
- Nordback, K., Marshall, W., Janson, B., & Stolz, E. (2013). Estimating annual average daily bicyclists: Error and accuracy. *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*, (2339), 90-97.
- ONU. (2012). *Report of the United Nations Conference on Sustainable Development. Rio de Janeiro, Brazil, 20-22 June 2012*. United Nations. New York
- Pedler, A., & Davies, D. G. (2000). *Cycle Track Crossings of Minor Roads*. TRL REPORT 462
- Pein, W. (1997). Bicyclist performance on a multiuse trail. *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*, (1578), 127-131.

- Perkins, S.R., & Harris, J.I. (1968). Traffic conflict characteristics: Accident potential at intersections. *Highway Research Record* 225, 45-143. Highway Research Board. Washington DC
- Phillips, R. O., Bjørnskau, T., Hagman, R., & Sagberg, F. (2011). Reduction in car bicycle conflict at a road cycle path intersection: evidence of road user adaptation?. *Transportation research part F: traffic psychology and behaviour*, 14 (2), 87-95.
- Pooley, C., Tight, M., Jones, T., Horton, D., Scheldeman, G., Jopson, A., ... & Constantine, S. (2011). *Understanding walking and cycling: summary of key findings and recommendations*.
- Pucher, J., & Buehler, R. (2008). Cycling for everyone: lessons from Europe. *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*, (2074), 58-65.
- Pucher, J., Dill, J., & Handy, S. (2010). Infrastructure, programs, and policies to increase bicycling: an international review. *Preventive medicine*, 50, S106-S125.
- Rubins, D., & Handy, S. (2005). Times of bicycle crossings: Case study of Davis, California. *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*, (1939), 22-27.
- Schepers, J. P., Kroeze, P. A., Sweers, W., & Wüst, J. C. (2011). Road factors and bicycle-motor vehicle crashes at unsignalized priority intersections. *Accident Analysis & Prevention*, 43(3), 853-861.
- Ryus, P., Ferguson, E., Laustsen, K. M., Schneider, R. J., Proulx, F. R., Hull, T., & Miranda-Moreno, L. (2014). *Guidebook on Pedestrian and Bicycle Volume Data Collection* (No. Project 07-19).
- Schleinitz, K., Petzoldt, T., Franke-Bartholdt, L., Krems, J. F., & Gehlert, T. (2015). Conflict partners and infrastructure use in safety critical events in cycling - Results from a naturalistic cycling study. *Transportation research part F: traffic psychology and behaviour*, 31, 99-111.
- Seco, A., Macedo, J. & Costa, A. (2008). Segurança Rodoviária. *Manual do planeamento de acessibilidades e transportes*. Comissão de Coordenação e Desenvolvimento Regional do Norte.
- Silva, A., Seco, A. & Macedo, J. (2008). Interseções prioritárias e de viragem à direita. *Manual do planeamento de acessibilidades e transportes*. Comissão de Coordenação e Desenvolvimento Regional do Norte.
- Silva Oliveira, R. (a). Distância de reacção: parte 1. *Distância de paragem - Artigos Técnicos ANSR*. Acedido em: 6, janeiro, 2016 . Disponível em: <http://www.ansr.pt/>
- Silva Oliveira, R. (b). Distância de travagem: parte 2. *Distância de paragem - Artigos Técnicos ANSR*. Acedido em: 6, janeiro, 2016 . Disponível em: <http://www.ansr.pt/>
- St-Aubin, P., Saunier, N., & Miranda-Moreno, L. (2015). Large-scale automated proactive road safety analysis using video data. *Transportation Research Part C: Emerging Technologies*, 58, 363-379.
- Summala, H., Pasanen, E., Räsänen, M., & Sievänen, J. (1996). Bicycle accidents and drivers' visual search at left and right turns. *Accident Analysis & Prevention*, 28(2), 147-153.

Bibliografia

- Sustrans (2014). *Handbook for cycle-friendly design*. Acedido em: 4, fevereiro, 2016. Disponível em: <http://www.sustrans.org.uk/>
- Teschke, K., Harris, M. A., Reynolds, C. C., Winters, M., Babul, S., Chipman, M., ... & Monro, M. (2012). Route infrastructure and the risk of injuries to bicyclists: a case-crossover study. *American journal of public health*, 102(12), 2336-2343.
- Transport for London. (2015) *London Cycling Design Standards*. Acedido em: 14, setembro, 2015. Disponível em: <https://tfl.gov.uk/corporate/publications-and-reports/streets-toolkit>
- Vanparijs, J., Panis, L. I., Meeusen, R., & de Geus, B. (2015). Exposure measurement in bicycle safety analysis: A review of the literature. *Accident Analysis & Prevention*, 84, 9-19.
- Veith, G., & Eady, P. (2011). *Cycling aspects of Austroads guides* (No. AP-G88/11).
- Vieira Gomes, S (2015). A estimativa de frequências esperadas de acidentes na identificação de zonas de acumulação de acidentes. *Revista Portuguesa de Sinalização*, número 6, Maio de 2015.
- Vieira Gomes, S. & Carvalheira, C. (2013a). *Análise da sinistralidade rodoviária de Lisboa em 2008*. Relatório 429/2013 - NPTS, LNEC. Lisboa
- Vieira Gomes, S. & Carvalheira, C. (2013b). *Análise da sinistralidade rodoviária de Lisboa entre 2009 e 2011*. Relatório 430/2013 - NPTS, LNEC. Lisboa
- Vieira Gomes, S. & Carvalheira, C. (2013c). *Identificação de zonas de acumulação de acidentes rodoviários na cidade de Lisboa*. Relatório 431/2013 - NPTS, LNEC. Lisboa
- Wegman, F., Zhang, F., & Dijkstra, A. (2012). How to make more cycling good for road safety? *Accident Analysis & Prevention*, 44(1), 19-29.

Anexo A

Análise de sinistralidade com velocípedes

Os mapas apresentados foram desenvolvidos no âmbito do estudo sobre a sinistralidade rodoviária no concelho de Lisboa (Vieira Gomes (2015); Vieira Gomes e Carvalheira (2013a); Vieira Gomes e Carvalheira (2013b); Vieira Gomes e Carvalheira (2013c)).

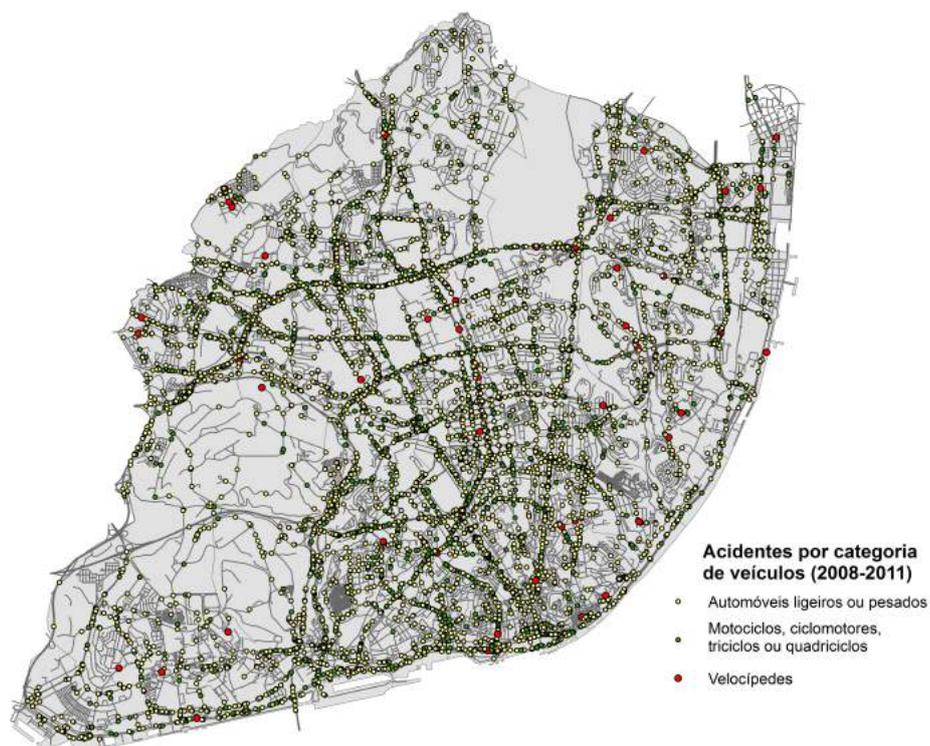


Figura A.1: Distribuição dos acidentes por categoria de veículo (Vieira Gomes e Carvalheira, 2013c)

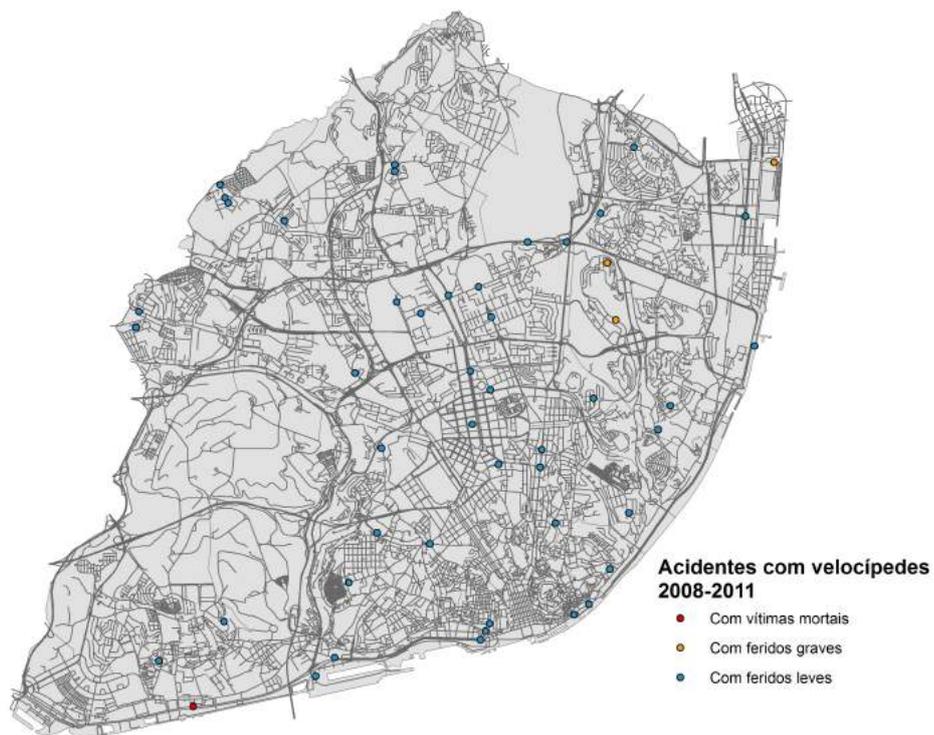


Figura A.2: Distribuição dos acidentes por tipo de vítima (Vieira Gomes e Carvalheira, 2013a)

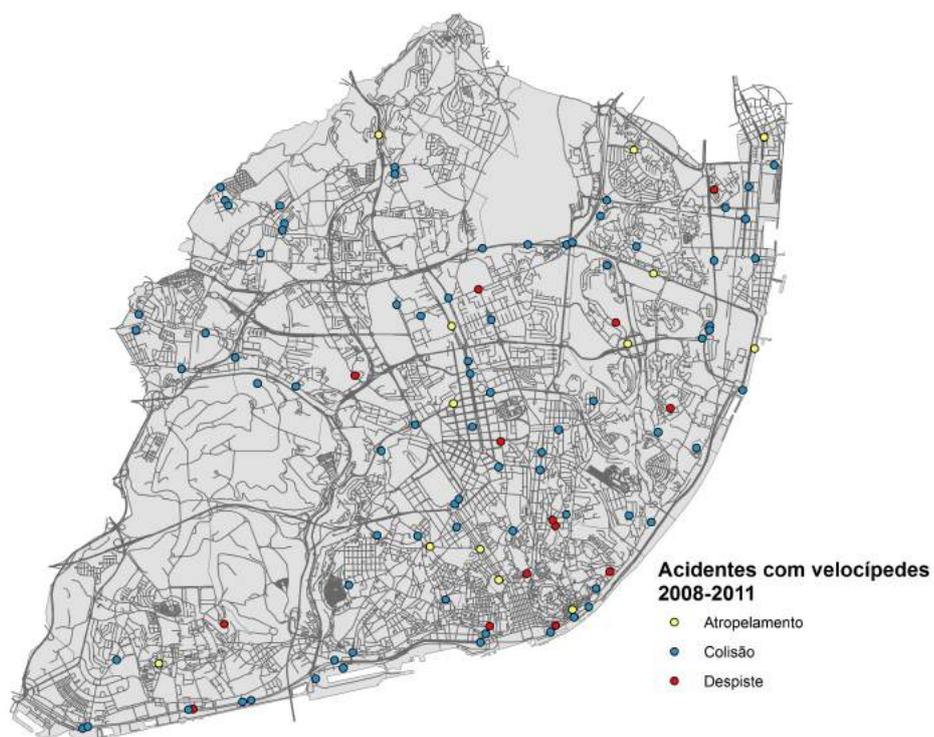


Figura A.3: Distribuição dos acidentes por tipo de acidente (Vieira Gomes, 2015)

Anexo B

Enquadramento da temática

B.1 Enquadramento dos documentos técnicos

Tabela B.1: Enquadramento dos documentos de entidades oficiais considerados

País	Nome	Instituto	Aplicação
Portugal	Norma de traçado	JAE	Todas estradas
	Norma de intersecções	JAE	Intersecções
	Medidas de acalmia de tráfego	INIR	Acalmia de tráfego
	Brochura técnica: Rede Ciclável - Princípios de Planeamento e Desenho	IMTT	Infraestruturas cicláveis
EUA	<i>A Policy on Geometric Design of Highways and Streets</i>	AASHTO	Todas estradas
	<i>Guide for the Development of Bicycle Facilities</i>	AASHTO	Infraestruturas cicláveis
	<i>Urban Bikeway Design Guide</i>	NACTO	Infraestruturas cicláveis
	<i>Urban Street Design Guide</i>	NACTO	Vias urbanas
	<i>Separated Bike Lanes Planning and Design Guide</i>	FHWA	Pistas cicláveis
Inglaterra	<i>London Cycling Design Standards</i>	<i>Transport for London</i>	Infraestruturas cicláveis
Holanda	<i>Recommendations for traffic provisions in built-up areas</i>	CROW	Todas estradas e infraestruturas cicláveis
Dinamarca	<i>Collection of Cycle Concepts</i>	<i>Road Directorate</i>	Infraestruturas cicláveis
Austrália	<i>Cycling Aspects of Austroads Guides</i>	Austroads Guides	Infraestruturas cicláveis
França	<i>Recommandations pour les itinéraires cyclables</i>	Certu	Infraestruturas cicláveis
Bélgica	<i>Guide de bonnes pratiques pour les aménagements cyclables</i>	Centre de Recherches Routières	Infraestruturas cicláveis

B.2 Sinalização vertical

Tabela B.2: Sinalização vertical no âmbito do modo de transporte ciclável de prioridade, perigo e proibição

Sinal	Código	Definição	Observações	Localização do sinal
	B1	Cedência de Passagem	Indicação de que o condutor deve ceder passagem a todos os veículos que transitem na via de que se aproxima	Utilizado nas proximidades de interseções;
	B2	Paragem obrigatória no cruzamento ou entroncamento	Indicação de que o condutor é obrigado a parar antes de entrar no cruzamento ou entroncamento junto do qual o sinal se encontra colocado e ceder a passagem a todos os veículos que transitem na via em que vai entrar	
	A17	Saída de ciclistas	Indicação da proximidade de um local frequentemente utilizado por ciclistas que pretendem entrar na via pública ou atravessá-la	Entre 150m a 300m antes do ponto a que se refere
	C2	Trânsito proibido	Indicação da proibição de transitar em ambos os sentidos.	No início e fim da via respeitante e sempre que haja interrupções
	C4e	Trânsito proibido a peões, a animais e a veículos que não sejam automóveis ou motociclos	Indicação de acesso interdito a peões, a animais e veículos que não sejam automóveis nem motociclos com cilindrada superior a 50cm ³	
	C4f	Trânsito proibido a veículos de duas rodas	Indicação de acesso interdito a todos os veículos de duas rodas	
	C3g	Trânsito proibido a velocípedes	Indicação de acesso interdito a velocípedes	

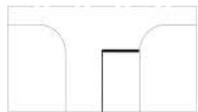
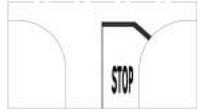
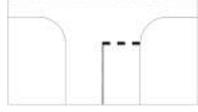
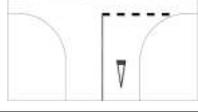
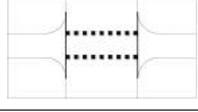
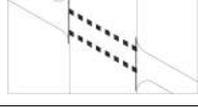
Anexo B. Enquadramento da temática

Tabela B.3: Sinalização vertical no âmbito do modo de transporte ciclável de obrigação

Sinal	Código	Definição	Observações	Localização do sinal
	D7a	Pista obrigatória para velocípedes	Indicação da obrigação de os velocípedes circularem pela pista que lhes é especialmente destinada	No início e fim da pista e sempre que haja interrupções da pista;
	D13a	Fim de pista obrigatória para velocípedes		
	D7e	Pista obrigatória para peões e velocípedes	Indicação de que os peões, bem como os velocípedes, são obrigados a utilizar uma pista que lhes é especialmente destinada, devendo, para sinalizar esta pista, ser utilizado o sinal D7e ou D7f, consoante, e respectivamente, não exista ou exista separação entre as duas partes da pista destinadas ao trânsito de peões e ao de velocípedes	
	D13e	Fim de pista obrigatória para peões e velocípedes		
	D7f	Pista obrigatória para peões e velocípedes		
	D13f	Fim de pista obrigatória para peões e velocípedes		

B.3 Marcas rodoviárias

Tabela B.4: Marcas transversais

Sinal	Código	Definição	Observações
	M8	Linha de paragem	Linha transversal contínua e indica o local de paragem obrigatória, imposta por outro meio de sinalização
	M8a	Linha de paragem STOP	
	M9	Linha de cedência de passagem	
	M9a	Linha de cedência de passagem com símbolo triangular	
	M10	Passagem para ciclistas	Indica o local por onde os ciclistas deve fazer o atravessamento da faixa de rodagem
	M10a	Passagem para ciclistas	

Anexo C

Anexos relativos ao caso de estudo

C.1 Enquadramento no âmbito do PDM

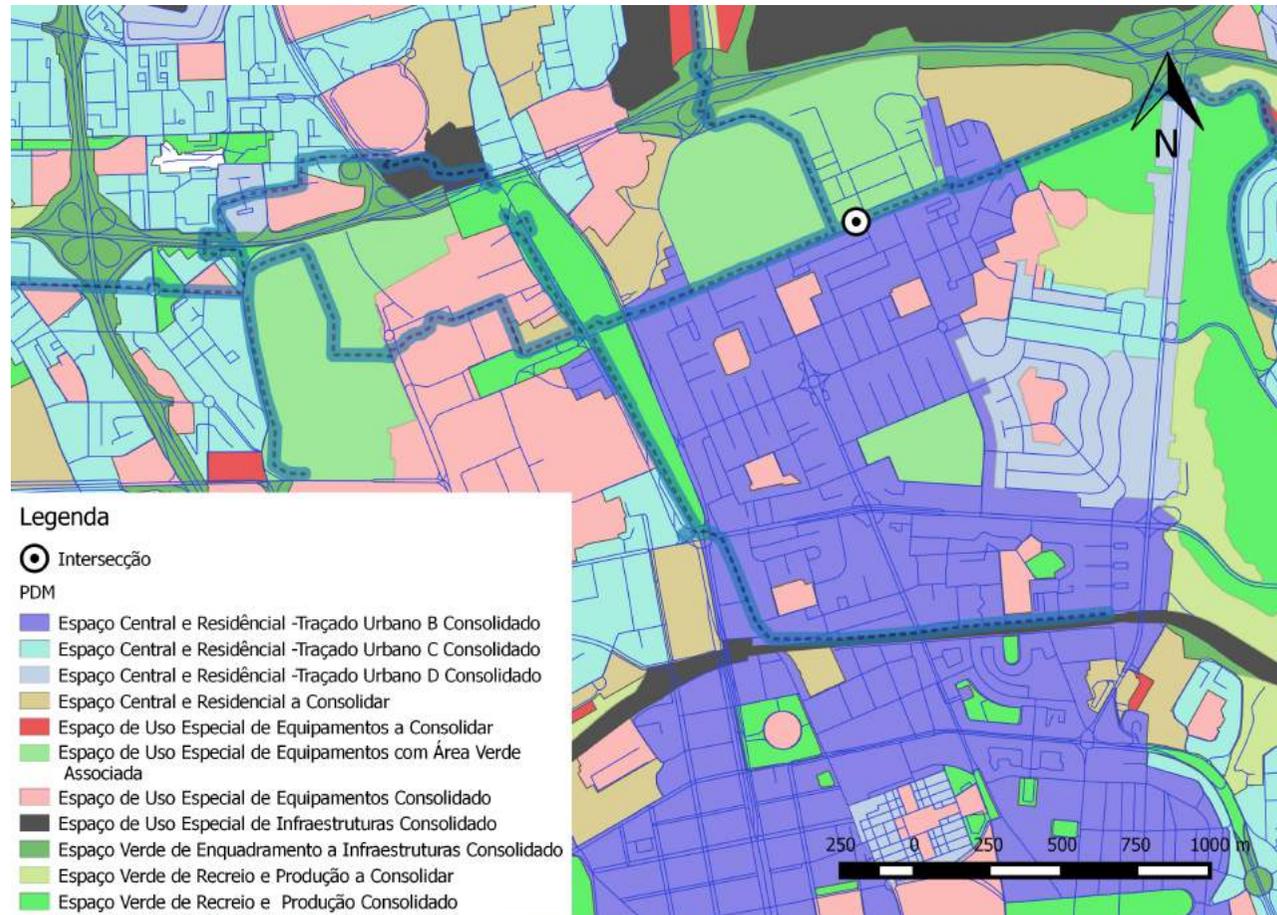


Figura C.1: PDM de Lisboa (CML, 2012)

Análise do Tráfego no Acesso ao LNEC

Data:

Intervalo	Hora de Início (hh:mm)	Período de Tempo (hh:mm)		Tráfego de Veículos c/ Motor											
				Entradas						Saídas					
				Esquerda 1			Direita 2			Esquerda 3			Direita 4		
00:15	Início	Fim	Lig.	Motoc	Pes.	Lig.	Motoc	Pes.	Lig.	Motoc	Pes.	Lig.	Motoc	Pes.	

Intervalo	Hora de Início (hh:mm)	Período de Tempo (hh:mm)		Tráfego de Peões							
				No Passeio						Na Faixa de Rodagem	
				1P	2P	1PE	2PE	1PS	2PS	1A	2A
00:15	Início	Fim									

Tráfego de Ciclistas										
Sentido 1C ou 2C			nº vídeo	Hora Entrada	Hora F.Geral	Observações	Código Observação	Tempo Atravessamento	Velocidade Atravessamento	
	1	2								

Figura C.2: Folha de registo de contagens

Anexo C. Anexos relativos ao caso de estudo

Tabela C.1: Dados retirados da análise vídeo - conflitos

(a) Conflitos Potenciais

Dia	Sentido Velocípede	Movimento Veículo	Hora
07-05-2013	1C	1	9:47
08-05-2013	1C	1	9:25
09-05-2013	2C	5	9:21
10-05-2013	1C	2	9:27
23-10-2015	1C	5	7:53
23-10-2015	1C	1	8:51
12-11-2015	2C	3	12:18
13-11-2015	1C	3	14:16
13-11-2015	1C	2	13:19

(b) Cedência de passagem não cumprida

Dia	Sentido Velocípede	Movimento Veículo	Hora
07-05-2013	1C	1	9:10
09-05-2013	2C	1	9:07

Tabela C.2: N° de desvios registados (conflitos simples/ encontros)

Período horário	N° de desvios
08:00 - 09:00	2
09:00 - 10:00	5
10:00 - 11:00	2
11:00 - 12:00	2
12:00 - 13:00	6
13:00 - 14:00	8
14:00 - 15:00	5
15:00 - 16:00	2
16:00 - 17:00	11
17:00 - 18:00	30
18:00 - 19:00	31
19:00 - 20:00	10