



LABORATÓRIO NACIONAL  
DE ENGENHARIA CIVIL

DEPARTAMENTO DE TRANSPORTES  
Núcleo de Planeamento, Tráfego e Segurança

Proc. 0703/14/15767

## **MODELOS DE ESTIMATIVA DE FREQUÊNCIA DE ACIDENTES RODOVIÁRIOS EM MEIO URBANO**

Lisboa • Maio de 2011

**I&D** TRANSPORTES

**RELATÓRIO 151/2011 – NPTS**



# MODELOS DE ESTIMATIVA DE FREQUÊNCIA DE ACIDENTES

## SUMÁRIO

---

O presente documento constitui o segundo relatório referente à actividade desenvolvida pelo Laboratório Nacional de Engenharia Civil (LNEC) e pela Faculdade de Ciências e Tecnologias da Universidade de Coimbra (FCT/UC) no âmbito do projecto IRUMS – Infra-estruturas Rodoviárias Urbanas Mais Seguras, a qual se integra também num protocolo assinado com a Câmara Municipal de Lisboa.

Neste relatório apresentam-se os modelos de estimativa de frequência de acidentes desenvolvidos para a cidade de Lisboa, para cujo desenvolvimento foram adoptadas diversas desagregações. Assim, segundo o elemento rodoviário consideraram-se separadamente as intersecções (intersecção de três ramos, intersecção de quatro ramos e rotundas) e os segmentos; e segundo o tipo de acidente foram considerados os atropelamentos e os restantes acidentes com vítimas. No que se refere às variáveis explicativas relacionadas com o ambiente rodoviário foram desenvolvidos dois tipos de modelos: simplificados (apenas com as variáveis de exposição ao risco) e globais (com todas as potenciais variáveis explicativas). No conjunto de potenciais variáveis explicativas está incluída a exposição dos utentes vulneráveis, de forma a melhorar a qualidade das estimativas do nível de sinistralidade nos arruamentos urbanas.

É ainda explicada a construção de uma base de dados georreferenciada dos acidentes rodoviários ocorridos na cidade de Lisboa entre 2004 e 2007, utilizada na recolha de dados de acidentes para os locais incluídos na amostra a modelar.



# ABSTRACT

---

This is the second report resulting from the activity developed by the National Laboratory of Civil Engineering (LNEC) and by the College of Sciences and Technologies of the University of Coimbra (FCT/UC) in the scope of the project IRUMS - Safer Roads in Urban Areas, and also within a protocol signed with the Lisbon City Municipality.

In this report models are presented to estimate the road accident frequency in the city of Lisbon, disaggregated by several types of factors. Separate models were developed for estimating accident frequencies: at intersections (three leg intersections, four leg intersections and roundabouts) or at segments; and involving pedestrians or other types of injury accidents. With regard to road environment explanatory variables, two types of models were developed: simplified (using exposure to risk variables only) and global (with other potential explanatory variables). The group of potential explanatory variables includes exposure data for vulnerable road users in order to improve the quality of the estimates of the safety level in urban roads.

The development of the geocoded database is described as well. This database includes road accidents which have occurred in Lisbon between 2004 and 2007; its information supported the development of the reported accident models.



# ÍNDICE

<b>1   INTRODUÇÃO .....</b>	<b>1</b>
<b>2   INFORMAÇÃO RECOLHIDA.....</b>	<b>5</b>
2.1    DADOS SOBRE ACIDENTES PARA CONSTRUÇÃO DA BASE DE DADOS NUM SISTEMA DE INFORMAÇÃO GEOGRÁFICA.....	5
2.2    DADOS SOBRE TRÁFEGO RODOVIÁRIO E PEDONAL.....	11
2.3    DADOS SOBRE AS CARACTERÍSTICAS DO AMBIENTE RODOVIÁRIO NOS LOCAIS A MODELAR	18
<b>3   MODELOS DE ESTIMATIVA DE ACIDENTES PARA A CIDADE DE LISBOA .....</b>	<b>23</b>
3.1    NOTA PRÉVIA .....	23
3.2    METODOLOGIA .....	26
3.3    INTERSECÇÕES .....	32
3.3.1 <i>Intersecções de três ramos</i> .....	33
3.3.1.1    Modelo global de estimativa de frequência de atropelamentos .....	35
3.3.1.2    Modelo simplificado de estimativa de frequência de atropelamentos.....	36
3.3.1.3    Modelo global de estimativa de frequência de NAT .....	37
3.3.1.4    Modelo simplificado de estimativa de frequência de NAT .....	40
3.3.2 <i>Intersecções de quatro ramos</i> .....	41
3.3.2.1    Modelo global de estimativa de frequência de atropelamentos .....	44
3.3.2.2    Modelo simplificado de estimativa de frequência de atropelamentos.....	46
3.3.2.3    Modelo global de estimativa de frequência de NAT .....	47
3.3.2.4    Modelo simplificado de estimativa de frequência de NAT .....	50
3.3.3 <i>Intersecções de três e quatro ramos</i> .....	51
3.3.3.1    Modelo global de estimativa de frequência de atropelamentos .....	52
3.3.3.2    Modelo simplificado de estimativa de frequência de atropelamentos.....	52
3.3.3.3    Modelo global de estimativa de frequência de NAT .....	53
3.3.3.4    Modelo simplificado de estimativa de frequência de NAT .....	56
3.3.4 <i>Rotundas</i> .....	57
3.3.4.1    Modelo global de estimativa de frequência de atropelamentos .....	59
3.3.4.2    Modelo simplificado de estimativa de frequência de atropelamentos.....	59
3.3.4.3    Modelo global de estimativa de frequência de NAT .....	60
3.3.4.4    Modelo simplificado de estimativa de frequência de NAT .....	62
3.4    SEGMENTOS .....	63
3.4.1 <i>Modelo global de estimativa de frequência de atropelamentos</i> .....	63
3.4.2 <i>Modelo global de estimativa de frequência de NAT</i> .....	66
3.4.3 <i>Modelo simplificado de estimativa de frequência de NAT</i> .....	70
3.5    NOTAS FINAIS.....	72
3.5.1 <i>Modelos de estimativa de frequência de atropelamentos</i> .....	72

3.5.2	<i>Modelos de estimativa de frequência de acidentes com vítimas excluindo atropelamentos</i> .....	76
<b>4  </b>	<b>APLICAÇÕES DO TRABALHO DESENVOLVIDO</b> .....	<b>83</b>
4.1	MÉTODO EMPÍRICO DE BAYES.....	85
4.2	APLICAÇÃO DO MEB .....	86
4.2.1	<i>Existência de dados de exposição</i> .....	86
4.2.2	<i>Inexistência de dados de exposição em que a contagem é possível</i> .....	88
4.2.3	<i>Inexistência de dados de exposição em que a contagem não é possível</i> .....	88
<b>5  </b>	<b>CONCLUSÕES E TRABALHO FUTURO</b> .....	<b>91</b>
<b>6  </b>	<b>BIBLIOGRAFIA</b> .....	<b>95</b>
	<b>ANEXO I – LISTA DE LOCAIS INCLUÍDOS NAS AMOSTRAS A MODELAR</b> .....	<b>99</b>

## ÍNDICE DE QUADROS

Quadro 1 – Factores médios de conversão de VHP em TMDA .....	15
Quadro 2 – Principais características das amostras usadas no desenvolvimento de MEFA .....	24
Quadro 3 - Estatísticas seleccionadas dos dados de AT e de tráfego motorizado e pedonal em intersecções de três ramos.....	34
Quadro 4 – Estatísticas seleccionadas das potenciais variáveis explicativas utilizadas na modelação de AT em intersecções de três ramos.....	35
Quadro 5 – Estatísticas do MEFAT simplificado em intersecções de três ramos .....	36
Quadro 6 – Estatísticas seleccionadas das potenciais variáveis explicativas em intersecções de três ramos utilizadas na modelação de NAT .....	38
Quadro 7 – Estatísticas do MEFNAT global em intersecções de três ramos.....	39
Quadro 8 – Estatísticas do MEFNAT simplificado em intersecções de três ramos.....	41
Quadro 9 - Estatísticas seleccionadas dos acidentes (AT e NAT) ocorridos em intersecções de quatro ramos .....	43
Quadro 10 – Estatísticas seleccionadas das potenciais variáveis explicativas usadas na modelação de AT em intersecções de quatro ramos .....	44
Quadro 11 – Estatísticas do MEFAT global em intersecções de quatro ramos .....	45
Quadro 12 – Resultado do MEFAT simplificado em intersecções de quatro ramos ....	47
Quadro 13 - Estatísticas seleccionadas das potenciais variáveis explicativas em intersecções de quatro ramos utilizadas na modelação de NAT .....	48
Quadro 14 – Estatísticas do MEFNAT global em intersecções de quatro ramos.....	49
Quadro 15 – Estatísticas do MEFNAT simplificado em intersecções de quatro ramos	51
Quadro 16 - Estatísticas seleccionadas da variável explicativa LEG em intersecções de três e quatro ramos.....	52
Quadro 17 – Estatísticas do MEFAT simplificado em intersecções de três e quatro ramos agrupadas.....	53
Quadro 18 – Estatísticas seleccionadas da variável explicativa LEG em intersecções	

de três e quatro ramos.....	54
Quadro 19 – Estatísticas seleccionadas do MEFNAT global em intersecções de três e quatro ramos .....	55
Quadro 20 – Estatísticas seleccionadas do ajuste do MEFNAT simplificado em intersecções de três e quatro ramos.....	57
Quadro 21 – Estatísticas seleccionadas dos dados sobre acidentes (AT e NAT) ocorridos em rotundas.....	58
Quadro 22 - Estatísticas seleccionadas das potenciais variáveis explicativas utilizadas no desenvolvimento de MEFAT em rotundas .....	59
Quadro 23 – Estatísticas do MEFAT simplificado em rotundas (sem a intersecção 1)	60
Quadro 24 - Estatísticas seleccionadas da nova variável explicativa $V_{ANEL}$ testada na modelação de NAT ocorridos em rotundas.....	61
Quadro 25 – Estatísticas seleccionadas do MEFNAT global em rotundas.....	61
Quadro 26 – Estatísticas do MEFNAT simplificado em rotundas .....	63
Quadro 27 - Estatísticas seleccionadas dos AT ocorridos nos segmentos.....	65
Quadro 28 - Estatísticas seleccionadas das potenciais variáveis explicativas utilizadas na modelação de AT em segmentos.....	66
Quadro 29 - Estatísticas seleccionadas dos NAT ocorridos em segmentos.....	68
Quadro 30 - Estatísticas seleccionadas das potenciais variáveis explicativas utilizadas no desenvolvimento de MEFNAT em segmentos .....	69
Quadro 31 – Estatísticas seleccionadas do MEFNAT global em segmentos .....	70
Quadro 32 – Estatísticas seleccionadas do MEFNAT simplificado em segmentos .....	71
Quadro 33 - Resumo dos modelos de estimativa da frequência de atropelamentos ...	73
Quadro 34 – Resumo dos MEFNAT .....	76
Quadro 35 – Variáveis explicativas relacionadas com o ambiente rodoviário estatisticamente significantes e respectivo sinal identificadas nos vários modelos de estimativa da frequência de NAT .....	77
Quadro 36 – Comparações entre modelos desenvolvidos no estrangeiro e em Portugal	

..... 79

Quadro 37 - Valores médios de TMDA por nível hierárquico da rede ..... 89



## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 - Esquema de cruzamento de dados entre a base de dados auxiliar das PAV e a base de dados da ANSR.....	7
Figura 2 - Formulário utilizado para recolher informação constante nas PAV .....	8
Figura 3 - Exemplo de um esboço de acidente constante numa Participação de Acidente de Viação elaborada pela Polícia de Segurança Pública.....	9
Figura 4 - Exemplo de uma descrição de acidente constante numa Participação de Acidente de Viação elaborada pela Polícia de Segurança Pública.....	9
Figura 5 – Fluxograma do processo de recolha e tratamento de dados até obtenção da base de dados de acidentes georreferenciados.....	11
Figura 6 – Exemplo de contagem de tráfego na intersecção entre a Av. de Berlim e a Av. Cidade de Lourenço Marques.....	12
Figura 7 – Rede de estradas utilizada por Martinez em comparação com a rede total da cidade de Lisboa.....	13
Figura 8 – Exemplo da estimativa de tráfego desenvolvida por Martinez .....	14
Figura 9 – Intersecções utilizadas para o cálculo do factor de conversão do tráfego horário para tráfego diário.....	14
Figura 10 – Localização das intersecções incluídas na modelação, desagregadas por método de estimativa de TMDA.....	16
Figura 11 – Localização dos postos de contagem de tráfego da CML .....	17
Figura 12 - Distribuição espacial dos AT ocorridos em Lisboa entre 2004 e 2007 e dos locais incluídos na amostra a modelar.....	24
Figura 13 – Distribuição espacial dos NAT ocorridos em Lisboa entre 2004 e 2007 e dos locais incluídos na amostra a modelar. ....	25
Figura 14 – Distribuição espacial dos NAT ocorridos em Lisboa entre 2004 e 2007 e dos segmentos incluídos na amostra a modelar. ....	25
Figura 15 - Esquema das desagregações consideradas nos modelos desenvolvidos	27
Figura 16 - Intersecções de três ramos incluídas na amostra usada na modelação de AT.....	33
Figura 17 - Intersecções de três ramos incluídas na amostra usada na modelação de	

NAT .....	34
Figura 18 - Intersecções de quatro ramos incluídas na amostra usada na modelação de AT .....	42
Figura 19 - Intersecções de quatro ramos incluídas na amostra usada na modelação de NAT .....	43
Figura 20 - Amostra das rotundas usadas no estudo de caso.....	58
Figura 21 - Localização dos segmentos consideradas para contagem de volumes de circulação pedonal.....	64
Figura 22 - Esquema de cálculo do comprimento de cada segmento .....	65
Figura 23 - Localização das intersecções analisadas e dos respectivos ramais de entrada e saída.....	67
Figura 24 - Segmentos com comprimento superior a 50m considerados para a modelação de acidentes.....	68
Figura 25 – Comparação entre os vários MEFAT simplificados aplicáveis a intersecções, para dois níveis de TMDA de veículos motorizados e de peões .....	74
Figura 26 - Comparação entre os vários MEFNAT simplificados aplicáveis a intersecções, para TMDA de veículos motorizados crescentes .....	79
Figura 27 – Comparação entre os valores esperados de atropelamentos por aplicação do modelo de Brude e Larson e dos modelos de Vieira Gomes.....	81
Figura 28 – Acidentes observados em função dos acidentes esperados, utilizado o modelo simplificado e global de estimativa de frequências de NAT em intersecções de três ramos.....	87
Figura 29 – Acidentes observados em função dos acidentes esperados, após a aplicação do MEB na estimativa de frequências de NAT em intersecções de três ramos .....	87
Figura 30 – Hierarquia da rede viária da cidade de Lisboa .....	89

Face aos recursos limitados à disposição das administrações rodoviárias e aos constrangimentos financeiros impostos à sua actuação, tem-se tornado cada vez mais importante assegurar que os investimentos na intervenção em segurança rodoviária sejam eficientes. A adequada quantificação dos níveis de segurança, designadamente o correspondente à situação corrente (inicial) e os previsivelmente resultantes de intervenções alternativas, é uma condição necessária para atingir essa eficiência, por contribuir para aumentar a possibilidade de sucesso dessas intervenções. Para a qualidade destas quantificações muito pode contribuir a utilização de modelos de estimativa da frequência de acidentes (MEFA), que permitem representar, ainda que de forma simplificada, o contributo de algumas características do ambiente rodoviário para a ocorrência de acidentes em elementos típicos da rede rodoviária (como sejam intersecções e segmentos em secção corrente). Resultando de uma simplificação da realidade, tais modelos devem, por isso, ser objecto de uma cuidada adaptação, quer ao contexto rodoviário em que vão ser aplicados quer ao fim a que se destinam, sob pena de produzirem resultados desajustados inviabilizando um contributo útil e rigoroso nas análises produzidas.

A modelação matemática é uma ferramenta bastante comum, sendo habitualmente utilizada com o propósito de identificar padrões em dados observados e transformá-los em equações susceptíveis de serem usadas para avaliar quer o efeito de alterações em variáveis descritoras do fenómeno analisado, quer o estado expectável de um sistema com uma determinada configuração. No caso da modelação da sinistralidade, permite ainda desagregar a componente aleatória e inexplicável do fenómeno, da componente sistemática. Tal separação é importante, uma vez que somente esta componente sistemática é susceptível de alteração por intervenções de segurança, incidindo sobre os elementos do sistema de tráfego.

Um MEFA é, na sua essência, uma equação matemática que expressa a frequência média de acidentes que será observada num local ao fim de um período de tempo suficientemente longo, em função do volume de tráfego e de outras variáveis

representativas das características inerentes a esse local. Em regra, a capacidade explicativa de um modelo aumenta com o número de anos do período a que se referem os dados usados para o respectivo desenvolvimento e ajuste estatístico. No entanto, se o período for muito longo, é preciso atender ao efeito de tendências de longo prazo, uma vez que quer o sistema de tráfego quer as próprias características da ocorrência de acidentes podem evoluir a longo do tempo, devido a factores não considerados no MEFA.

O desenvolvimento de MEFA requer cuidados especiais, para que os resultados e as interpretações que lhes estão associadas sejam os mais correctos, nomeadamente quanto: à escolha das variáveis explicativas e do tipo do modelo; à especificação das relações funcionais; à avaliação do ajustamento (validação); à interpretação causal das relações encontradas; à avaliação do desempenho do modelo na estimativa; e à avaliação de potenciais causas de erros. Numa óptica prática, é importante assegurar a utilidade dos modelos face aos fins que ditaram o seu desenvolvimento.

São vários os países nos quais foram desenvolvidos MEFA para zonas urbanas, tanto para segmentos, como para intersecções. A descrição detalhada destes modelos é apresentada no capítulo 4. A sua forma mais comum traduz-se numa expressão multiplicativa do género:

$$A = \alpha \times T^\beta \times e^{\sum \gamma_i \cdot X_i} \quad \text{(Eq. 1)}$$

Em que  $A$  é o número esperado de acidentes, que varia em função do tráfego médio diário anual (TMDA,  $T$ ) e de uma série de outras variáveis explicativas que representam factores de risco de acidente ( $X_i$ ). O efeito do tráfego nos acidentes é modelado através da potência  $\beta$ . O efeito dos vários factores de risco que influenciam a probabilidade de acidente é normalmente modelado através de uma função exponencial de base  $e$  elevada ao somatório do produto dos coeficientes  $\gamma_i$ , pelo valor das respectivas variáveis explicativas ( $X_i$ ).

Existe uma grande diversidade de modelos de estimativa de acidentes, desenvolvidos para os mais variados contextos urbanos. No entanto, a maior parte deles não procede à inclusão de dados de exposição pedonal, e os que o fazem não se revelaram aplicáveis ao contexto rodoviário português, o que constitui uma lacuna nesta matéria.

Este facto foi constatado num estudo desenvolvido por Vieira Gomes e Cardoso, 2008, no qual foram aplicados modelos de estimativa de acidentes, desenvolvidos internacionalmente, às intersecções da Av. do Brasil e da Av. Rio de Janeiro, em Lisboa, de forma a avaliar o ajuste das estimativas obtidas no contexto nacional. Os resultados obtidos não foram satisfatórios.

O desenvolvimento de funções matemáticas destinadas à estimativa de acidentes que incorporem como variáveis explicativas dados da exposição pedonal constitui uma avanço significativo do conhecimento em Portugal, uma vez que aquelas equações permitem uma mais eficiente representação da realidade rodoviária. Os modelos de estimativa de acidentes desenvolvidos desta forma são uma ferramenta essencial para fundamentar as decisões de intervenções correctivas para melhoria da segurança nas redes de arruamentos urbanos. A sua integração em ferramentas informáticas disponíveis actualmente (Sistemas de Informação Geográfica - SIG) representa também uma inovação que ajuda a majorar os benefícios a obter com a intervenção em segurança.

O presente documento constitui o segundo relatório referente à actividade desenvolvida pelo Laboratório Nacional de Engenharia Civil (LNEC) e pela Faculdade de Ciências e Tecnologias da Universidade de Coimbra (FCT/UC) no âmbito do projecto IRUMS – Infra-estruturas Rodoviárias Urbanas Mais Seguras. Este projecto foi co-financiado pela Fundação para a Ciência e a Tecnologia e pela Fundação Luso Americana, tendo-se também integrado num protocolo assinado com a Câmara Municipal de Lisboa. Este estudo foi conducente à elaboração de uma tese de doutoramento por Vieira Gomes (2010).

Com o presente estudo pretendeu contribuir-se para a melhoria da segurança rodoviária em meio urbano, através do desenvolvimento de um método que permita a consideração explícita dos aspectos da segurança dos utentes vulneráveis nas tarefas de projecto e gestão das redes viárias.

Mais especificamente pretendeu-se:

1. Obter um melhor conhecimento das relações entre a frequência de acidentes em meio urbano e as variáveis explicativas relacionadas com o respectivo ambiente rodoviário.

2. Desenvolver modelos de estimativa da frequência esperada de acidentes desagregado por tipo de utente, que incluíssem explicitamente os tráfegos motorizado e pedonal.

Para responder a estes objectivos, foram desenvolvidos MEFA através da utilização de técnicas de Modelação Linear Generalizada com uma componente de erro Binomial Negativa.

Neste relatório apresentam-se os MEFA desenvolvidos para a cidade de Lisboa. Foram consideradas duas variáveis de resposta distintas, correspondentes à desagregação dos acidentes em dois tipos: atropelamentos e restantes acidentes com vítimas. Adicionalmente foi considerada uma desagregação por tipo de elemento rodoviário: intersecções e segmentos. No caso das intersecções foram desenvolvidos modelos para intersecções de três ramos, de quatro ramos e rotundas. Foram também testadas duas formas funcionais: uma equação simplificada, em que apenas as variáveis de tráfego (de veículos ou de peões) foram incluídas; e uma equação mais complexa, em que foram testadas todas as variáveis potencialmente relevantes medidas.

Os dados de acidentes utilizados no ajuste dos MEFA foram obtidos numa base de dados com os acidentes rodoviários ocorridos na cidade de Lisboa entre 2004 e 2007, georreferenciados para o efeito deste trabalho. No capítulo 2 deste relatório são relatados os trabalhos conducentes à criação desta base de dados. São ainda descritos os trabalhos relativos à recolha de informação necessária à modelação de acidentes, nomeadamente os dados de exposição pedonal e de veículos motorizados e os dados sobre características do ambiente rodoviário.

No Capítulo 3 são sumariadas as notas finais dos modelos desenvolvidos e a finalizar, no Capítulo 4, são apresentadas as aplicações práticas dos modelos na detecção de zonas de acumulação de acidentes.

A recolha e tratamento dos dados necessários à concretização deste estudo constituíram uma parte importante do trabalho desenvolvido, pelo que são descritos em capítulo próprio.

Foram recolhidos dados de diversa natureza, necessários à concretização de duas tarefas distintas: a criação de uma base de dados de acidentes georreferenciados, ocorridos na cidade de Lisboa, e o desenvolvimento de MEFA para cálculo de frequências esperadas de acidentes.

Para cumprir adequadamente os objectivos de apoio à gestão da segurança da infraestrutura e à investigação sobre acidentes em meio urbano, a base georreferenciada dispõe de informação sobre:

- Acidentes rodoviários;
- Características do ambiente rodoviário;
- Tráfego de veículos e de peões.

### **2.1 Dados sobre acidentes para construção da base de dados num Sistema de Informação Geográfica**

A georreferenciação de acidentes em redes viárias digitais reveste-se de enormes vantagens, quer no que diz respeito à facilidade de visualização da distribuição dos mesmos, quer quanto à extracção de informação relevante segundo critérios de base geográfica. A forma mais directa de o fazer é carregar as coordenadas cartesianas dos locais de ocorrência dos acidentes directamente para um Sistema de Informação Geográfica. Uma vez que as entidades de fiscalização que efectuam o registo dos acidentes na cidade de Lisboa não possuem equipamentos que permitam a recolha destas coordenadas, houve que recorrer a uma solução alternativa.

Quando um acidente é participado às forças policiais é preenchida uma Participação de Acidentes de Viação (PAV), com informação necessária à eventual intervenção do Procurador-Geral da Republica. No caso dos acidentes corporais é também preenchido o BEAV – Boletim Estatístico de Acidentes de Viação, que é enviado à Autoridade Nacional de Segurança Rodoviária, nomeadamente ao Observatório de

Segurança Rodoviária, responsável pela organização da base de dados de acidentes rodoviários portuguesa. Este boletim encontra-se organizado em seis grupos de informação: identificação do acidente (6 campos), circunstâncias externas (7 campos), natureza do acidente (3 campos), veículos intervenientes (7 campos), condutores intervenientes (5 campos), consequências do acidente (3 campos). A tipificação dos esquemas dos acidentes em função das manobras dos utentes envolvidos é feita de acordo com uma matriz de 22 linhas por 10 colunas.

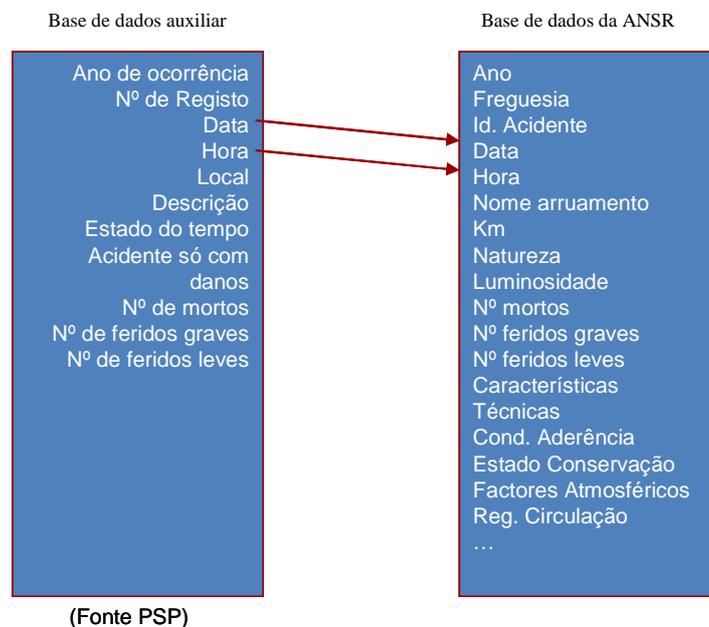
Como já referido, a base de dados de acidentes de viação da ANSR apenas possui informação sobre os acidentes corporais. No presente trabalho optou-se por recolher informação acerca de todos os acidentes registados pela PSP (com e sem vítimas), uma vez que isso permite registar um maior número de acidentes na base de dados, colmatando uma lacuna informativa sobre a sinistralidade em meio urbano para o caso de Lisboa e facilitando a identificação de factores de risco em diagnósticos pormenorizados. Esta abordagem foi estabelecida na linha da usada em vários estudos anteriores (Cardoso, 1993; Cardoso, 1998b; e Carvalheira e Picado-Santos, 2008).

A identificação do local de ocorrência dos acidentes é conseguida através da consulta dos campos “Designação de via”, “Arruamento” e “Número de polícia”. Estando previsto no BEAV o preenchimento dos campos que permitem a identificação do local de ocorrência dos acidentes, tal não acontece na maioria dos casos quanto ao campo “Número de polícia”. Este facto inviabiliza a georreferenciação de acidentes unicamente através desta base de dados, uma vez que não é possível identificar o local exacto da sua ocorrência; por outro lado, na cidade de Lisboa o número de polícia é meramente um número de ordem de porta, ao qual não é susceptível de ser associado qualquer algoritmo de cálculo de distâncias.

Para localizar geograficamente os acidentes ocorridos entre 2004 e 2007, foram, assim, consultadas as PAV, elaboradas pela Polícia de Segurança Pública. Este tipo de documento possui um esboço da cena do acidente, bem como uma descrição do mesmo; elementos que permitem, na maioria dos casos, a identificação do local exacto da ocorrência do acidente a que se referem. Uma vez que o suporte desta informação é o papel, a obtenção da informação necessária obrigou à consulta de cada uma das PAV, tendo-se criado uma pequena base de dados auxiliar, com a

informação assim obtida. No total foi recolhida informação de 62438 participações (13816 de 2003<sup>1</sup>, 13467 de 2004, 12612 de 2005, 11881 de 2006 e 10662 de 2007).

Tendo como objectivo o cruzamento da informação recolhida nas PAV com a informação constante na base de dados de acidentes de viação, era necessário identificar um campo comum, que à partida se pressupunha ser o número de identificação da participação. Contudo, tal não aconteceu, pois o número da participação não é registado no BEAV, não sendo carregado na base de dados de acidentes de viação da ANSR. Foi, por isso, necessário registar mais campos para que o cruzamento das bases de dados fosse possível. Na maioria dos casos a correspondência foi conseguida através do par data/hora.



**Figura 1 - Esquema de cruzamento de dados entre a base de dados auxiliar das PAV e a base de dados da ANSR**

A recolha da informação constante nas PAV não foi integral, mesmo para os acidentes sem vítimas (não constantes na base de dados da ANSR), por não ser relevante para

---

<sup>1</sup> Os acidentes ocorridos em 2003 constam da base de dados, mas não foram georreferenciados, visto serem os registos mais antigos e por isso de menor utilidade.

o presente estudo. Os dados foram recolhidos sob a forma de informação alfanumérica (Figura 2) e sob a forma de fotografia do esboço e da descrição do acidente (Figura 3).

Os dados alfanuméricos foram registados informaticamente na base de dados auxiliar, sendo registados os seguintes campos de informação:

- Ano de ocorrência
- Nº de Registo (número da participação)
- Data
- Hora
- Local
- Descrição genérica (apenas preenchido o facto de se tratar de um atropelamento)
- Estado do tempo
- Acidente só com danos (sim ou não)
- Nº de mortos
- Nº de feridos graves
- Nº de feridos leves



**Acidentes registados em 2007**

Ano de ocorrência: 2007

Nº registo: 59

Mês: 1-Janeiro | Dia: 3 | Hora: 14:00

Local: av igreja

Descrição: Atropelamento

Estado do tempo: Bom Tempo

**CONSEQUÊNCIAS**

Acidente só com danos:

Nº mortos: 0 | Nº feridos graves: 0 | Nº feridos leves: 1

Figura 2 - Formulário utilizado para recolher informação constante nas PAV

As fotografias recolhidas incidiram nos esboços dos acidentes e, por vezes, nas descrições dos mesmos (quando o esboço era insuficiente para a identificação do local do acidente e a descrição não apresentava informações sobre os intervenientes), num total de 127900 fotos (cerca de 2 por acidente).

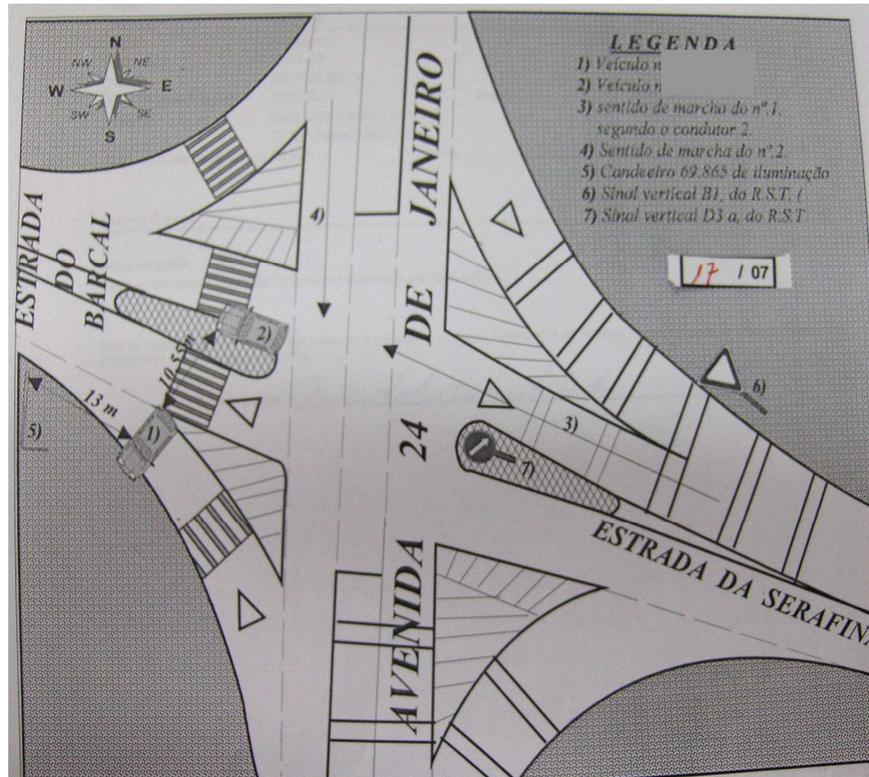


Figura 3 - Exemplo de um esboço de acidente constante numa Participação de Acidente de Viação elaborada pela Polícia de Segurança Pública

O ACIDENTE FOI PRESENCIADO PELO PARTICIPANTE - SIM  NÃO

**DESCRIÇÃO DO ACIDENTE**

- - -Pelas 15H20, foi-me determinado pela Central Rádio desta Polícia, para me deslocar ao Cais do Sodré, onde havia ocorrido um acidente de viação. Nenhum dos veículos se encontrava no local de embate. O veículo nº1 apresentava danos na frente esquerda e o veículo nº2 na lateral direita, tendo sido as respectivas condutoras elucidadas do constante no Art.º 498.º do C. Civil.-----

- - - Segundo declarações das condutoras intervenientes, o acidente terá ocorrido da seguinte forma:- A condutora do veículo nº1 disse que circulava lentamente no Cais do Sodré, junto ao passeio frente à Caixa Geral de Depósitos, sentido Nascente Poente, e devido à chuva intensa não se apercebeu da presença do veículo nº2, embatendo-lhe na lateral direita. A condutora do veículo nº2 disse que circulava na referida artéria, sentido Nascente Poente na via da direita, quando foi embatida nas partes acima descritas pelo veículo nº1 que se encontrava estacionado em cima do passeio frente à CGD e resolve iniciar a marcha para a faixa de rodagem.-----

- - - Ambas as condutoras foram submetidas ao teste de alcoolemia, tendo acusado a TAS de 0,00g/l.-----

10618 / 05

Figura 4 - Exemplo de uma descrição de acidente constante numa Participação de Acidente de Viação elaborada pela Polícia de Segurança Pública

Para além da conjugação das duas bases de dados alfanuméricos, foi necessário organizar as fotografias tiradas, de forma a ser possível a sua identificação aquando da georreferenciação dos acidentes. Foram por isso renomeadas as fotografias tendo em conta o número da participação, o ano de ocorrência e o facto de se tratar de uma descrição ou de um esboço (D ou E, respectivamente). Por exemplo, uma fotografia respeitante à descrição do acidente constante na participação 1250 de 2007 foi renomeada como “1250\_07D.jpg”.

A base de dados de acidentes georreferenciados foi realizada em Arcgis. Para a sua construção foi usada a seguinte informação:

- Dados de acidentes ocorridos na cidade de Lisboa entre 2004 e 2007 (base de dados de acidentes da ANSR);
- Esboço e descrição dos acidentes ocorridos na cidade de Lisboa entre 2003 e 2007 (obtidos por consulta das PAV elaboradas pela PSP);
- Descrição e localização dos eixos da rede rodoviária do concelho (em formato compatível com a aplicação Arcgis);
- Localização e identificação dos candeeiros de iluminação pública (em formato compatível com a aplicação Arcgis);
- Cartografia pormenorizada da cidade, com indicação dos números de cada edifício (em formato compatível com a aplicação Arcgis).

O Sistema de Informação Geográfica sobre os acidentes ocorridos em Lisboa ficou completo com a associação da informação detalhada acerca de cada acidente a cada local identificado.

Na Figura 5 é apresentado um fluxograma que ilustra o processo de recolha e tratamento de dados até à obtenção da base de dados de acidentes georreferenciados.

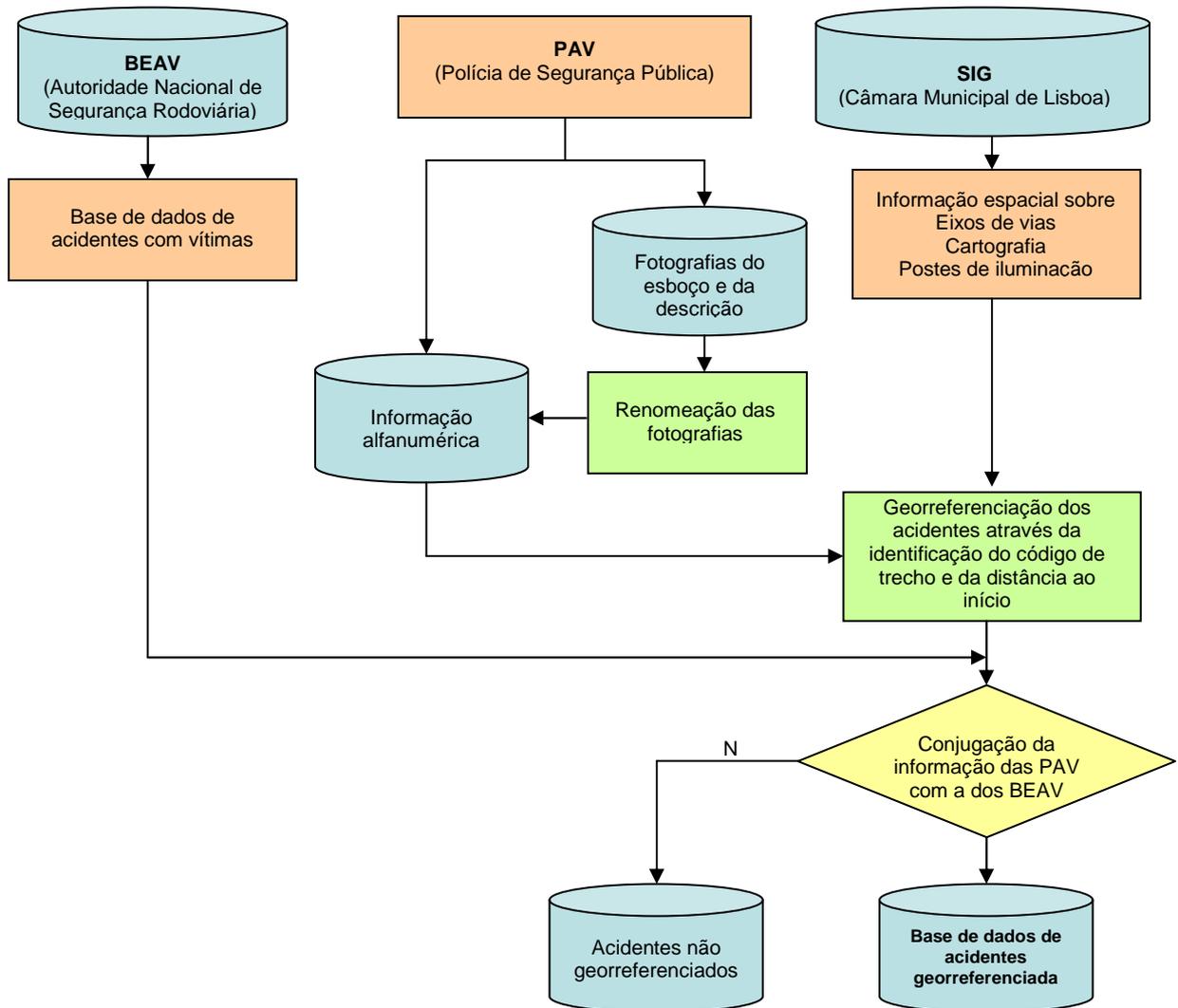


Figura 5 – Fluxograma do processo de recolha e tratamento de dados até obtenção da base de dados de acidentes georreferenciados

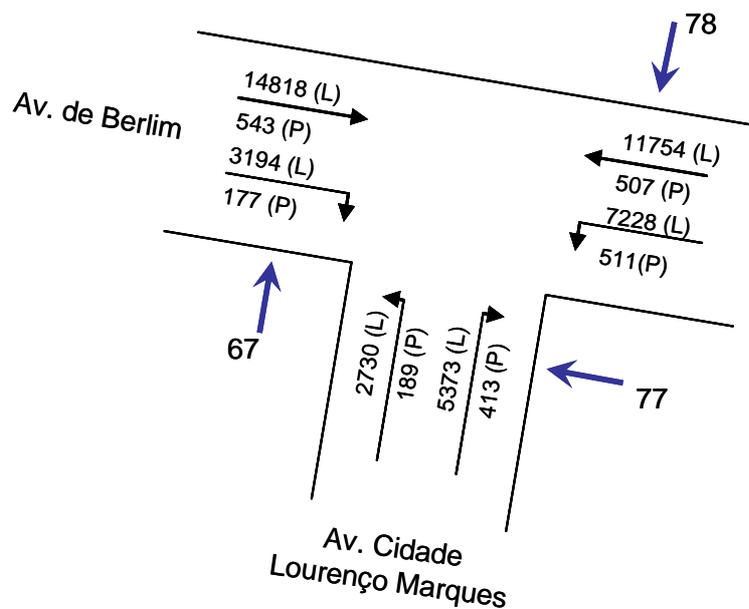
## 2.2 Dados sobre tráfego rodoviário e pedonal

Os dados sobre tráfego necessários para o desenvolvimento dos modelos de estimativa da frequência de acidentes referem-se a dados de TMDA de veículos motorizados e de peões nas intersecções e nos segmentos considerados para análise.

Os dados de tráfego pedonal foram obtidos exclusivamente mediante contagens. A onerosidade deste tipo de recolha limitou a quantidade de locais caracterizados com este tipo de dados. Este facto inviabilizou também o desenvolvimento de modelos de

estimativa de tráfego pedonal inicialmente previsto no programa de tese. No que diz respeito à recolha de dados de tráfego de veículos motorizados utilizados neste trabalho, foram adoptados dois métodos: contagens (manuais ou automáticas) e estimativas obtidas a partir de um modelo de afectação de tráfego.

A campanha de contagens de tráfego rodoviário e pedonal foi efectuada em 2008 e 2009, sempre em dias úteis (terça a quinta feira). A recolha do TMDA de veículos motorizados foi efectuada em 55 intersecções, sendo consideradas desagregações por categoria de veículo (ligeiros e pesados) e por movimento efectuado (ver Figura 6). No caso do presente estudo optou-se por agregar os TMDA de veículos ligeiros com os de veículos pesados já que o objectivo não se centrou na estimativa de acidentes por categoria de veículo, mas sim por natureza de acidente.



Nota: L – Ligeiros; P – Pesados; Contagem de peões indicada a azul

**Figura 6 – Exemplo de contagem de tráfego na intersecção entre a Av. de Berlim e a Av. Cidade de Lourenço Marques**

No que diz respeito às estimativas de tráfego, foram utilizados os valores calculados por Martinez com um modelo de afectação desenvolvido por este autor para Lisboa (Martinez, 2006 e Martinez et al., 2009), o qual incluiu uma simplificação da rede rodoviária de Lisboa, sendo considerados unicamente 826 km, em vez dos 1495 km

inventariados pela CML – ver Figura 7. Esta cobertura, ainda que não integral, revelou-se bastante útil para o presente estudo.

Os resultados do modelo de afectação de tráfego foram fornecidos em volume horário da hora de ponta (8:00 às 9:00 h) – VHP, para movimentos desagregados (ver exemplo na Figura 8), o que exigiu o cálculo de factores de conversão de volume horário para volume diário e deste para TMDA. Este cálculo foi efectuado para os locais em que existiam valores de contagem das 8:00 às 9:00 horas e uma estimativa de volume horário para o mesmo intervalo, num total de cinco intersecções (ver Figura 9).



**Figura 7 – Rede de estradas utilizada por Martinez em comparação com a rede total da cidade de Lisboa**

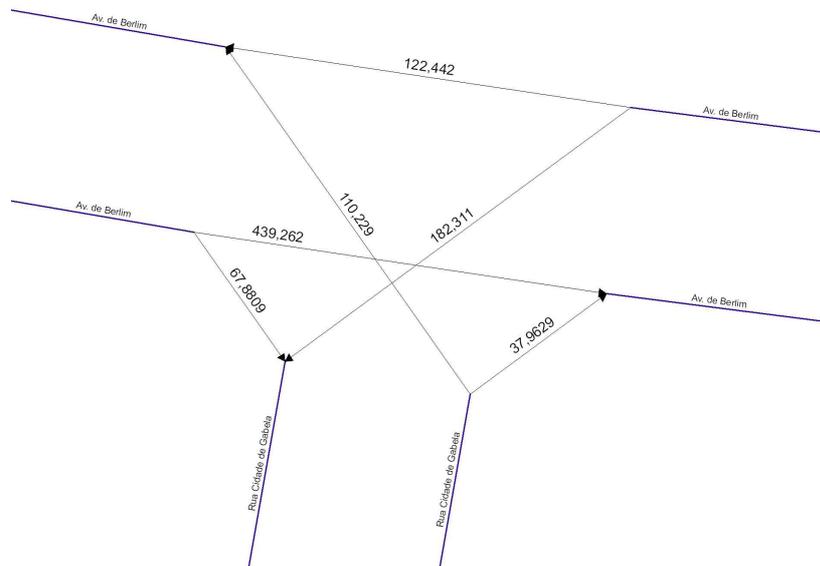


Figura 8 – Exemplo da estimativa de tráfego desenvolvida por Martinez



Figura 9 – Interseções utilizadas para o cálculo do factor de conversão do tráfego horário para tráfego diário

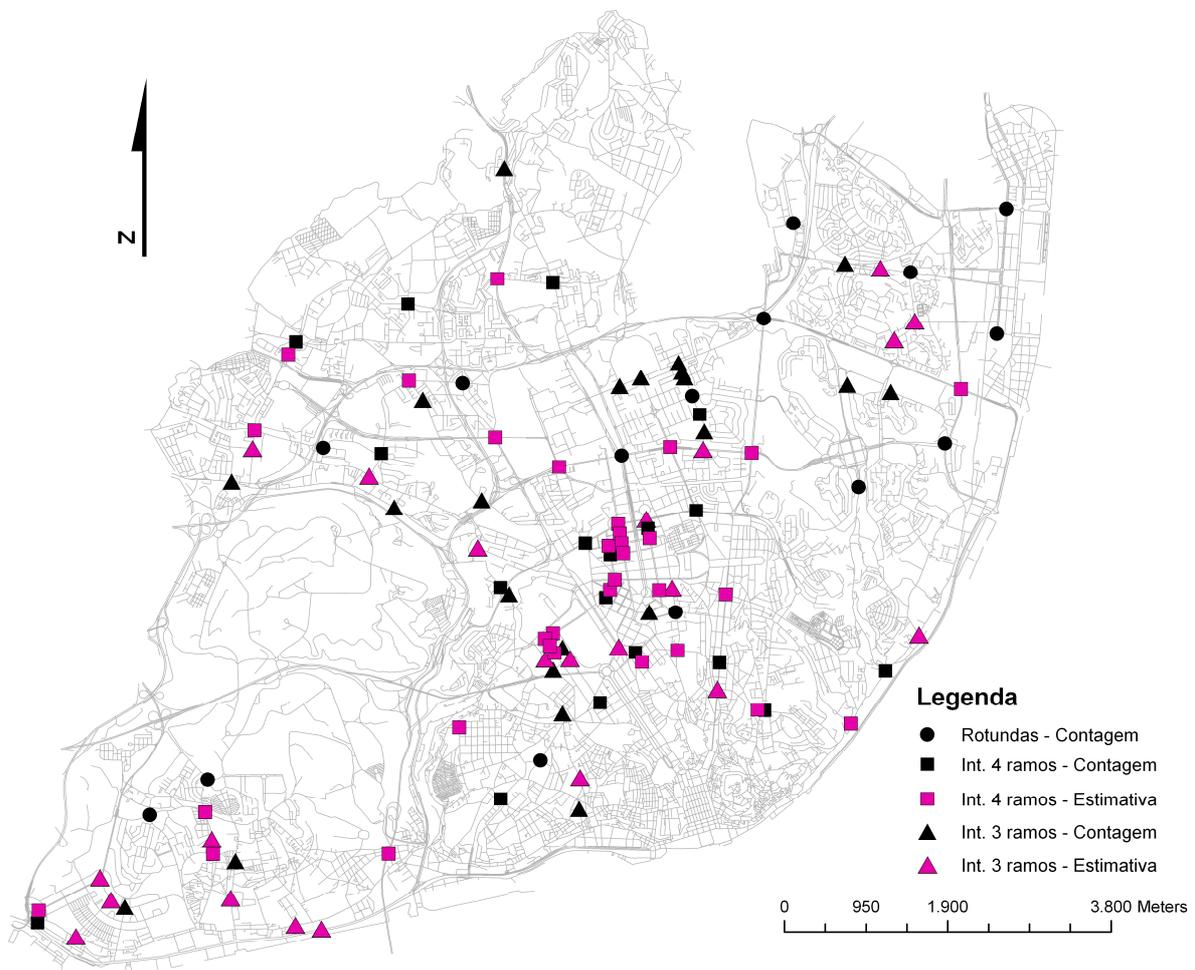
Foi constatada uma diferença significativa entre os valores da intersecção da Av. do Brasil com a Av. de Roma e da intersecção da Rua de Campolide com a Av. Calouste Gulbenkian e os das restantes intersecções. Correspondem ambos a direcções de saída da cidade, pelo que se optou por considerar dois factores de conversão médios: um para os casos gerais de circulação interna na cidade e outro para os movimentos de saída da cidade. O Quadro 1 apresenta o resumo desses valores.

**Quadro 1 – Factores médios de conversão de VHP em TMDA**

<b>Caso</b>	<b>Factor de conversão VHP - TMDA</b>
Circulação interna na cidade	12.44
Movimentos de saída da cidade	23.00

É necessário algum cuidado na utilização do factor de conversão associado a movimento de saída da cidade, uma vez na base do seu cálculo estiveram apenas duas intersecções; acrescem ainda prováveis problemas na estimativa do VHP por deficiências nas especificações das condições de fronteira do modelo de afectação de tráfego.

Foram utilizadas estimativas de tráfego para 54 intersecções, que permitiram aumentar a dimensão das amostras a modelar para 109 intersecções. Apenas no caso das rotundas não foi possível recorrer às estimativas já que o modelo de afectação de tráfego só permite calcular valores para as rotundas onde foi feita contagem de tráfego. Na Figura 10 é apresentada a distribuição espacial das várias intersecções incluídas na modelação, desagregadas por fonte de informação dos dados de tráfego.



**Figura 10 – Localização das intersecções incluídas na modelação, desagregadas por método de estimativa de TMDA**

O elevado investimento de recursos e tempo na realização das contagens levou a que se equacionasse a utilização de outras fontes de dados. No caso do Município de Lisboa, é feita uma recolha sistemática de dados de tráfego através do sistema Gertrude de controlo de tráfego. Estes dados são captados por 80 sensores indutivos e de vídeo, distribuídos pela cidade como apresentado na Figura 11.



**Figura 11 – Localização dos postos de contagem de tráfego da CML**

A cobertura da CML, apesar de extensa, apresenta condicionalismos diversos, uma vez que está orientada para a resolução de problemas de congestionamentos na rede. Assim, são diversos os valores associados unicamente a vias BUS (não aplicáveis a este estudo) e a vias de maior congestionamento, nem sempre propícias à inclusão na amostra a modelar por razões várias – pequena extensão do trecho e características da infra-estrutura bastante distintas entre si. Por outro lado, o sistema Gertrude só abrange o tráfego de parte da rede da cidade de Lisboa e nem todos os sensores são contadores (há vários que só detectam ocupação de um *loop* comprido, com espaço para vários veículos). De referir também que nenhum dos locais com cobertura pelo sistema Gertrude caracteriza completamente uma intersecção, apenas um dos ramos.

### **2.3 Dados sobre as características do ambiente rodoviário nos locais a modelar**

A rede rodoviária urbana de Lisboa tem uma extensão aproximada de 1495 km, possuindo cerca de 9900 intersecções de vários tipos. Sendo o objectivo deste estudo a modelação de acidentes rodoviários ocorridos em meio urbano, foi decidido efectuar uma desagregação por elementos rodoviários principais: as intersecções e os segmentos. No grupo das intersecções foram consideradas as intersecções de três ramos, as de quatro ramos e as rotundas.

No grupo das variáveis de resposta foi considerada a frequência de atropelamentos e de acidentes com vítimas (excluindo os atropelamentos) ocorridos no concelho de Lisboa entre 2004 e 2007.

A sua inclusão no grupo de acidentes em intersecções foi efectuada com base na definição de uma zona de influência em torno das mesmas. Neste estudo, foram testadas dois comprimentos para as zonas de influência: 30 e 40 metros medidos a partir do centro da intersecção. Os resultados da modelação revelaram melhores ajustes para o caso em que se considerou a zona de influência com um raio de 40m a partir do centro da intersecção, pelo que foi este valor foi adoptado.

As variáveis explicativas foram definidas com base na desagregação por tipo de elemento rodoviário acima referida. Para as intersecções foi reunida informação sobre os tráfegos rodoviário e pedonal, características geométricas e sistemas de controlo de tráfego, e para os segmentos foi reunida informação sobre os mesmos tipos de tráfegos e características geométricas. Dadas as particularidades dos atropelamentos, face aos restantes acidentes com vítimas, foram definidas algumas variáveis específicas para cada caso.

A organização dos dados a modelar foi feita de forma idêntica para os três tipos de intersecções analisados. No cerne da sua definição esteve a desagregação do TMDA de veículos motorizados por tipo de movimento: o TMDA de uma entrada  $i$  foi somado ao TMDA da entrada  $j$  no sentido oposto, permitindo assim a definição de uma direcção principal e uma direcção secundária consoante os valores obtidos (sendo que o maior TMDA por direcção corresponde à direcção principal de circulação). Parte das

variáveis recolhidas foram, por isso, também definidas segundo as classificações de direcção principal e secundária.

Assim, no que diz respeito às potenciais variáveis explicativas relacionadas com as características da infra-estrutura a utilizar nos modelos de estimativa de atropelamentos em intersecções, foram recolhidos dados sobre:

- Comprimento médio do atravessamento (por peões) dos ramos da intersecção nas direcções principais e secundárias;
- Número médio de ilhas no atravessamento dos ramos da intersecção nas direcções principais e secundárias;
- Número de passagens de peões, calculado segundo a direcção principal ou secundária e também para toda a intersecção.

Para os modelos de estimativa de frequência de acidentes com vítimas, excluindo os atropelamentos, ocorridos em intersecções, foram recolhidos dados sobre:

- Equilíbrio entre o número de vias de entrada na intersecção em cada ramo – variável categórica que assumiu o valor “1” se todos os ramos tinham o mesmo número de vias de entrada e “0” se este número era diferente;
- Número de vias de entrada na intersecção segundo a direcção principal ou secundária – variável categórica que assumiu o valor “1” se o número de vias de entrada fosse igual ou superior a três e “0” caso contrário;
- Largura média das vias de entrada na intersecção segundo a direcção principal ou secundária;
- Presença de separador central em pelo menos um dos ramos da direcção principal ou secundária – variável categórica que assumiu o valor “1” para a presença de separador e “0” caso contrário;
- Presença de vias exclusivas para viragem à esquerda segundo a direcção principal ou secundária – variável categórica que assumiu o valor “1” para a presença de via exclusiva e “0” caso contrário;
- Presença de vias exclusivas para viragem à direita segundo a direcção principal ou secundária – variável categórica que assumiu o valor “1” para a presença de via exclusiva e “0” caso contrário;

- Número de ramos com sentido único para toda a intersecção.

Foi ainda definida uma variável relativa aos sistemas de controlo de tráfego, comum a ambos os tipos de modelos (atropelamentos ou os restantes acidentes com vítimas). Foi definida de forma categórica, assumindo o valor “1” se o controlo da intersecção era semafórico e “0” se era um outro qualquer.

A informação sobre o número de ramos da intersecção foi também recolhida, sendo apenas utilizada nos modelos em que se agruparam as intersecções de três e quatro ramos (ver capítulo 6).

No que diz respeito às rotundas, foi recolhida informação sobre as seguintes variáveis explicativas:

- Número de ramos da intersecção;
- Distância média de atravessamento dos ramos da intersecção;
- Distância total de atravessamento dos ramos da intersecção;
- Número de vias do anel – variável categórica que assume o valor “1” se o número de vias do anel fosse igual ou superior a três e “0” caso contrário. Esta variável foi utilizada apenas nos modelos de estimativa de frequência de acidentes com vítimas excluindo os atropelamentos.

Para os MEFAT em segmentos, foram recolhidos dados sobre:

- Comprimento de atravessamento transversal do segmento (m);
- Largura de estacionamento (m);
- Número de separadores centrais ou ilhas;
- Presença de passagens de peões – variável categórica que assumiu o valor “1” para a presença de passagem de peões e “0” caso contrário.

Para os modelos de estimativa de frequência dos restantes acidentes com vítimas em segmentos, foram recolhidos dados sobre:

- Número total de vias – variável categórica que assumiu o valor “1” se o número total de vias fosse igual ou superior a quatro e “0” caso contrário;

- Largura média da via (m), sendo descontada a largura correspondente à parte ocupada por veículos estacionados;
- Número de sentidos de circulação.

Foram ainda recolhidos dados sobre o comprimento do segmento (m) e a largura dos separadores centrais ou ilhas (m), comuns a ambos os tipos de modelos.



## 3 | MODELOS DE ESTIMATIVA DE ACIDENTES PARA A CIDADE DE LISBOA

---

### 3.1 Nota prévia

Neste capítulo são apresentados os MEFA desenvolvidos para a cidade de Lisboa em intersecções e em segmentos.

Foram usados como base de desenvolvimento dos modelos os acidentes ocorridos na cidade de Lisboa entre 2004 e 2007. Sendo o objectivo central deste estudo a segurança rodoviária de peões em meio urbano, foi dado destaque aos atropelamentos, tendo sido desenvolvidos modelos específicos para estes acidentes, que incluem variáveis explicativas relacionadas com a exposição ao risco dos peões.

No âmbito deste estudo foi modelada a ocorrência de acidentes em intersecções de três ramos, de quatro ramos e em rotundas, para as quais foram desenvolvidos modelos de estimativa de frequência de atropelamentos (doravante designados por MEFAT) e modelos de estimativa de frequência de acidentes com vítimas excluindo atropelamentos (doravante designados por MEFNAT).

A escolha dos totais de acidentes com vítimas como variável de resposta não foi considerada porque, uma vez que se pretende incluir variáveis explicativas associadas à exposição pedonal, tal não faria sentido nos acidentes que não envolvessem peões. Por esse facto foi decidido analisar os atropelamentos (AT) e os restantes acidentes com vítimas (NAT) separadamente. Apenas nos primeiros são incluídas as referidas variáveis explicativas.

A dimensão das amostras consideradas em cada caso dependeu dos dados de tráfego disponíveis (ver Quadro 2, onde também são apresentados os número de acidentes com que se trabalhou). Para o caso dos MEFAT houve maior dificuldade na obtenção deste tipo de dados pelo que as amostras consideradas foram de menor dimensão. No caso dos MEFNAT foi possível recorrer a estimativas de tráfego motorizado (conforme explicado no capítulo anterior), pelo que as amostras utilizadas foram de maior dimensão.

Quadro 2 – Principais características das amostras usadas no desenvolvimento de MEFA

Tipo de ambiente rodoviário		Tipo de acidente	Número de casos	Número de acidentes
Intersecções	3 Ramos	AT	22	35
		NAT	44	147
	4 Ramos	AT	18	48
		NAT	50	343
Rotundas	AT	15	23	
	NAT	15	104	
Segmentos	AT	25	20	
	NAT	121	196	

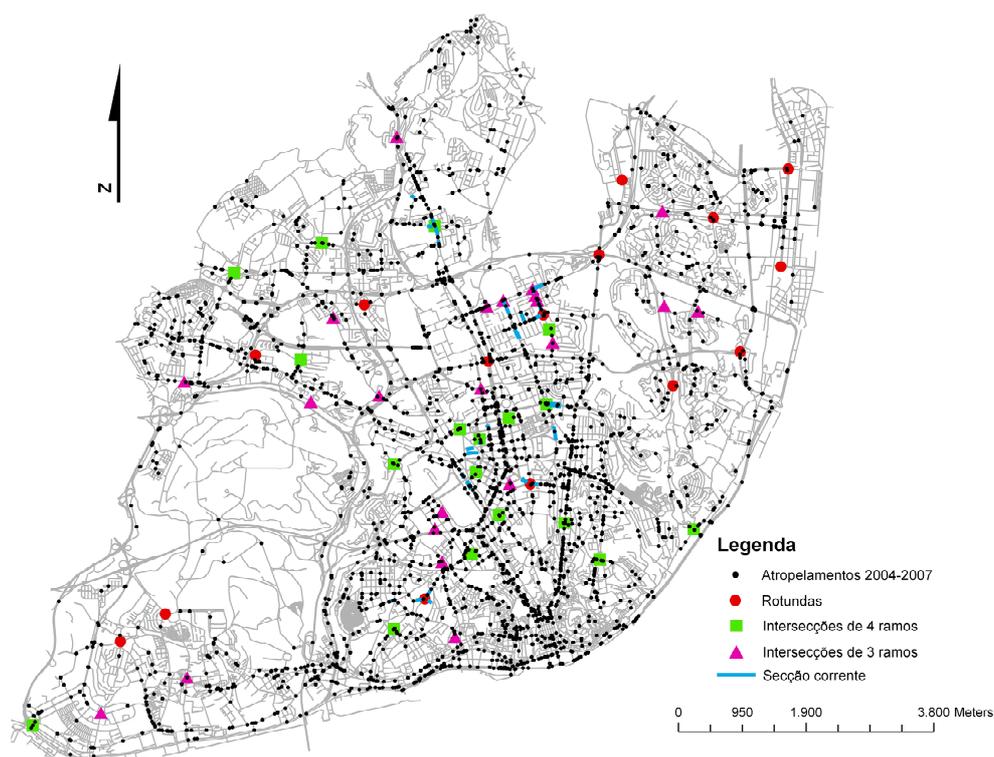


Figura 12 - Distribuição espacial dos AT ocorridos em Lisboa entre 2004 e 2007 e dos locais incluídos na amostra a modelar.

Na Figura 12 é apresentada a distribuição geográfica de AT ocorridos na cidade de Lisboa entre 2004 e 2007, juntamente com a localização das intersecções e segmentos incluídas na amostra. Na Figura 13 e Figura 14 é apresentada a

distribuição geográfica dos NAT juntamente com a localização das intersecções e segmentos incluídos na amostra.

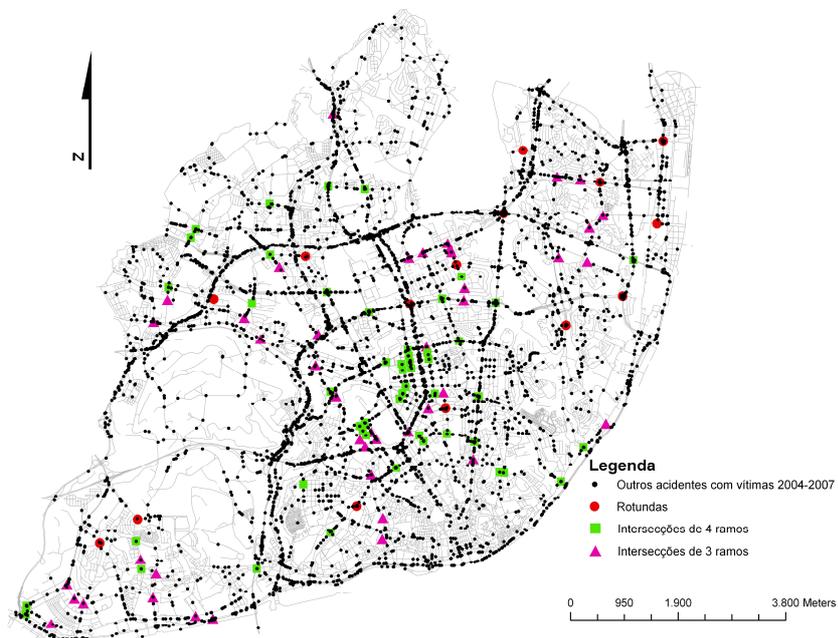


Figura 13 – Distribuição espacial dos NAT ocorridos em Lisboa entre 2004 e 2007 e dos locais incluídos na amostra a modelar.

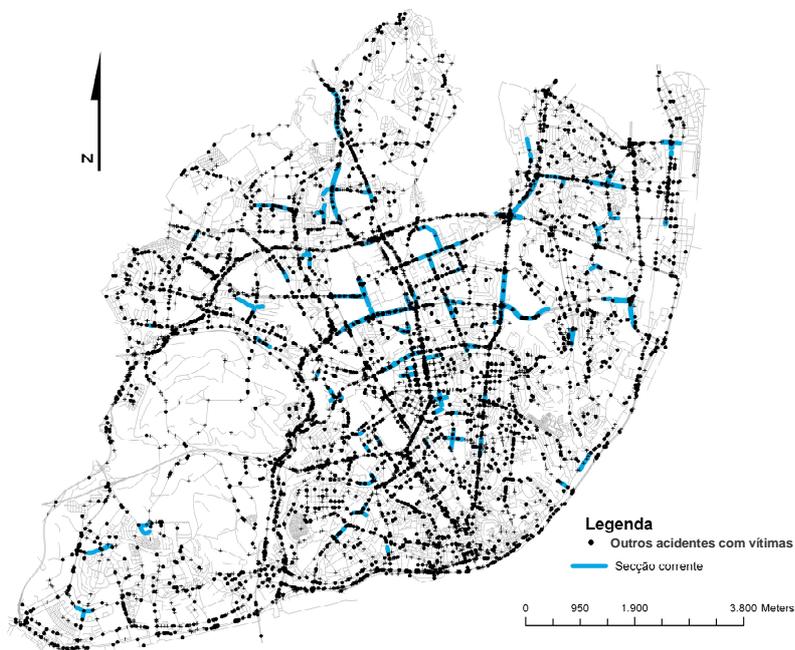


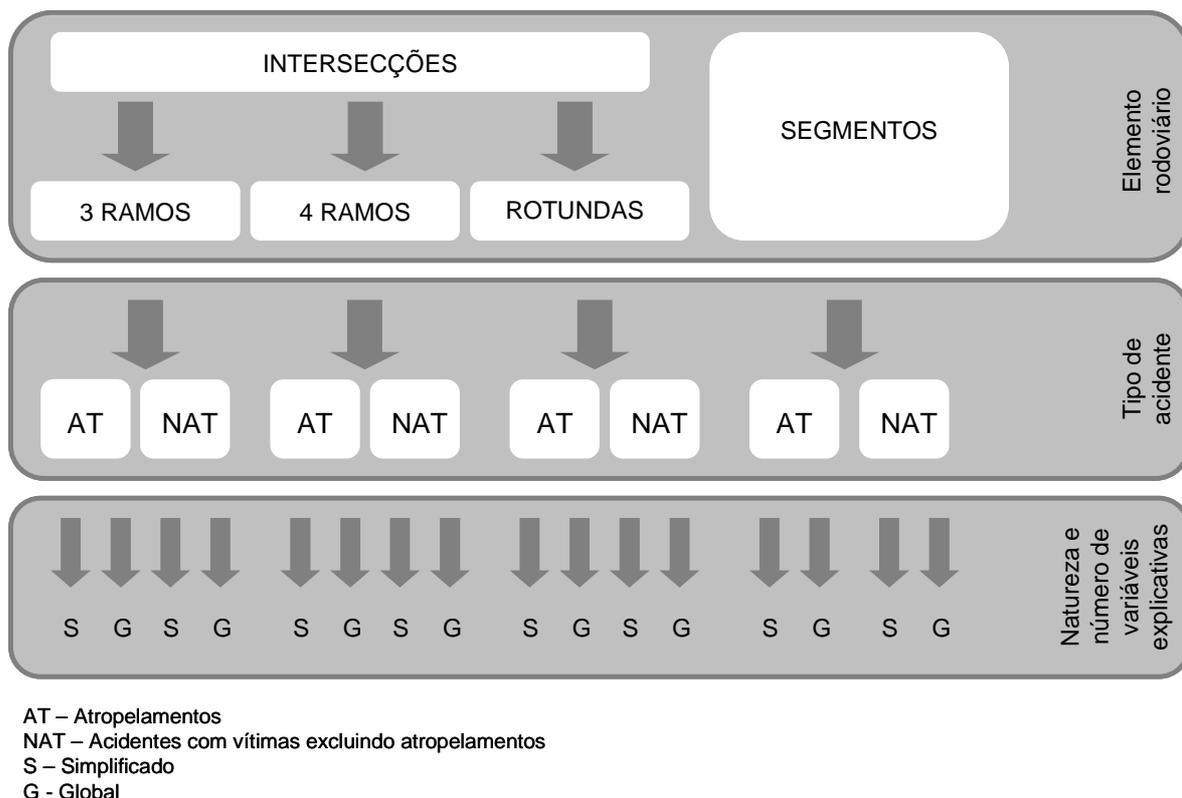
Figura 14 – Distribuição espacial dos NAT ocorridos em Lisboa entre 2004 e 2007 e dos segmentos incluídos na amostra a modelar.

### 3.2 Metodologia

O desenvolvimento dos MEFA foi efectuado através da utilização das técnicas de Modelação Linear Generalizada (aplicando o método da máxima verosimilhança) com uma componente de erro com uma distribuição Binomial Negativa. Esta unicidade no tipo de modelo utilizado ficou a dever-se ao facto de todas as amostras apresentarem sobre-dispersão (variância superior à média), sendo este modelo mais adequado para esta situação do que o de representação da componente de erro através da distribuição de Poisson (Abdel-Aty e Radwan, 2000 e Wood, 2005).

Foram consideradas duas variáveis de resposta distintas, correspondentes à desagregação dos acidentes em dois tipos: AT e NAT. Adicionalmente foi considerada uma desagregação por tipo de elemento rodoviário: intersecções e segmentos. No caso das intersecções foram desenvolvidos modelos para intersecções de três ramos, de quatro ramos e rotundas. Dada a pequena dimensão das amostras consideradas, foi ainda testada a modelação conjunta das intersecções de três e quatro ramos.

Foram testadas duas formas funcionais: a) uma equação simplificada (que foi chamado o modelo simplificado - S), em que apenas as variáveis de tráfego foram incluídas; b) uma equação mais complexa, em que foram incluídas todas as variáveis explicativas relevantes de cada amostra a modelar (que foi chamado o modelo global - G). Esta dualidade foi definida no sentido de complementar a visão tradicional, em que apenas se relaciona a ocorrência de acidentes com factores de exposição. O esquema das desagregações consideradas é apresentado na Figura 15.



**Figura 15 - Esquema das desagregações consideradas nos modelos desenvolvidos**

A escolha das variáveis explicativas a incluir nos modelos foi efectuada recorrendo às técnicas de inclusão de variáveis passo a passo, tanto através do método progressivo (em que a selecção começa com um modelo sem variáveis, ao qual vão sendo adicionadas as variáveis uma de cada vez, desde que cumpram o critério estatístico definido), como do método regressivo (em que a selecção começa com todas as variáveis no modelo e a remoção de variáveis é feita uma de cada vez, caso se considere que não cumprem o critério estatístico definido) (Thayer, 1990).

Para além desta técnica, foram também utilizados critérios intuitivos relativamente ao valor e sinal dos coeficientes obtidos. Por exemplo, uma variável que não seja credível estar associada à diminuição do número de acidentes e que apresente um coeficiente com sinal negativo, será eliminada, sendo substituída, frequentemente, por outra com ela fortemente correlacionada. O nível de significância adoptado foi de 10%.

Os modelos utilizados neste estudo assumiram a forma seguinte:

$$Y_i = e^{\beta_0} \times T^{\beta_1} \times e^{\beta_2 \times X_2 + \dots + \beta_n \times X_n} \quad (\text{Eq. 2})$$

Em que T é o valor do tráfego na unidade que se quiser considerar.

No caso dos modelos de segmentos, interessa obter um modelo que dependa da extensão do segmento que se vai estimar. Foi adoptada a seguinte forma:

$$Y_i = e^{\beta_0} \times T^{\beta_1} \times L^{\beta_2} \times e^{\beta_3 \times X_3 + \dots + \beta_n \times X_n} \quad (\text{Eq. 3})$$

Algumas das variáveis consideradas são fortemente correlacionadas entre si, pelo que não foram utilizadas em conjunto no mesmo modelo. É o caso das variáveis categóricas em que são testados níveis diferentes, por exemplo, relativamente ao número total de vias de viragem à esquerda na direcção principal, ser este maior que dois, ou maior que três.

Os dados sobre acidentes usados neste estudo referem-se ao período quadrienal entre 2004 e 2007. A sua inclusão no grupo de acidentes ocorridos sob a influência de intersecções foi efectuada com base na definição de uma zona de influência com um raio de 40m a partir do centro da intersecção.

As estatísticas de ajuste utilizadas para avaliação da qualidade obtida na modelação foram:

- Critério de Informação de Akaike (AIC)

O AIC é uma medida da qualidade de ajustamento de um modelo estatístico, definido por (Akaike, 1974):

$$AIC = -2 \log L + 2p \quad (\text{Eq. 4})$$

Em que L é o máximo valor da função de máxima verosimilhança para o modelo estimado e p é o número de parâmetros incluídos no modelo. A metodologia para obtenção deste valor assenta na procura do modelo que melhor explica os dados com o menor número de parâmetros, e como tal penaliza os modelos com elevado número de parâmetros. O modelo com o menor AIC é considerado o melhor, de entre os modelos testados.

- Somatório do desvio do modelo ( $G^2$ )

O somatório dos desvios do modelo toma o nome de  $G^2$  e é dado por:

$$G^2 = 2 \times \sum_{i=1}^n n_i \times \ln\left(\frac{n_i}{u_i}\right) \quad (\text{Eq. 5})$$

Teoricamente, se a soma dos desvios do modelo ( $G^2$ ), for igual a zero, pode dizer-se que o modelo tem um ajustamento perfeito. Este é o limite inferior teórico, uma vez que os valores observados são inteiros e os estimados são contínuos, e que justifica que se afirme que o modelo com menor  $G^2$  pode ser considerado o que possui melhor ajuste (Washington et al., 2003).

- Desvio médio do modelo (MAD)

O MAD fornece um valor médio do desvio do modelo (Oh et al., 2003). É calculado através da seguinte equação:

$$\text{MAD} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n |\hat{y}_i - y| \quad (\text{Eq. 6})$$

Em que  $\hat{y}$  é a variável de resposta estimada e  $y$  é a observada.

Um valor próximo de zero sugere que, em média, o modelo está a estimar bem os dados observados.

- $R^2$ -ajustado

Como resultado da heterocedasticidade<sup>2</sup> na regressão e da não linearidade da média, o valor de  $R^2$  usado na regressão linear dos mínimos quadrados não pode ser usado quando se desenvolvem modelos de Poisson ou Binomial Negativa (Washington et al., 2003). No entanto, com base nos resíduos pode ser calculada uma estatística similar, dada por:

$$R^2 \text{ ajustado} = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n [(n_i - \hat{\mu}_i) / \sqrt{\hat{\mu}_i}]^2}{\sum_{i=1}^n [(n_i - \bar{n}) / \sqrt{\bar{n}}]^2} \quad (\text{Eq. 7})$$

---

<sup>2</sup> A heterocedasticidade é um fenómeno estatístico que ocorre em análises de regressão quando a variância das observações não é constante (Quddus, 2008).

Em que

$n_i$  – número de ocorrências observadas

$\bar{n}$  – número médio de ocorrências observadas

$\hat{\mu}_i$  – número de ocorrências estimadas

Considera-se habitualmente que o valor de  $R^2$ -ajustado representa a proporção da variação total de acidentes explicada pelo modelo. Quanto mais próximo de um for o valor de  $R^2$  ajustado melhor será considerado o modelo.

– Índice de Elvik ( $R_E^2$ )

O índice de Elvik permite quantificar a proporção da variação sistemática explicada pelo modelo. Deriva da generalização do modelo de Poisson desenvolvido por Gourieroux et al. (Gourieroux et al., 1984a e Gourieroux et al., 1984b) e na definição proposta por Hauer relativamente à decomposição da variação nas frequências de acidentes em componente sistemática e componente aleatória (Hauer, 1997). Em presença de variação sistemática (associada à existência de sobre-dispersão), esta pode ser descrita através da seguinte expressão:

$$\text{Var}(y) = u \cdot (1 + \alpha \cdot u) \quad \text{(Eq. 8)}$$

Em que:

$y$  - Amostra de dados (frequência observada de acidentes);

$u$  - Valor médio dos dados observados;

$\alpha$  - Parâmetro de sobre-dispersão

Resolvendo esta expressão em função do parâmetro de sobre-dispersão tem-se:

$$\alpha^0 = \frac{\frac{\text{Var}(x)}{\lambda} - 1}{\lambda} \quad \text{(Eq. 9)}$$

Considerando-se  $\alpha^0$  como sendo o parâmetro de sobre-dispersão do conjunto de dados observados e  $\lambda$  a média dos dados observados.

O cálculo do Índice de Elvik é efectuado comparando o parâmetro de sobre-dispersão de um modelo ajustado ( $\alpha^m$ ) com o parâmetro de dispersão calculado para os dados observados -  $\alpha^0$  (Elvik, 2007):

$$\text{Índice de Elvik} = 1 - \frac{\alpha^m}{\alpha^0} \quad (\text{Eq. 10})$$

Algumas medidas de qualidade de ajustamento servem apenas para efectuar comparações aquando do desenvolvimento do modelo (é o caso do AIC e do  $G^2$ ) e não para explicar genericamente o desempenho do modelo em termos de poder explicativo (como o são o MAD, o Índice de Elvik e o  $R^2$  ajustado).

Adicionalmente foi também aplicado o método CURE para analisar a qualidade do ajuste do modelo. Este método foi definido originalmente por Hauer e Bamfo, 1997, destinado a criar uma alternativa para análise da qualidade do ajuste dos modelos, tendo sido usado em diversos estudos na área da segurança rodoviária (Lord e Park, 2008; Lord e Persaud, 2000; Washington et al., 2005 e Wang e Abdel-Aty, 2007). Consiste na construção de um gráfico no qual são representados os resíduos acumulados, ordenados de acordo com o valor da variável explicativa. Os resíduos representam a diferença entre as frequências de acidentes observadas e estimadas. Adicionalmente aos resíduos acumulados, são apresentadas também duas bandas de variação admissível para os mesmos ( $\pm 2\sigma^*$ ), definindo o nível de confiança com base no qual é feita a decisão acerca da qualidade do modelo. Estes valores são determinados com base na variância calculada segundo a seguinte expressão:

$$\sigma^{*2} = \sigma^2(n) \times [1 - \sigma^2(n) / \sigma^2(N)] \quad (\text{Eq. 11})$$

Em que:

$\sigma^2(n)$  - Valores parciais acumulados do quadrado dos resíduos;

$\sigma^2(N)$  - Valor total acumulado do quadrado dos resíduos.

Será considerado satisfatório um modelo cuja variação dos resíduos acumulados apresente oscilações em torno da origem, termine próximo do valor nulo e não exceda a banda contida entre  $\pm 2\sigma^*$ .

A verificação do desempenho dos modelos foi efectuada por recurso às distâncias de Cook, no que diz respeito à identificação de observações influentes nos coeficientes da regressão. Essa influência foi considerada elevada quando a distância de Cook excede a unidade. A presença de observações atípicas foi averiguada através da

análise dos gráficos dos desvios residuais em função das observações. Uma observação é classificada como atípica quando a distância de Cook não está contida no intervalo  $[-2, 2]$ . Essa atipicidade também pode ser analisada no gráfico que relaciona os pontos de influência (“leverage points”) com as observações, onde são destacados os pontos classificados como influentes e atípicos. A exclusão de observações atípicas foi efectuada no caso de serem identificadas como influentes pelas distâncias de Cook e cumulativamente de serem consideradas atípicas nos gráficos anteriormente referidos.

A verificação do desempenho dos modelos foi efectuada com base na análise dos desvios dos resíduos quanto à sua normalidade através do gráfico Q-Q. Quanto maiores os desvios relativamente à linha diagonal, pior é o desempenho do modelo. Foi ainda utilizada outra técnica que relaciona o desvio residual do modelo com os valores esperados obtidos segundo a forma linear. Um modelo com bom desempenho apresenta os pontos aleatoriamente distribuídos em torno da linha central (valor médio zero da distribuição Normal). A constatação de tendências nos resíduos pode evidenciar a presença de heterocedasticidade.

Para um maior detalhe sobre a metodologia adoptada, consultar o trabalho de Vieira Gomes, 2010).

A pequena dimensão das amostras consideradas impossibilitou a realização da validação dos modelos desenvolvidos neste estudo.

O software utilizado no desenvolvimento dos modelos de estimativa de acidentes foi o R (versão 2.8.1).

### **3.3 Intersecções**

Neste capítulo são apresentados em detalhe os modelos de estimativa de frequência de AT e NAT desenvolvidos para intersecções de três ramos, quatro ramos e rotundas.

Foi também testado o agrupamento dos dados relativos às intersecções de três e quatro ramos de forma a aumentar a dimensão da amostra a modelar.

### 3.3.1 Intersecções de três ramos

A modelação de AT em intersecções de três ramos foi efectuada considerando 22 intersecções deste tipo na cidade de Lisboa, cuja localização é apresentada na Figura 16 (ver legenda no Anexo I).

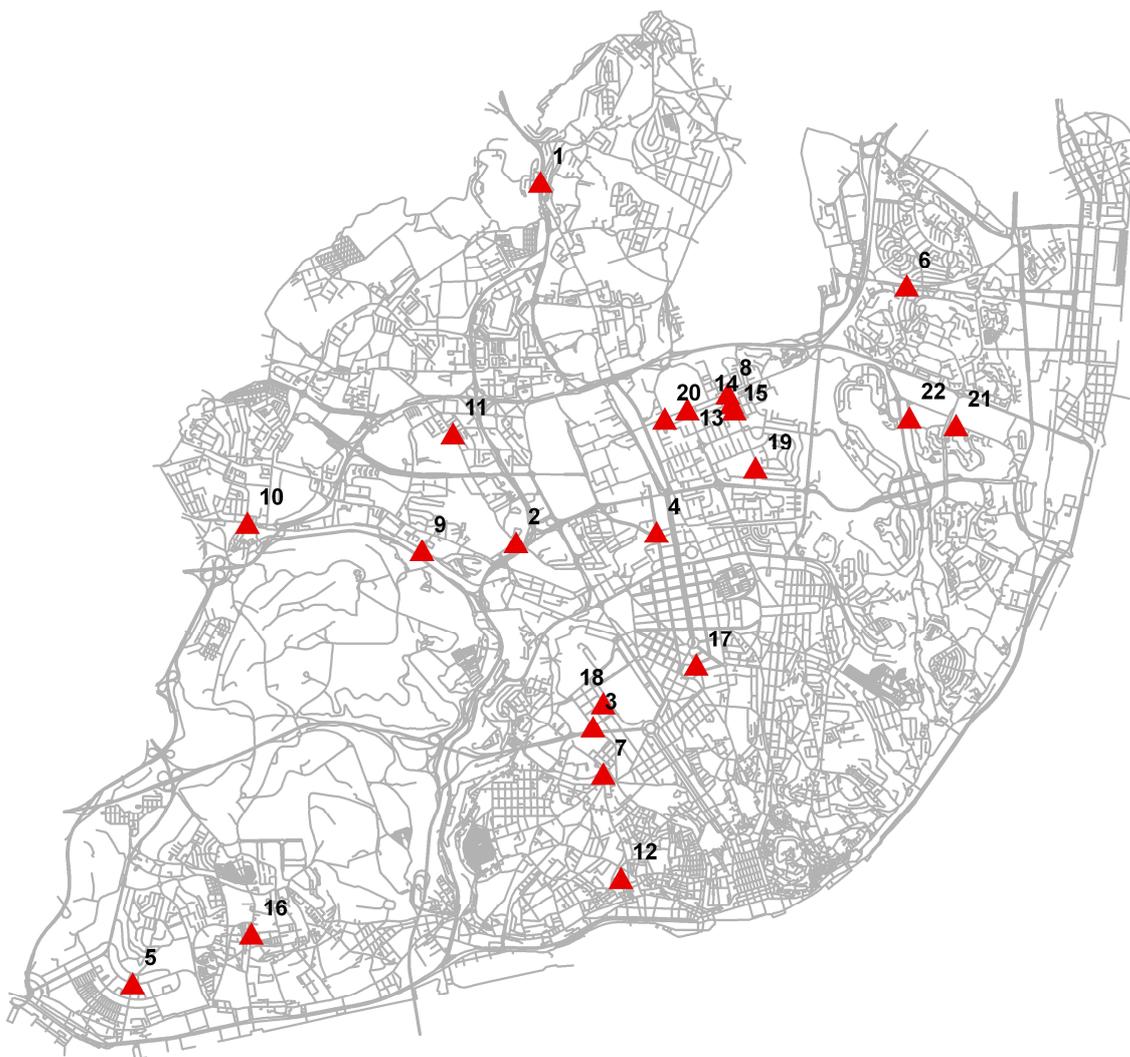


Figura 16 - Intersecções de três ramos incluídas na amostra usada na modelação de AT

Na modelação dos NAT foi possível considerar uma amostra de maior dimensão, através da inclusão de intersecções cujo tráfego foi estimado por Martinez (Martinez, 2006 e Martinez et al., 2009). Assim, foram consideradas 44 intersecções, cuja distribuição espacial é apresentada na Figura 17 (ver identificação dos locais no Anexo I).

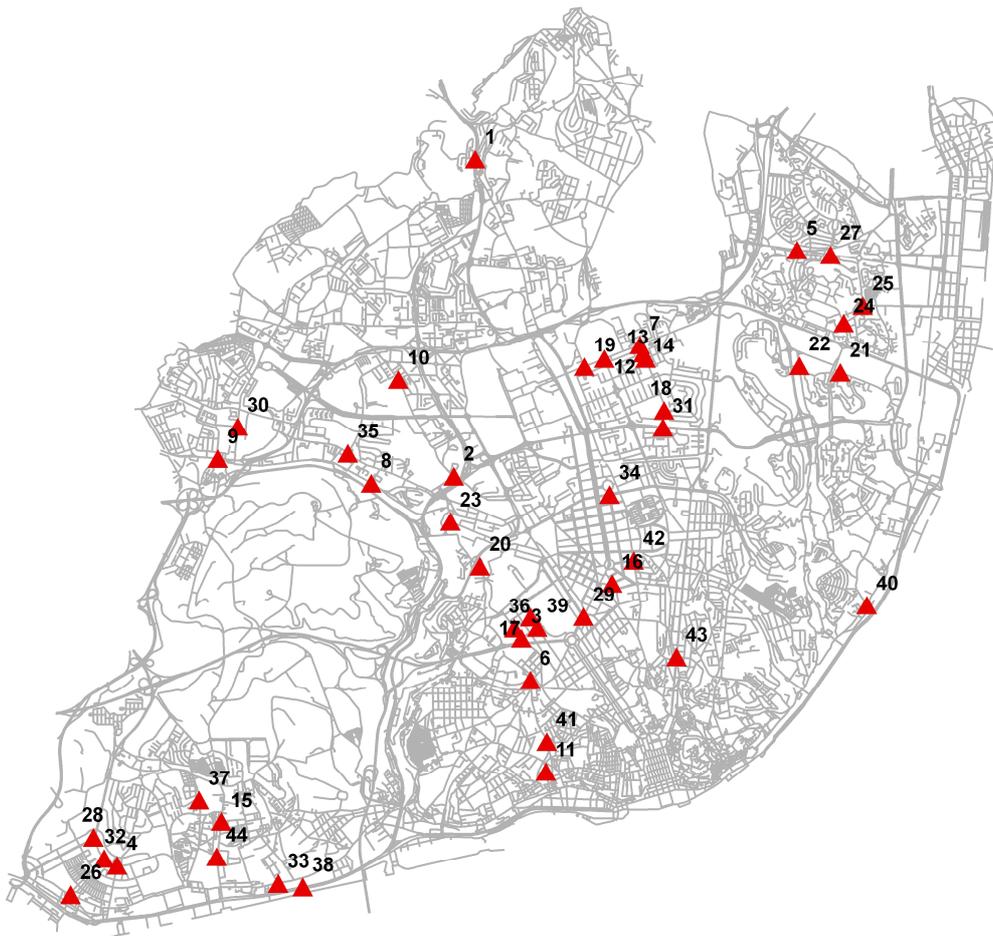


Figura 17 - Intersecções de três ramos incluídas na amostra usada na modelação de NAT

No Quadro 3 é apresentado um conjunto seleccionado de estatísticas dos acidentes (AT e NAT) incluídos nos modelos desenvolvidos para intersecções de três ramos.

Quadro 3 - Estatísticas seleccionadas dos dados de AT e de tráfego motorizado e pedonal em intersecções de três ramos

Ano	Número de AT	Restantes acidentes com vítimas
	(mín – máx – total)	(mín – máx – total)
2004	0 – 2 – 8	0 – 8 – 47
2005	0 – 3 – 8	0 – 5 – 31
2006	0 – 3 – 8	0 – 9 – 34
2007	0 – 2 – 11	0 – 5 – 35

### 3.3.1.1 Modelo global de estimativa de frequência de atropelamentos

No Quadro 4 é apresentado um conjunto seleccionado de estatísticas das potenciais variáveis explicativas em intersecções de três ramos, considerando a amostra utilizada na modelação de AT.

Relativamente à estimação dos MEFAT globais em intersecções de três ramos constatou-se que nenhuma das variáveis explicativas utilizadas se revelou significativa. Não é por isso apresentado o MEFAT global em intersecções de três ramos.

**Quadro 4 – Estatísticas seleccionadas das potenciais variáveis explicativas utilizadas na modelação de AT em intersecções de três ramos**

Variável	Descrição	Min.	Max.	Média (Desv. Pad.)	Número	
F1	TMDA de veículos motorizados na direcção principal	7831	77082	22251 (14861)	22	
F2	TMDA de veículos motorizados na direcção secundária	474	20956	5386 (5003)	22	
FT	F1+F2	8793	78977	27637 (16405)	22	
FR	F2/FT	0,023	0,470	0,193 (0,118)	22	
FQ	F2/F1	0,023	0,887	0,269 (0,220)	22	
P1	TMDA de peões na direcção principal	58	7949	1962 (1907)	22	
P2	TMDA de peões na direcção secundária	49	2814	825 (749)	22	
PT	P1+P2	107	10162	2787 (2556)	22	
PTFT	PT/FT	0,005	0,788	0,135 (0,171)	22	
FVP	PT+FT	11910	79735	30424 (16641)	22	
PTFVP	PT/FVP	0,005	0,441	0,104 (0,100)	22	
TCD	Tipo de sistema de controlo de tráfego	1 - semáforos	-	-	-	10 (45,5%)
		0 - outros	-	-	-	12 (54,6%)
CROSSMAJ	Comprimento médio de atravessamento da direcção principal	8,800	23,500	14,774 (4,024)	22	
CROSSMIN	Comprimento médio de atravessamento da direcção secundária	0,000	21,600	11,354 6,975	22	
ISLCRMAJ	Número médio de ilhas no atravessamento da direcção principal	0	2	0,591 0,648	22	
ISLCRMIN	Número médio ilhas no atravessamento da direcção secundária	0	2	0,591 0,734	22	
CWT	Número total de passagens de peões na intersecção	1	3	1,909 0,610	22	

### 3.3.1.2 Modelo simplificado de estimativa de frequência de atropelamentos

A equação que apresentou melhor ajuste na estimação dos MEFAT simplificados em intersecções de três ramos foi a seguinte:

$$\mu_{it} = \beta_0 \times F_{Tit}^{\beta_1} \times P_{Tit}^{\beta_2} \quad (\text{Eq. 12})$$

Onde:

$\mu_{it}$  = Número estimado de acidentes na intersecção  $i$  e ano  $t$ ;

$F_{Tit}$  = Tráfego de entrada de veículos por dia (TMDA) para a intersecção  $i$  e ano  $t$ ;

$P_{Tit}$  = Tráfego de peões por dia (TMDA) para a intersecção  $i$  e ano  $t$ ;

$\beta_0$ ,  $\beta_1$  e  $\beta_2$  = Coeficientes estimados.

Estatísticas seleccionadas dos resultados do ajuste são apresentadas no Quadro 5.

**Quadro 5 – Estatísticas do MEFAT simplificado em intersecções de três ramos**

	Estimativas			
	Coeficiente	Desvio Padrão	z-value	Pr(> z )
$\ln(\beta_0)$	-16.8779	4.5652	3.697	0.000218
$F_T(\beta_1)$	1.0785	0.4001	2.696	0.007027
$P_T(\beta_2)$	0.5942	0.2217	2.681	0.00735
$\alpha$		0,00027		
AIC		61.229		
$G^2$		19,975		
MAD		0,799		
Índice de Elvik		-		
$R^2$ ajustado		0,484		

Constata-se os coeficientes associados a ambas as variáveis explicativas é positivo, significando que a frequência da ocorrência de acidentes aumenta com o crescimento do tráfego, como seria de esperar.

Este modelo tem a particularidade de apresentar um parâmetro de dispersão  $\alpha$  muito baixo. Este facto está associado à convergência da distribuição Binomial Negativa para a distribuição de Poisson. A modelação segundo a distribuição de Poisson revelou coeficientes semelhantes aos que foram obtidos com a distribuição Binomial Negativa. Com o intuito de uniformizar os modelos desenvolvidos, facilitando assim a sua aplicação prática, foi mantido o modelo desenvolvido com a distribuição Binomial Negativa.

O modelo apresenta um valor de MAD de 0.799, que é um valor relativamente próximo de zero; o  $R^2$  ajustado é de 0.484, o que permite afirmar que o modelo explica cerca de 48% da variação sistemática dos acidentes; e o índice de Elvik não é aplicável quando o parâmetro de dispersão é muito baixo.

### 3.3.1.3 Modelo global de estimativa de frequência de NAT

No Quadro 6 é apresentado um conjunto seleccionado de estatísticas das potenciais variáveis explicativas em intersecções de três ramos utilizadas na modelação de NAT.

A equação do modelo global de estimação de NAT que apresentou melhor ajuste foi a seguinte:

$$\mu_{it} = \beta_0 (F_{Tit})^{\beta_1} e^{LB_i \times \beta_2 + LWMAJ_i \times \beta_3 + RTPMAJ_i \times \beta_4 + TCD_i \times \beta_5} \quad (\text{Eq. 13})$$

Onde:

- $\mu_{it}$  = Número estimado de acidentes na intersecção  $i$  e ano  $t$ ;
- $F_{Tit}$  = Tráfego de entrada em veículos por dia (TMDA) para a intersecção  $i$  e ano  $t$ ;
- LB = Equilíbrio de vias na intersecção  $i$ ;
- LWMAJ <sub>$i$</sub>  = Largura média das vias de entrada na direcção principal na intersecção  $i$ ;
- RTPMAJ <sub>$i$</sub>  = Presença de vias exclusivas de viragem à direita na direcção principal na intersecção  $i$ ;
- TCD <sub>$i$</sub>  = Sistema de controlo de tráfego na intersecção  $i$ ;
- $\beta_0, \beta_1, \beta_k$  = Coeficientes estimados.

**Quadro 6 – Estatísticas seleccionadas das potenciais variáveis explicativas em intersecções de três ramos utilizadas na modelação de NAT**

Variável	Descrição	Min.	Max.	Média (Desv. Pad.)	Número	
F1	TMDA na direcção principal	4963	77082	19100 (13229)	44	
F2	TMDA na direcção secundária	469	14166	4034 (3056)	44	
FT	F1+F2	8793	78977	23134 (14368)	44	
FR	F2/FT	0,02	0,46	0,19 (0,12)	44	
FQ	F2/F1	0,02	0,84	0,26 (0,21)	44	
LB	Equilíbrio de vias	1 – sim	-	-	-	15 (34,1%)
		0 – não	-	-	-	29 (65,9%)
LMAJT7	Número de vias de entrada na direcção principal = 3 ou mais	1 – sim	-	-	-	26 (59,1%)
		0 – não	-	-	-	18 (40,9%)
LMINT7	Número de vias de entrada na direcção secundária = 2 ou mais	1 – sim	-	-	-	7 (15,9%)
		0 – não	-	-	-	37 (84,1%)
LWMAJ	Largura média das vias de entrada na direcção principal (m)	2,75	4,70	3,44 (0,53)	44	
LWMIN	Largura média das vias de entrada na direcção secundária (m)	2,35	7,03	3,71 (0,99)	44	
MMAJ1	Presença de separador central num dos ramos da direcção principal	1 – sim	-	-	-	3 (6,8%)
		0 – não	-	-	-	41 (93,2%)
MMAJ2	Presença de separador central nos dois ramos da direcção principal	1 – sim	-	-	-	17 (38,6%)
		0 – não	-	-	-	27 (61,4%)
MMIN	Presença de separador central nos dois ramos da direcção principal	1 – sim	-	-	-	17 (38,6%)
		0 – não	-	-	-	27 (61,4%)
LTPMAJ	Presença de vias exclusivas para viragem à esquerda na direcção principal	1 – sim	-	-	-	15 (34,1%)
		0 – não	-	-	-	29 (65,9%)
LTPMIN	Presença de vias exclusivas para viragem à esquerda na direcção secundária	1 – sim	-	-	-	8 (18,2%)
		0 – não	-	-	-	39 (78,0%)
RTPMAJ	Presença de vias exclusivas para viragem à direita na direcção principal	1 – sim	-	-	-	11 (25,0%)
		0 – não	-	-	-	33 (75,0%)
RTPMIN	Presença de vias exclusivas para viragem à direita na direcção secundária	1 – sim	-	-	-	13 (29,6%)
		0 – não	-	-	-	31 (70,5%)
TCD	Sistema de controlo de tráfego	1 - semáforos	-	-	-	23 (52,3%)
		0 – outros	-	-	-	21 (47,7%)

No Quadro 7 são apresentadas estatísticas seleccionadas dos resultados do ajuste do modelo.

Quadro 7 – Estatísticas do MEFNAT global em intersecções de três ramos

	Estimativas			
	Coefficiente	Desvio Padrão	z-value	Pr(> z )
$\text{Ln}(\beta_0)$	-9.7043	3.2162	-3.017	0.00255
$F_T(\beta_1)$	0.6346	0.3094	2.051	0.04027
$\text{LB}(\beta_2)$	-1.3004	0.4045	-3.215	0.00130
$\text{LWMAJ}(\beta_3)$	0.7437	0.3055	2.435	0.01491
$\text{RTPMAJ}(\beta_4)$	0.4882	0.3028	1.612	0.10688
$\text{TCD}(\beta_5)$	0.8482	0.3500	2.423	0.01539
$\alpha$		0.364		
AIC		180.44		
$G^2$		90,562		
MAD		1,833		
Índice de Elvik		0.790		
$R^2$ ajustado		0,681		

O coeficiente da variável  $F_T$ , sendo positivo, corresponde ao acréscimo de NAT com o aumento do valor desta variável. Apenas para a variável LB, relativa ao equilíbrio de vias, é expectável um efeito redutor na ocorrência de acidentes. Este efeito pode ser explicado por intersecções com o mesmo número de vias em todos ramos de entrada originarem movimentos mais lineares (com menores conflitos), sendo, por isso, mais seguras.

O aumento da largura média das vias de entrada na direcção principal revelou estar associado a um aumento do número esperado de acidentes. Este efeito pode ser explicado por uma maior liberdade no posicionamento lateral dos veículos, o que se pode traduzir em mais colisões laterais ou velocidades de entrada elevadas.

Para o conjunto de dados analisado, a existência de uma via exclusiva de viragem à direita na direcção principal também revelou estar associada a reduções na segurança, possivelmente devido a velocidades mais elevadas na entrada da via oposta.

A presença de sinalização semafórica também revelou estar associada a maior sinistralidade, já que a variável apresenta coeficiente positivo. O aumento do número de acidentes após a aplicação de sinalização semafórica não é fenómeno raro. Este

efeito foi analisado por diversos autores, que constataram alterações ao nível da tipologia dos acidentes e vítimas: em muitos dos casos foi verificado um aumento das colisões traseiras e uma diminuição da gravidade dos acidentes (Ogden, 1996, Short et al., 1982, Pernia et al., 2004 e Wong et al., 2007). No caso do presente estudo, 75% dos acidentes com feridos leves ocorreram precisamente em intersecções de três ramos semaforizadas, quando estas apenas representam 52% da amostra utilizada.

O atrás referido não invalida a possibilidade de as relações estabelecidas se deverem à endogeneidade das variáveis explicativas LWMAJ, RTPMAJ e TCD, já que as intersecções podem possuir sinais luminosos, vias exclusivas para viragens à direita e maiores larguras de via, por terem, à partida, uma frequência de acidentes mais elevada. Não foi possível analisar este efeito dado a pequena dimensão da amostra com que se trabalhou.

Este modelo apresenta o valor de MAD igual a 1,833; o índice de Elvik é de 0.790, o que significa que o modelo explica cerca de 79% da variação sistemática observada no número de acidentes; a percentagem obtida pelo valor do  $R^2$  ajustado é um pouco inferior (68,1%), mas ainda assim elevada, o que traduz uma boa qualidade de ajuste deste modelo.

#### 3.3.1.4 Modelo simplificado de estimativa de frequência de NAT

A equação que apresentou melhor ajuste no MEFNAT simplificado em intersecções de três ramos foi a seguinte:

$$\mu_{it} = \beta_0 (F_{Tit})^{\beta_1} \quad (\text{Eq. 14})$$

Onde:

$\mu_{it}$  = Número estimado de acidentes na intersecção  $i$  e ano  $t$ ,

$F_{Tit}$  = Tráfego de entrada em veículos por dia (TMDA) para a intersecção  $i$  e ano  $t$ ,

$\beta_0$ ,  $\beta_1$  e  $\beta_2$  = Coeficientes estimados.

No Quadro 8 são apresentadas estatísticas seleccionadas dos resultados do ajuste.

A variável  $F_T$  apresentou um coeficiente positivo, correspondendo a um aumento do número esperado de acidentes com vítimas com o seu crescimento.

Quadro 8 – Estatísticas do MEFNAT simplificado em intersecções de três ramos

	Estimativas			
	Coeficiente	Desvio Padrão	z-value	Pr(> z )
$\ln(\beta_0)$	-12.2663	3.0782	-3.985	6.75e-05
$F_T(\beta_1)$	1.1884	0.3072	3.869	0.000109
$\alpha$		0,779		
AIC		189.72		
$G^2$		135,677		
MAD		2,249		
Índice de Elvik		0.549		
$R^2$ ajustado		0,494		

Este modelo apresenta um valor de MAD de 2.249; o índice de Elvik é de 0.549, ou seja o modelo explica cerca de 55% da variação sistemática observada no número de acidentes; a confiança neste valor é reforçada pela semelhança com o valor do  $R^2$  ajustado (0.494).

### 3.3.2 Intersecções de quatro ramos

A modelação de AT em intersecções de quatro ramos foi efectuada considerando uma amostra de 18 intersecções deste tipo na cidade de Lisboa, cuja localização é apresentada na Figura 18 (ver legenda no Anexo I).



**Figura 18 - Intersecções de quatro ramos incluídas na amostra usada na modelação de AT**

Na modelação dos restantes acidentes com vítimas foi possível considerar uma amostra de maior dimensão, através da inclusão de intersecções cujo VHP foi estimado por Martinez (Martinez, 2006 e Martinez et al., 2009). Foram incluídas na amostra 50 intersecções cuja localização é apresentada na Figura 19 (ver legenda no Anexo I).

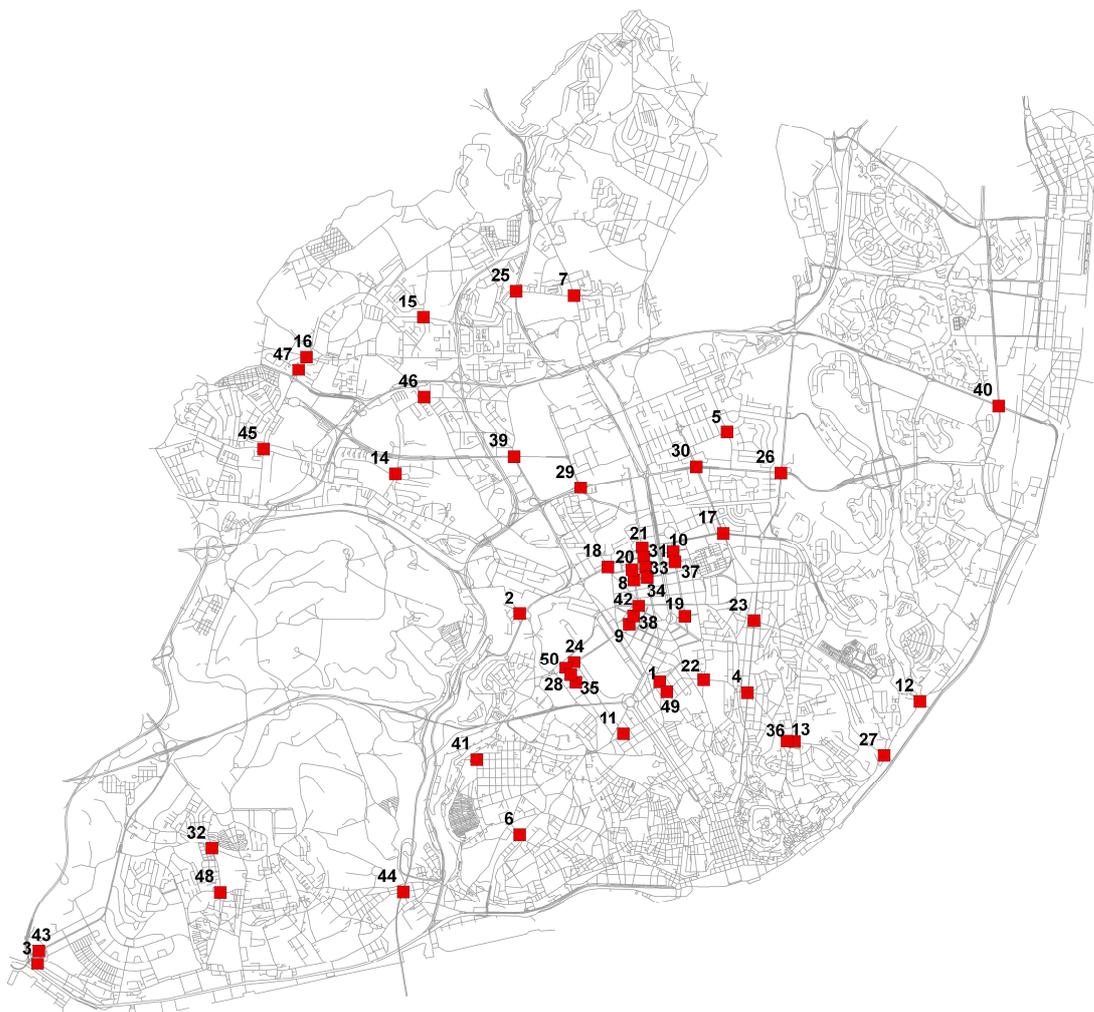


Figura 19 - Intersecções de quatro ramos incluídas na amostra usada na modelação de NAT

No Quadro 9 é apresentado um conjunto seleccionado de estatísticas dos acidentes (AT e NAT) ocorridos em intersecções de três ramos entre 2004 e 2007.

Quadro 9 - Estatísticas seleccionadas dos acidentes (AT e NAT) ocorridos em intersecções de quatro ramos

Ano	AT	NAT
	(mín – máx – total)	(mín – máx – total)
2004	0 – 3 – 9	0 – 11 – 94
2005	0 – 7 – 15	0 – 13 – 89
2006	0 – 3 – 14	0 – 13 – 92
2007	0 – 2 – 10	0 – 7 – 68

### 3.3.2.1 Modelo global de estimativa de frequência de atropelamentos

No Quadro 10 é apresentado um conjunto seleccionado de estatísticas das potenciais variáveis explicativas usadas na modelação de AT em intersecções de quatro ramos.

**Quadro 10 – Estatísticas seleccionadas das potenciais variáveis explicativas usadas na modelação de AT em intersecções de quatro ramos**

Variável	Descrição	Min.	Max.	Média (Desv. Pad.)	Número	
F1	TMDA na direcção principal	5038	56066	20706 (12110)	18	
F2	TMDA na direcção secundária	1691	20290	9273 (5198)	18	
FT	F1+F2	9340	66380	29979 (15279)	18	
FR	F2/FT	0,084	0,464	0,319 (0,114)	18	
FQ	F2/F1	0,092	0,865	0,508 (0,244)	18	
P1	TMDA de peões na direcção principal	572	10258	4045 (2671)	18	
P2	TMDA de peões direcção secundária	162	5731	2517 (1697)	18	
PT	P1+P2	831	14612	6562 (4251)	18	
PTFT	PT/FT	0,026	0,762	0,260 (0,196)	18	
FVP	PT+FT	10171	75289	36541 (16790)	18	
PTFVP	PT/FVP	0,025	0,432	0,190 (0,113)	18	
TCD	Tipo de sistema de controlo de tráfego	1 - semáforos	-	-	-	12 (66,7%)
		0 - outros	-	-	-	6 (33,3%)
CROSSMAJ	Comprimento médio de atravessamento da direcção principal	6,900	32,750	15,836 (5,728)	18	
CROSSMIN	Comprimento médio de atravessamento da direcção secundária	7,250	30,500	14,306 (6,344)	18	
ISLCRMAJ	Número médio de ilhas no atravessamento da direcção principal	0	3	0,917 (0,791)	18	
ISLCRMIN	Número médio de ilhas no atravessamento da direcção secundária	0	3	0,694 (0,788)	18	
CWMAJ	Número de passagens de peões na direcção principal	1	2	1,833 (0,383)	18	
CWMIN	Número de passagens de peões na direcção secundária	0	2	1,667 (0,594)	18	

A equação do MEFAT global em intersecções de quatro ramos que apresentou melhor

ajuste é apresentada seguidamente:

$$\mu_{it} = \beta_0 \times F_{Tit}^{\beta_1} \times P_{Tit}^{\beta_2} \times e^{CROSSMIN_i \times \beta_3 + CWMAJ_i \times \beta_4 + CWMIN_i \times \beta_5} \quad (\text{Eq. 15})$$

Onde:

- $\mu_{it}$  = Número estimado de acidentes na intersecção  $i$  e ano  $t$ ;
- $F_{Tit}$  = Tráfego de entrada em veículos por dia (TMDA) para a intersecção  $i$  e ano  $t$ ;
- $P_{Tit}$  = Tráfego de peões por dia (TMDA) para a intersecção  $i$  e ano  $t$ ;
- $CROSSMIN_i$  = Comprimento médio de atravessamento da direcção secundária da intersecção  $i$ ;
- $CWMAJ_i$  = Número de passagens de peões na direcção principal da intersecção  $i$ ;
- $CWMIN_i$  = Número de passagens de peões na direcção secundária da intersecção  $i$ ;
- $\beta_0, \beta_1, \beta_2, \beta_3, \beta_4$  e  $\beta_5$  = Coeficientes estimados.

Estatísticas seleccionadas dos resultados do ajuste são apresentadas no Quadro 11

Quadro 11 – Estatísticas do MEFAT global em intersecções de quatro ramos

	Estimativas			
	Coeficiente	Desvio Padrão	z-value	Pr(> z )
Ln( $\beta_0$ )	-33.48292	6.87614	-4.869	1.12e-06
$F_T(\beta_1)$	2.61132	0.58195	4.487	7.22e-06
PT ( $\beta_2$ )	0.68210	0.26872	2.538	0.01114
CROSSMIN( $\beta_3$ )	-0.07445	0.03241	-2.297	0.02162
CWMAJ( $\beta_4$ )	1.58791	0.61003	2.603	0.00924
CWMIN( $\beta_5$ )	-1.02317	0.45172	-2.265	0.02351
$\alpha$		0,000252		
AIC		74.847		
$G^2$		24,864		
MAD		1,289		
Índice de Elvik		-		
$R^2$ ajustado		0,579		

As variáveis significativas foram FT, PT e CWMAJ (número de passagens de peões na direcção principal), com coeficientes positivos, que correspondem a um acréscimo de AT com o aumento dos valores destas variáveis; CROSSMIN (comprimento médio de atravessamento da direcção secundária) e CWMIN (número de passagens de peões na direcção secundária) que apresentou coeficientes negativos, correspondendo a reduções no número de AT com o aumento dos seus valores.

Constatou-se uma diferença de sinal dos coeficientes das variáveis CWMAJ e CWMIN, sem justificação aparente. A variável CROSSMIN apresenta um coeficiente com sinal contra-intuitivo, já que a um maior comprimento de atravessamento deveria corresponder um incremento no número de acidente. Na variável CWMAJ foi constatado um problema semelhante, já que a um aumento do número de passagens de peões deveria estar associada uma redução da sinistralidade. Apesar destas incoerências, foi efectuada a análise estatística detalhada deste modelo, no sentido de encontrar uma justificação para estes efeitos.

Não foram encontradas justificações que pudessem justificar a incoerência relativamente ao sinal dos coeficientes das variáveis CROSSMIN e CWMIN. Esta incoerência evidencia uma fragilidade neste modelo, pelo que foi testada exclusão destas variáveis da forma funcional e foi efectuada um novo ajuste. Constatou-se que estas exclusões tornaram estaticamente insignificantes todas as outras variáveis explicativas relacionadas com a infra-estrutura, convergindo para o modelo simplificado e inviabilizando a apresentação de um modelo global robusto e coerente. Posto isto, é desaconselhada a utilização do modelo anteriormente apresentado.

Para este modelo foi obtido um valor de MAD de 1.289; e um valor de  $R^2$  ajustado de 0.579, o que significa dizer que o modelo explica cerca de 60% da variação sistemática observada no número de acidentes ocorridos. O índice de Elvik não se aplica em presença de parâmetros de dispersão muito baixos (em que há convergência da distribuição Binomial Negativa para a de Poisson).

### 3.3.2.2 Modelo simplificado de estimativa de frequência de atropelamentos

A equação do MEFAT simplificado em intersecções de quatro ramos que apresentou melhor ajuste foi a seguinte:

$$\mu_{it} = \beta_0 \times FVP_{it}^{\beta_1} \quad (\text{Eq. 16})$$

Onde:

- $\mu_{it}$  = Número estimado de acidentes na intersecção  $i$  e ano  $t$ ,  
 $FVP_{it}$  = Somatório do tráfego de entrada de veículos motorizados com o tráfego de peões por dia para a intersecção  $i$  e ano  $t$ ,  
 $\beta_0$  e  $\beta_1$  = Coeficientes estimados.

Estatísticas seleccionadas dos resultados do ajuste são apresentadas no Quadro 12.

Quadro 12 – Resultado do MEFAT simplificado em intersecções de quatro ramos

	Estimativas			
	Coefficiente	Desvio Padrão	z-value	Pr(> z )
Ln( $\beta_0$ )	-21.1722	6.0579	-3.495	0.000474
FVP( $\beta_1$ )	1.9624	0.5712	3.436	0.000591
$\alpha$		0.433		
AIC		74.152		
G <sup>2</sup>		36.218		
MAD		1.849		
Índice de Elvik		0.559		
R <sup>2</sup> ajustado		0,417		

O coeficiente da variável FVP, sendo positivo, corresponde a um acréscimo de AT com o aumento do tráfego.

O modelo apresenta um valor de MAD de 1.849; o índice de Elvik é 0.559, que corresponde a 56% da variação sistemática observada no número de acidentes explicada pelo modelo; e um valor do R<sup>2</sup> ajustado de 0.417.

### 3.3.2.3 Modelo global de estimativa de frequência de NAT

No Quadro 13 é apresentado um conjunto seleccionado de estatísticas das variáveis explicativas em intersecções de quatro ramos utilizadas na modelação de NAT.

**Quadro 13 - Estatísticas seleccionadas das potenciais variáveis explicativas em intersecções de quatro ramos utilizadas na modelação de NAT**

Variável	Descrição	Min.	Max.	Média (Desv. Pad.)	Número	
F1	TMDA na direcção principal	5038	56066	19505 (12419)	50	
F2	TMDA na direcção secundária	299	31627	9839 (6739)	50	
FT	F1+F2	8104	80211	29344 (17864)	50	
FR	F2/FT	0,035	0,50	0,33 (0,11)	50	
FQ	F2/F1	0,037	0,98	0,53 0,24	50	
LB	Equilíbrio de vias	1 – sim	-	-	-	12 (24,0%)
		0 – não	-	-	-	38 (76,0%)
LMAJT7	Número de vias de entrada na direcção principal = 3 ou mais	1 – sim	-	-	-	32 (64,0%)
		0 – não	-	-	-	18 (36,0%)
LMINT7	Número de vias de entrada na direcção secundária = 2 ou mais	1 – sim	-	-	-	27 (54,0%)
		0 – não	-	-	-	23 (46,0%)
LWMAJ	Largura média das vias de entrada na direcção principal (m)	2,4	5,93	3,70 (0,78)	50	
LWMIN	Largura média das vias de entrada na direcção secundária (m)	2,25	5,84	3,71 (0,69)	50	
MMAJ2	Presença de separador central nos dois ramos da direcção principal	1 – sim	-	-	-	35 (70,0%)
		0 – não	-	-	-	15 (30,0%)
MMIN	Presença de separador central nos dois ramos da direcção secundária	1 – sim	-	-	-	29 (59,2%)
		0 – não	-	-	-	20 (40,8%)
LTPMAJ	Presença de vias exclusivas de viragem à esquerda na direcção principal	1 – sim	-	-	-	9 (18,8%)
		0 – não	-	-	-	39 (81,3%)
LTPMIN	Presença de vias exclusivas de viragem à esquerda na direcção secundária	1 – sim	-	-	-	8 (17,0%)
		0 – não	-	-	-	39 (83,0%)
RTPMAJ	Presença de vias exclusivas de viragem à direita na direcção principal	1 – sim	-	-	-	12 (25,0%)
		0 – não	-	-	-	36 (75,0%)
RTPMIN	Presença de vias exclusivas de viragem à direita na direcção secundária	1 – sim	-	-	-	15 (32,6%)
		0 – não	-	-	-	31 (67,4%)
TCD	Sistema de controlo de tráfego	1 - semáforos	-	-	-	35 (70,0%)
		0 – outros	-	-	-	15 (30,0%)
LOW	Número de ramos com sentido único	0	1	0,10 (0,30)	50	

A equação do MEFNAT global em intersecções de quatro ramos que apresentou

melhor ajuste foi:

$$\mu_{it} = \beta_0 (F_{Tit})^{\beta_1} e^{LB_i \times \beta_2 + LMAJT7_i \times \beta_3 + LWMIN_i \times \beta_4 + RTPMIN_i \times \beta_5 + LOW_i \times \beta_6} \quad (\text{Eq. 17})$$

Onde:

- $\mu_{it}$  = Número estimado de acidentes na intersecção  $i$  e ano  $t$ ;
- $F_{Tit}$  = Tráfego de entrada, em veículos por dia (TMDA) para a intersecção  $i$  e ano  $t$ ;
- LB = Equilíbrio de vias na intersecção  $i$ ;
- LMAJT7 <sub>$i$</sub>  = Existência de 3 ou mais vias de entrada na direcção principal para a intersecção  $i$ ;
- LWMIN <sub>$i$</sub>  = Largura média das vias de entrada na direcção secundária para a intersecção  $i$ ;
- RTPMIN <sub>$i$</sub>  = Presença de vias exclusivas de viragem à direita na direcção secundária para a intersecção  $i$ ;
- LOW <sub>$i$</sub>  = Número de ramos com sentido de circulação único na intersecção  $i$ ;

$\beta_0, \beta_1, \beta_2, \beta_3, \beta_4, \beta_5$  e  $\beta_6$  = Coeficientes estimados

Estadísticas seleccionadas dos resultados do ajuste são apresentadas no Quadro 14.

Quadro 14 – Estatísticas do MEFNAT global em intersecções de quatro ramos

	Estimativas			
	Coeficiente	Desvio Padrão	z-value	Pr(> z )
Ln( $\beta_0$ )	-7.6766	2.5064	-3.063	0.002193
F <sub>T</sub> ( $\beta_1$ )	0.5106	0.2492	2.049	0.040472
LB( $\beta_2$ )	0.7820	0.2580	3.031	0.002437
LMAJT7( $\beta_3$ )	1.0614	0.3131	3.390	0.000698
LWMIN( $\beta_4$ )	0.4847	0.1652	2.935	0.003339
RTPMIN( $\beta_5$ )	0.4616	0.2566	1.799	0.072064
LOW( $\beta_6$ )	-0.6775	0.3845	-1.762	0.078045
$\alpha$		0.307		
AIC		275.54		
G <sup>2</sup>		147.873		
MAD		3.394		
Índice de Elvik		0.704		
R <sup>2</sup> ajustado		0,586		

O coeficiente da variável  $F_T$ , sendo positivo, corresponde a um acréscimo de NAT com o aumento do valor desta variável. Ao contrário do que aconteceu com as intersecções de três ramos, a variável LB, relativa ao equilíbrio de vias, revelou estar associada a um acréscimo no número de acidentes. Constatou-se que nas observações em que a variável LB assumiu o valor 1 (5 em 12) o número observado de acidentes foi muito elevado, estando possivelmente associado à grande dimensão destas observações, já que nestes casos também a variável LMAJT7 assumiu o valor 1. Será possivelmente esta a razão que originou um coeficiente positivo para LB no modelo. Outras variáveis com efeitos negativos foram o número de vias de entrada na direcção principal igual ou superior a três (um maior número de vias, implica, em princípio, um maior número de conflitos uma vez que há uma maior variabilidade na escolha das possíveis trajetórias); a largura média das vias de entrada na direcção secundária (efeito que pode estar associado a uma maior liberdade no posicionamento lateral dos veículos, o que se pode traduzir em mais colisões laterais) e a presença de vias exclusivas de viragem à direita na direcção secundária (que potenciam a ocorrência de acidentes por velocidades elevadas na entrada da outra via). O número de ramos com sentido único de circulação revelou estar associado a menores frequências de acidente, possivelmente por corresponder a menos conflitos na intersecção.

O modelo apresenta um valor elevado de MAD de 3.394; no entanto o índice de Elvik é de 0.704, o que se pode considerar bastante satisfatório, já que explica cerca de 70% da variação sistemática observada no número de acidentes; o valor do  $R^2$  ajustado é um pouco inferior ao índice de Elvik (58.6%), mas ainda assim elevado, o que reflecte uma boa qualidade de ajuste deste modelo.

#### 3.3.2.4 Modelo simplificado de estimativa de frequência de NAT

A equação do MEFNAT simplificado em intersecções de quatro ramos que apresentou melhor ajuste foi a seguinte:

$$\mu_{it} = \beta_0 (F_{T_{it}})^{\beta_1} \quad \text{(Eq. 18)}$$

Onde:

$\mu_{it}$  = Número estimado de acidentes na intersecção  $i$  e ano  $t$ ,

$F_{T_{it}}$  = Tráfego de entrada em veículos por dia (TMDA) para a intersecção  $i$  e

ano  $t$ ,

$\beta_0, \beta_1, \beta_2$  = Coeficientes estimados.

No Quadro 15 são apresentadas estatísticas seleccionadas dos resultados do ajuste deste modelo.

Quadro 15 – Estatísticas do MEFNAT simplificado em intersecções de quatro ramos

	Estimativas			
	Coeficiente	Desvio Padrão	z-value	Pr(> z )
$\ln(\beta_0)$	-10.158	2.023	-5.021	5.13e-07
$F_T(\beta_1)$	1.167	0.197	5.924	3.14e-09
$\alpha$		0.390		
AIC		267.88		
$G^2$		168,521		
MAD		3,807		
Índice de Elvik		0.641		
$R^2$ ajustado		0,549		

O coeficiente da variável  $F_T$ , sendo positivo, corresponde a um acréscimo de NAT com o aumento do valor desta variável.

Este modelo apresenta um valor de MAD de 3.807, valor bastante distante de zero, comparativamente aos valores obtidos para os modelos anteriores; o índice de Elvik obtido foi de 0.641, significando que o modelo explica cerca de 65% da variação sistemática observada no número de acidentes; e o valor do  $R^2$  ajustado obtido foi de 0.549.

### 3.3.3 Intersecções de três e quatro ramos

A qualidade do ajuste dos modelos estatísticos depende em grande medida da dimensão da amostra que se utiliza. A dificuldade na obtenção de amostras de dados

numerosas gerou o interesse em averiguar a vantagem de se agruparem os dados dos dois tipos de intersecções anteriormente analisados – as intersecções de três e as de quatro ramos, aumentando assim a dimensão da amostra para 40 intersecções, no caso do modelo relativo a AT e para 94 no caso dos NAT.

### 3.3.3.1 Modelo global de estimativa de frequência de atropelamentos

O conjunto seleccionado de estatísticas dos dados amostrais é igual ao apresentado nos respectivos subcapítulos, à excepção da variável adicional LEG relativa ao número de ramos da intersecção, cujo conjunto seleccionado de estatísticas é apresentado no Quadro 16.

**Quadro 16 - Estatísticas seleccionadas da variável explicativa LEG em intersecções de três e quatro ramos**

Variável	Descrição	Min.	Max.	Média (Desv. Pad.)	Número	
LEG	Número de ramos da intersecção	0 – três ramos	-	-	-	22 (45.0%)
		1 – quatro ramos	-	-	-	18 (55.0%)

O MEFAT global em intersecções de três e quatro ramos não revelou variáveis significativas para além das que foram apresentadas no modelo simplificado.

### 3.3.3.2 Modelo simplificado de estimativa de frequência de atropelamentos

A equação do MEFAT simplificado em intersecções de três e quatro ramos que apresentou melhor ajuste foi a seguinte:

$$\mu_{it} = \beta_0 \times F_{Tit}^{\beta_1} \times P_{Tit}^{\beta_2} \quad (\text{Eq. 19})$$

Onde:

$\mu_{it}$  = Número estimado de acidentes na intersecção  $i$  e ano  $t$ ,

$F_{Tit}$  = Tráfego de entrada em veículos por dia (TMDA) para a intersecção  $i$  e ano  $t$ ,

$P_{Tit}$  = Tráfego de peões por dia (TMDA) para a intersecção  $i$  e ano  $t$ ,

$\beta_0$ ,  $\beta_1$  e  $\beta_2$  = Coeficientes estimados.

**Quadro 17 – Estatísticas do MEFAT simplificado em intersecções de três e quatro ramos agrupadas**

	Estimativas			
	Coefficiente	Desvio Padrão	z-value	Pr(> z )
Ln( $\beta_0$ )	-17.3962	3.3718	-5.159	2.48e-07
FT( $\beta_1$ )	1.1475	0.3060	3.750	0.000177
PT( $\beta_2$ )	0.5746	0.1611	3.566	0.000363
$\alpha$		0.182		
AIC		125.24		
G <sup>2</sup>		55.146		
MAD		1.178		
Índice de Elvik		0.859		
R <sup>2</sup> ajustado		0.557		

Os coeficientes das variáveis FT e PT, sendo positivos, correspondem a um acréscimo de AT com o aumento dos valores destas variáveis.

Este modelo apresenta um valor de MAD de 1.178, que comparativamente ao que foi obtido para as intersecções de três e quatro ramos isoladas (0.799 e 1.849, respectivamente), é um valor intermédio. No que diz respeito ao índice de Elvik, este modelo apresentou um valor de 0.859, sendo uma importante melhoria face ao valor obtido para as intersecções de quatro ramos (0.559). No valor de R<sup>2</sup> ajustado também se verificou uma subida (0,484 para o modelo de intersecções de três ramos e 0,417 para o modelo de intersecções de quatro ramos).

### 3.3.3.3 Modelo global de estimativa de frequência de NAT

A análise da junção dos dados sobre intersecções de três e de quatro ramos abordou também os NAT. Esta junção permitiu a modelação de uma amostra com 94 intersecções.

O conjunto seleccionado de estatísticas dos dados é igual ao apresentado nos

respectivos subcapítulos, à excepção da variável adicional LEG relativa ao número de ramos da intersecção, cujas estatísticas seleccionadas são apresentadas no Quadro 18.

**Quadro 18 – Estatísticas seleccionadas da variável explicativa LEG em intersecções de três e quatro ramos**

Variável	Descrição	Min.	Max.	Média (Desv. Pad.)	Número
LEG	Número de ramos da intersecção	0 – três ramos	-	-	50 (53,2%)
		1 – quatro ramos	-	-	44 (46,8%)

A equação do MEFNAT global em intersecções de três e quatro ramos que apresentou melhor ajuste foi a seguinte:

$$\mu_{it} = \beta_0 (F_{Tit})^{\beta_1} e^{LMAJT7_i \times \beta_2 + LWMAJ_i \times \beta_3 + MMAJ_i \times \beta_4 + RTPMAJ_i \times \beta_5 + LEG_i \times \beta_6} \quad (\text{Eq. 20})$$

Onde:

- $\mu_{it}$  = Número estimado de acidentes na intersecção  $i$  e ano  $t$ ;
- $F_{Tit}$  = Tráfego de entrada em veículos por dia (TMDA) para a intersecção  $i$  e ano  $t$ ;
- $LMAJT7_i$  = Número de vias de entrada na direcção principal igual ou superior a três para a intersecção  $i$ ;
- $LWMAJ_i$  = Largura média das vias de entrada na direcção principal para a intersecção  $i$ ;
- $MMAJ_i$  = Presença de separador central nos dois ramos da direcção principal para a intersecção  $i$ ;
- $RTPMAJ_i$  = Presença de vias exclusivas de viragem à direita nos ramos da direcção principal para a intersecção  $i$ ;
- $LEG_i$  = Número de ramos da intersecção  $i$ ;
- $\beta_0, \beta_1, \beta_k$  = Coeficientes estimados.

No Quadro 19 são apresentadas estatísticas seleccionadas dos resultados do ajuste do modelo.

Quadro 19 – Estatísticas seleccionadas do MEFNAT global em intersecções de três e quatro ramos

	Estimativas			
	Coeficiente	Desvio Padrão	z-value	Pr(> z )
$\text{Ln}(\beta_0)$	-9.8532	2.2258	-4.427	9.56e-06
$F_T(\beta_1)$	0.8258	0.2200	3.754	0.000174
$\text{LMAJT7}(\beta_2)$	0.4928	0.2807	1.755	0.079190
$\text{LWMAJ}(\beta_3)$	0.2702	0.1474	1.833	0.066811
$\text{MMAJ}(\beta_4)$	-0.4365	0.2299	-1.899	0.057550
$\text{RTPMAJ}(\beta_5)$	0.4922	0.2356	2.089	0.036730
$\text{LEG}(\beta_6)$	0.6815	0.2018	3.377	0.000733
$\alpha$		0.509		
AIC		470.62		
$G^2$		298.392		
MAD		3.158		
Índice de Elvik		0.640		
$R^2$ ajustado		0.549		

O coeficiente da variável  $F_T$ , sendo positivo, corresponde a um acréscimo de NAT com o aumento do valor desta variável.

Apenas à variável MMAJ, relativa à presença de separador central nos dois ramos da direcção principal, corresponde uma diminuição na frequência de acidentes com o aumento do seu valor. A variável LMAJT7 apresentou um coeficiente positivo, pelo que o facto de existirem três ou mais vias de entrada na direcção principal está associado a mais acidentes (um maior número de vias, implica, em princípio, um maior número de conflitos, dada a maior variabilidade na escolha de possíveis trajectórias).

O aumento da largura média das vias de entrada na direcção principal revelou estar associado a um aumento no número esperado de acidentes. Este efeito pode justificar-se por uma maior liberdade no posicionamento lateral dos veículos e pela prática de maiores velocidades, o que se pode traduzir em mais colisões laterais.

A existência de uma via exclusiva de viragem à direita na direcção principal também revelou, para este conjunto de dados, um efeito negativo na segurança, talvez associado a velocidades elevadas na entrada da via oposta.

A variável LEG, respeitante ao número de ramos de entrada da intersecção, apresenta um efeito coerente com o que seria expectável, já que é normal que intersecções com quatro ramos de entrada tenham mais acidentes do que as que têm apenas três, atendendo ao maior número de pontos de conflito e à maior complexidade das situações de tráfego.

O modelo apresenta um valor de MAD de 3.158, que, comparativamente ao que foi obtido para as intersecções de três e quatro ramos isoladas (1,833 e 3.394, respectivamente), é um valor intermédio. No que diz respeito ao índice de Elvik, este modelo apresentou um valor de 0.640, o que representa um valor inferior face aos valores obtidos nos modelos isolados de intersecções de três e quatro ramos (0.790 e 0.704, respectivamente). No valor de  $R^2$  ajustado também se verificou uma diminuição: de 0.549 no presente modelo para 0,681 e 0,586, para os casos isolados de intersecções de três e quatro ramos, respectivamente.

#### 3.3.3.4 Modelo simplificado de estimativa de frequência de NAT

A equação do MEFNAT simplificado em intersecções de três e quatro ramos que apresentou melhor ajuste foi:

$$\mu_{it} = \beta_0 (F_{Tit})^{\beta_1} \quad (\text{Eq. 21})$$

Onde:

$\mu_{it}$  = Número estimado de acidentes na intersecção  $i$  e ano  $t$ ,

$F_{Tit}$  = Tráfego de entrada em veículos por dia (TMDA) para a intersecção  $i$  e ano  $t$ ,

$\beta_0, \beta_1, \beta_2$  = Coeficientes estimados.

No Quadro 20 são apresentadas estatísticas seleccionadas dos resultados do ajuste.

Quadro 20 – Estatísticas seleccionadas do ajuste do MEFNAT simplificado em intersecções de três e quatro ramos

	Estimativas			
	Coefficiente	Desvio Padrão	z-value	Pr(> z )
Ln( $\beta_0$ )	-10.5834	1.7934	-5.901	3.60e-09
FT( $\beta_1$ )	1.0592	0.1773	5.975	2.30e-09
$\alpha$		0.695		
AIC		481.2		
G <sup>2</sup>		388.844		
MAD		3.404		
Índice de Elvik		0.508		
R <sup>2</sup> ajustado		0.431		

O coeficiente da variável  $F_T$ , sendo positivo, corresponde a um acréscimo de NAT com o aumento do valor desta variável.

Este modelo apresenta um valor de MAD de 3.404, que comparativamente ao que foi obtido para as intersecções de três e quatro ramos isoladas (2,249 e 3,807, respectivamente), é um valor intermédio, mas mesmo assim, distante do valor nulo. No que diz respeito ao índice de Elvik, este modelo apresentou um valor de 0.508, pior do que os valores obtidos nos modelos isolados de intersecções de três e quatro ramos (0.549 e 0.641, respectivamente). No valor de R<sup>2</sup> ajustado também se verificou um valor inferior (0,494 para intersecções de três ramos e 0,549 para intersecções de quatro ramos).

### 3.3.4 Rotundas

Neste subcapítulo são apresentados os resultados dos MEFA desenvolvidos para as intersecções giratórias. Tal como anteriormente, foram desenvolvidos modelos simplificados e globais para as frequências de AT e dos restantes acidentes com vítimas.

A modelação de acidentes em rotundas (AT e NAT) foi efectuada considerando uma amostra de 15 intersecções deste tipo na cidade de Lisboa, cuja localização é apresentada na Figura 20 (ver legenda no Anexo I).



Figura 20 - Amostra das rotundas usadas no estudo de caso

No Quadro 21 é apresentado um conjunto seleccionado de estatísticas dos acidentes incluídos nos modelos desenvolvidos para AT em rotundas.

Quadro 21 – Estatísticas seleccionadas dos dados sobre acidentes (AT e NAT) ocorridos em rotundas

Ano	AT	NAT
	(mín – máx – total)	(mín – máx – total)
2004	0 – 1 – 2	0 – 8 – 22
2005	0 – 3 – 6	0 – 10 – 32
2006	0 – 2 – 10	0 – 10 – 29
2007	0 – 2 – 5	0 – 3 – 21

### 3.3.4.1 Modelo global de estimativa de frequência de atropelamentos

No Quadro 22 é apresentado um conjunto seleccionado de estatísticas das potenciais variáveis explicativas utilizadas no desenvolvimento dos MEFAT em rotundas.

**Quadro 22 - Estatísticas seleccionadas das potenciais variáveis explicativas utilizadas no desenvolvimento de MEFAT em rotundas**

Variável	Descrição	Min.	Max.	Média (Desv. Pad.)	Número
FT	TMDA de entrada de veículos motorizados	8344	80077	35402 (21413,334)	15
PT	TMDA de peões em todos os ramos	138	37531	8205 (12507,143)	15
VR	FT/PT	0,005	0,833	0,205 (0,271)	15
FVP	FT+PT	9462	117608	43665 (31281,765)	15
LEG	Número de ramos da intersecção	3	6	4 (0,840)	15
AVCRWIDTH	Distância média de atravessamento	5	11	8 (2,012)	15
TOTCRWIDTH	Distância total de atravessamento	28	114	63 (26,625)	15

A modelação de AT em rotundas considerando todas as variáveis explicativas revelou que nenhuma das características do ambiente rodoviário consideradas é estatisticamente significativa, pelo que não é apresentado o MEFAT global em rotundas.

### 3.3.4.2 Modelo simplificado de estimativa de frequência de atropelamentos

A equação do MEFAT simplificado em rotundas que apresentou melhor ajuste foi a seguinte:

$$\mu_{it} = \beta_0 \times (FVP_{it})^{\beta_1} \quad (\text{Eq. 22})$$

Onde:

$\mu_{it}$  = Número estimado de AT na intersecção  $i$  e ano  $t$ ,

$FVP_{it}$  = Somatório do tráfego de entrada em veículos por dia com o tráfego de

peões por dia para a intersecção  $i$  e ano  $t$ ,  
 $\beta_0$  e  $\beta_1$  = Coeficientes estimados.

No Quadro 23 são apresentadas estatísticas seleccionadas dos resultados do ajuste do modelo.

**Quadro 23 – Estatísticas do MEFAT simplificado em rotundas (sem a intersecção 1)**

	Estimativas			
	Coeficiente	Desvio Padrão	z-value	Pr(> z )
Ln( $\beta_0$ )	-23.3228	7.2491	-3.217	0.00129
FVP( $\beta_1$ )	2.1117	0.6745	3.131	0.00174
$\alpha$		0.000053		
AIC		41.080		
G <sup>2</sup>		20.899		
MAD		0.869		
Índice de Elvik		Não aplicado		
R <sup>2</sup> ajustado		0,397		

Para este modelo foi obtido um valor de MAD de 0.869, um valor não muito distante de zero; e um valor de R<sup>2</sup> ajustado de 0.397, o que significa dizer que o modelo está a explicar apenas 40% dos acidentes ocorridos. O índice de Elvik não é aplicável quando os parâmetros de dispersão são muito baixos.

#### 3.3.4.3 Modelo global de estimativa de frequência de NAT

Na modelação de NAT ocorridos em rotundas foi definida uma nova potencial variável explicativa ( $V_{ANEL}$  - Número de vias do anel igual ou superior a 3) e suprimidas duas outras associadas apenas a movimentos pedonais ( $AVCRWIDTH$  - Distância média de atravessamento e  $TOTCRWIDTH$  - Distância total de atravessamento).

No Quadro 24 é apresentado um conjunto seleccionado de estatísticas da nova variável explicativa utilizada na modelação de NAT ocorridos em rotundas.

**Quadro 24 - Estatísticas seleccionadas da nova variável explicativa  $V_{ANEL}$  testada na modelação de NAT ocorridos em rotundas**

Variável	Descrição	Min.	Max.	Média (Desv. Pad.)	Número
$V_{ANEL}$	Número de vias do anel igual ou superior a 3	0 - Sim	-	-	5 (33,3%)
		1 - Não	-	-	10 (66,7%)

Seguidamente apresenta-se a equação do MEFNAT global ocorridos em rotundas que apresentou melhor ajuste:

$$\mu_{it} = \beta_0 (FT_{it})^{\beta_1} e^{LEG_i \times \beta_2} \quad (\text{Eq. 23})$$

Onde:

$\mu_{it}$  = Número estimado de acidentes na intersecção  $i$  e ano  $t$ ;

$FT_{it}$  = Tráfego de entrada, em veículos por dia (TMDA) para a intersecção  $i$  e ano  $t$ ;

$LEG_i$  = Número de ramos da intersecção igual ou superior a 3;

$\beta_0$ ,  $\beta_1$  e  $\beta_2$  = Coeficientes estimados.

No Quadro 25 são apresentadas estatísticas seleccionadas dos resultados do ajuste do modelo.

**Quadro 25 – Estatísticas seleccionadas do MEFNAT global em rotundas**

	Estimativas			
	Coeficiente	Desvio Padrão	z-value	Pr(> z )
$\ln(\beta_0)$	-17.5517	2.5048	-7.007	2.43e-12
$FT(\beta_1)$	1.5084	0.2383	6.331	2.44e-10
$LEG(\beta_2)$	0.5248	0.1071	4.902	9.50e-07
$\alpha$		0.00003		
AIC		72.296		
$G^2$		18.656		
MAD		1.884		
Índice de Elvik		-		
$R^2$ ajustado		0.870		

O coeficiente da variável  $F_T$ , sendo positivo, corresponde a um acréscimo de NAT com o aumento do valor desta variável. A variável LEG, relativa ao número de ramos da intersecção, revelou estar associada a um aumento no número de acidentes: quanto maior o número de ramos, maior será o número de conflitos e consequentemente o de acidentes.

Este modelo apresenta um valor de MAD de 1.884; um valor do  $R^2$  ajustado de 0.87, que corresponde a dizer que o modelo explica cerca de 87% da variação total observada no número de acidentes, o que traduz uma muito boa qualidade de ajuste deste modelo.

#### 3.3.4.4 Modelo simplificado de estimativa de frequência de NAT

A equação do MEFNAT simplificado ocorridos em rotundas que apresentou melhor ajuste foi:

$$\mu_{it} = \beta_0 \times (FT_{it})^{\beta_1} \quad (\text{Eq. 24})$$

Onde:

$\mu_{it}$  = Número estimado de AT na intersecção  $i$  e ano  $t$ ,

$FT_{it}$  = Tráfego de entrada, em veículos por dia para a intersecção  $i$  e ano  $t$ ,

$\beta_0$  e  $\beta_1$  = Coeficientes estimados.

Estatísticas seleccionadas dos resultados do ajuste são apresentadas no Quadro 26. O coeficiente da variável  $F_T$ , sendo positivo, corresponde a um acréscimo de NAT com o aumento do valor desta variável.

Quadro 26 – Estatísticas do MEFNAT simplificado em rotundas

	Estimativas			
	Coefficiente	Desvio Padrão	z-value	Pr(> z )
$\ln(\beta_0)$	-15.4509	4.0086	-3.854	0.000116
$FT(\beta_1)$	1.4985	0.3772	3.973	7.1e-05
$\alpha$		0.424		
AIC		85.212		
$G^2$		50.939		
MAD		4.576		
Índice de Elvik		0.636		
$R^2$ ajustado		0.485		

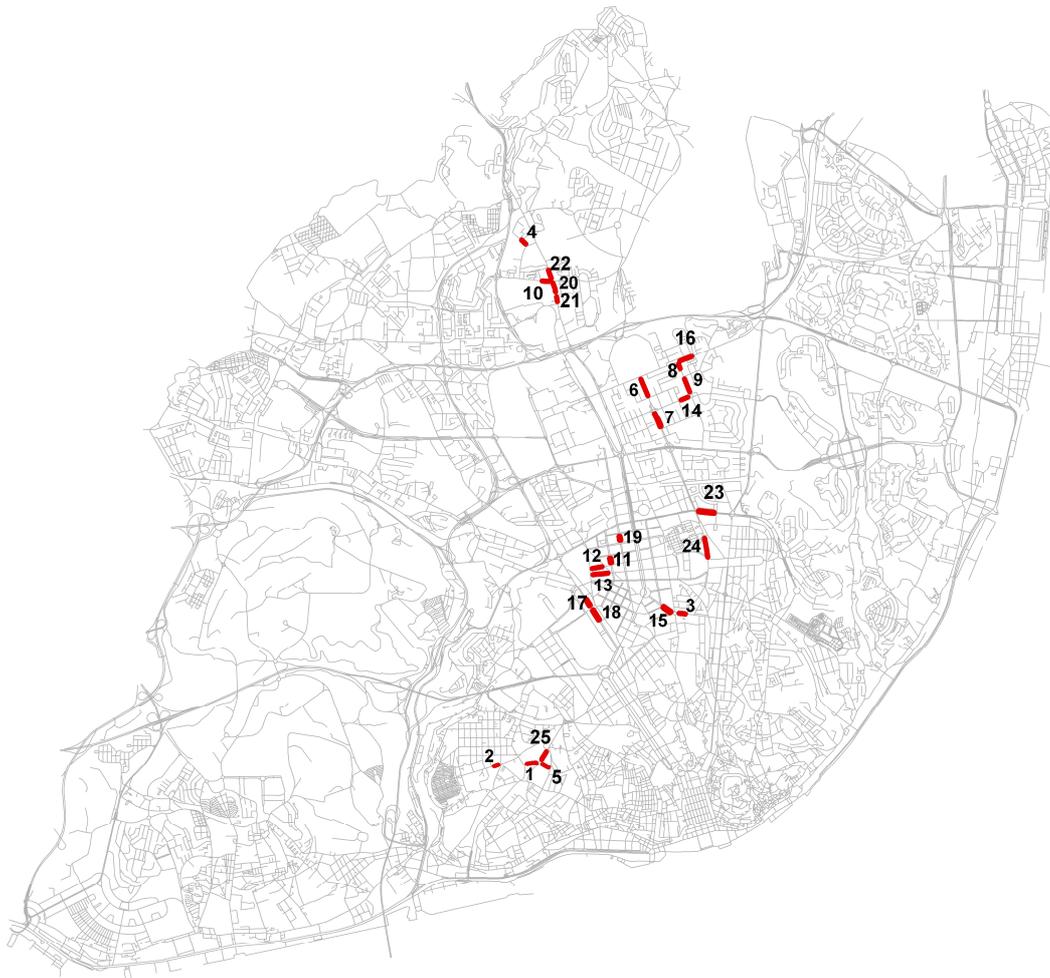
O modelo apresenta um valor de MAD bastante afastado do valor nulo (4.576); o índice de Elvik obtido foi de 0.639, o que significa que o modelo explica cerca de 64% da variação sistemática dos acidentes. O valor obtido do parâmetro  $R^2$  ajustado é um pouco inferior ao índice referido - 0.485.

### 3.4 Segmentos

Neste subcapítulo são apresentados os resultados dos MEFA com vítimas desenvolvidos para segmentos.

#### 3.4.1 Modelo global de estimativa de frequência de atropelamentos

A modelação de AT em segmentos foi efectuada considerando uma amostra de 25 secções de contagem distribuídas pela cidade de Lisboa, cuja localização é apresentada na Figura 21 (ver legenda no Anexo I).



**Figura 21 - Localização dos segmentos consideradas para contagem de volumes de circulação pedonal**

A contabilização dos AT nestes segmentos foi efectuada desprezando 40 metros do início e fim das mesmas, de forma a eliminar a zona da estrada considerada sob a influência da intersecção.

O comprimento de cada segmento foi calculado através da identificação das intersecções adjacentes às analisadas, para as quais foi definido um raio de influência de igual dimensão ao que foi considerado no cálculo dos acidentes considerados sob a influência da intersecção. Com base nos dois raios de influência (o da intersecção analisada e o da intersecção adjacente), foi calculado o comprimento efectivo do segmento de estrada que se considera estar fora da zona de influência da intersecção (ver Figura 22).

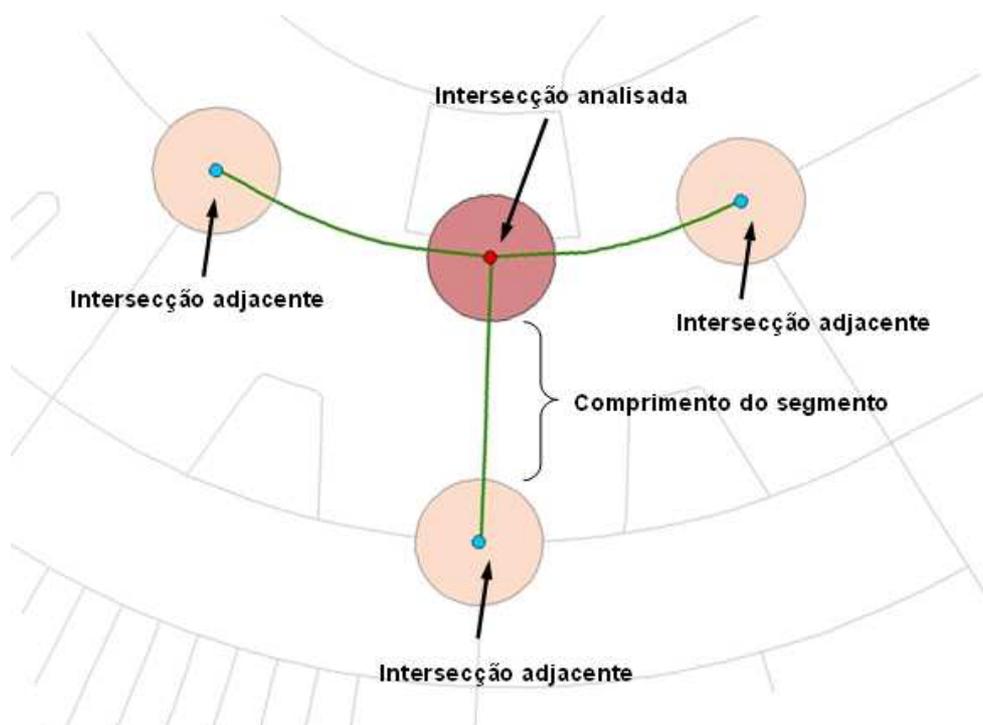


Figura 22 - Esquema de cálculo do comprimento de cada segmento

No Quadro 27 é apresentado um conjunto seleccionado de estatísticas dos AT ocorridos entre 2004 e 2007 nos segmentos seleccionados.

Quadro 27 - Estatísticas seleccionadas dos AT ocorridos nos segmentos

Ano	AT
	(mín – máx – total)
2004	0 – 1 – 4
2005	0 – 3 – 9
2006	0 – 1 – 2
2007	0 – 2 – 5

No Quadro 28 é apresentado um conjunto seleccionado de estatísticas das potenciais variáveis explicativas utilizadas na modelação de AT em segmentos.

**Quadro 28 - Estatísticas seleccionadas das potenciais variáveis explicativas utilizadas na modelação de AT em segmentos**

Variável	Descrição	Min.	Max.	Média (Desv. Pad.)	Número	
FT	TMDA de veículos	4503	33781	15199,346 (7387,951)	25	
PT	TMDA de peões	92	3488	1331,400 (953,723)	25	
FTPT	FT+PT	4727	36532	16530,746 (7333,276)	25	
L	Comprimento do segmento (m)	43	218	107,542 (51,121)	25	
CRW	Comprimento de atravessamento (m)	7,23	24,75	15,568 (4,716)	25	
PARKW	Largura de estacionamento (m)	0,00	9,00	2,860 (2,370)	25	
ISLN	Número de separadores centrais/ilhas	0	1	0,320 (0,476)	25	
ISLW	Largura do separador central/ilha	0,00	8,20	1,499 (2,724)	25	
CRWALK	Presença de passagem de peões	1 – sim	-	-	-	3 (12.0%)
		0 – não	-	-	-	22 (88.0%)

Apesar de terem sido tentadas diversas formas funcionais, nenhum MEFA simplificado em segmentos apresentou ajuste adequado. O reduzido número de AT observados nestes segmentos poderá ter tido alguma influência neste desajuste.

Em consequência disso, o mesmo aconteceu com o modelo global, pelo que não é possível apresentar nenhum modelo de estimativa de frequência de AT em segmentos.

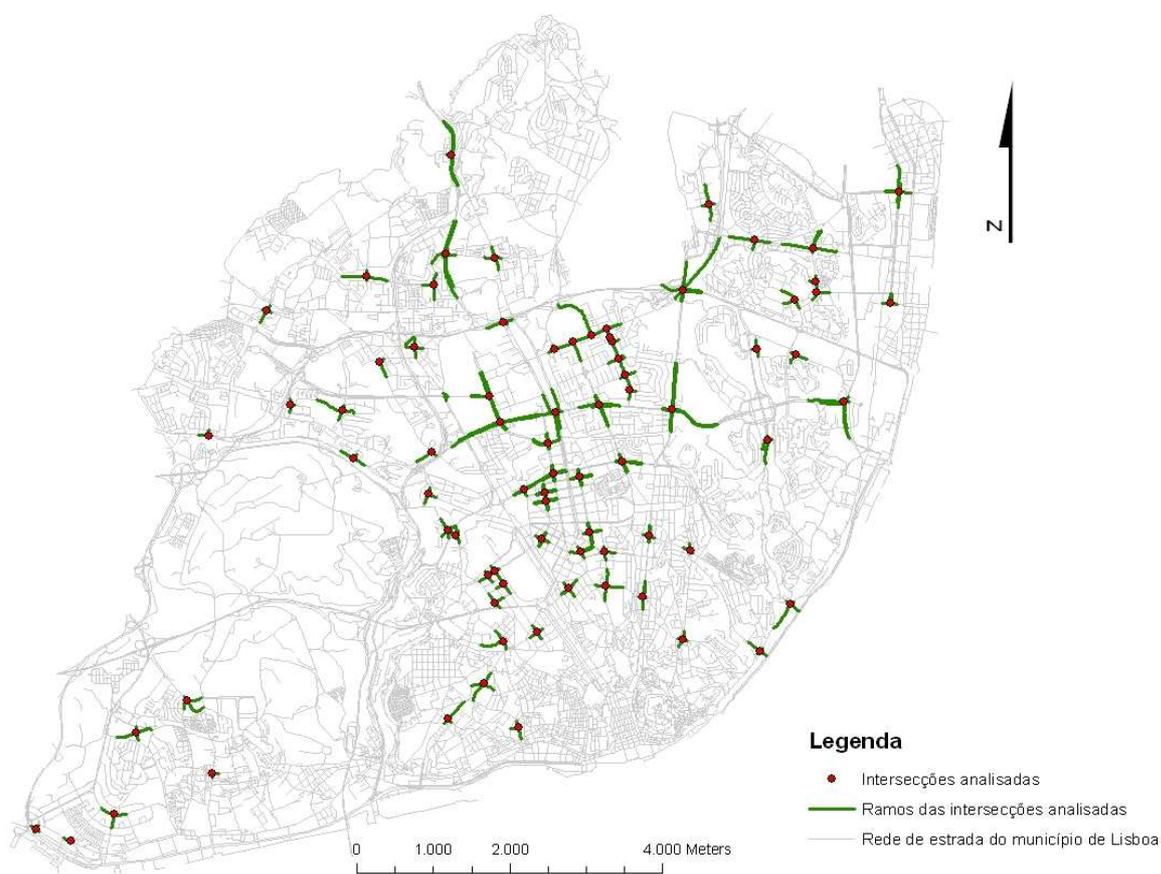
### 3.4.2 Modelo global de estimativa de frequência de NAT

Os locais escolhidos para o desenvolvimento de MEFA com vítimas (NAT) em segmentos na cidade de Lisboa foram obtidos a partir dos dados de tráfego de veículos motorizados recolhidos para o caso das intersecções. Assume-se que o tráfego de veículos motorizados no segmento é igual ao tráfego de entrada e saída do ramo correspondente.

Foram assim considerados para a tarefa de modelação todos os trechos de estrada

correspondentes aos ramos das intersecções alvo da recolha de dados (ver Figura 23).

Como é óbvio, não foi possível utilizar todos os segmentos assim definidos, dada a proximidade entre as intersecções analisadas e as adjacentes. Após o cálculo do comprimento efectivo de cada trecho, excluindo a zona de influência das intersecções limítrofes (ver Figura 22), foram excluídos os segmentos com comprimento inferior a 50 metros. Os remanescentes 121 segmentos da amostra de dados usada no ajuste dos modelos são apresentados na Figura 24. A lista de segmentos considerados é apresentada no Anexo I.



**Figura 23 - Localização das intersecções analisadas e dos respectivos ramos de entrada e saída**

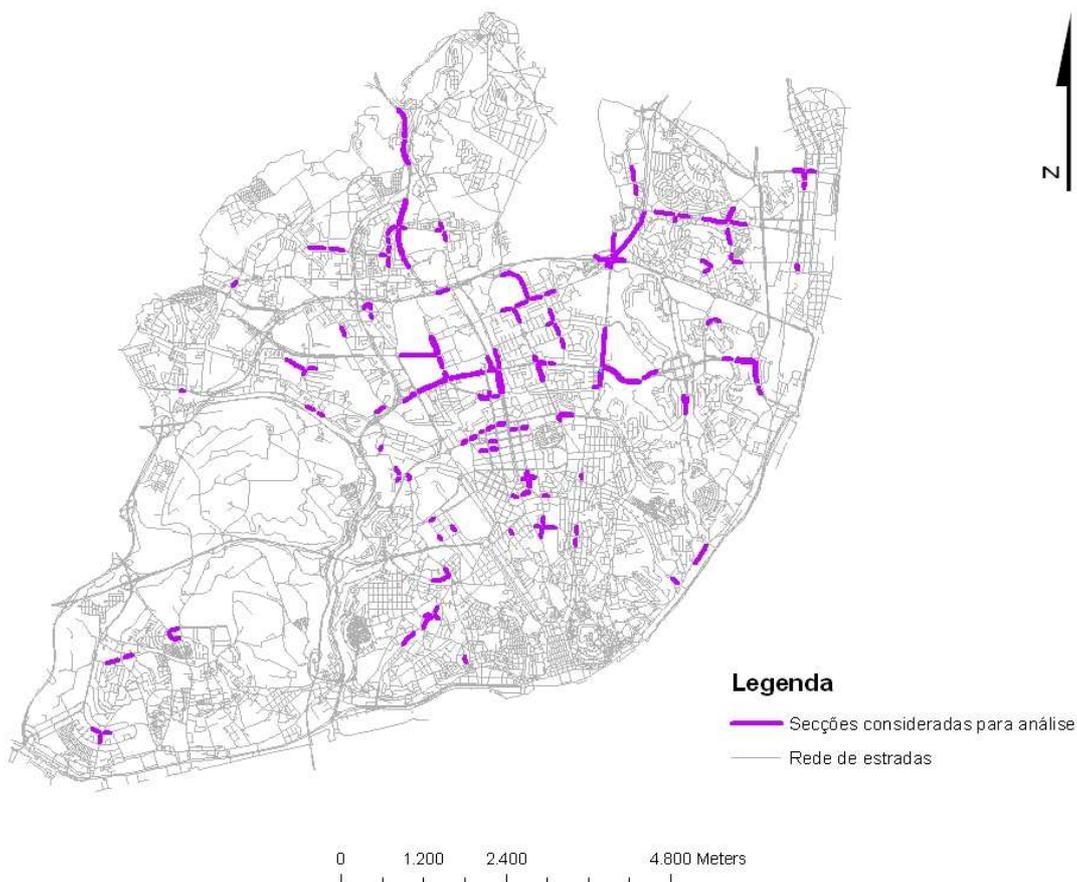


Figura 24 - Segmentos com comprimento superior a 50m considerados para a modelação de acidentes

No Quadro 29 é apresentado um conjunto seleccionado de estatísticas dos NAT ocorridos em segmentos entre 2004 e 2007.

Quadro 29 - Estatísticas seleccionadas dos NAT ocorridos em segmentos

Ano	NAT
	(mín – máx – total)
2004	0 – 8 – 58
2005	0 – 5 – 64
2006	0 – 8 – 66
2007	0 – 12 – 84

Quadro 30Quadro 30 é apresentado um conjunto seleccionado de estatísticas das potenciais variáveis explicativas utilizadas no desenvolvimento de MEFNAT em

segmentos.

**Quadro 30 - Estatísticas seleccionadas das potenciais variáveis explicativas utilizadas no desenvolvimento de MEFNAT em segmentos**

Variável	Descrição	Min.	Max.	Média (Desv. Pad.)	Número
FT	TMDA nos dois sentidos	544	78504	19481,05 (14844,17)	121
L	Comprimento total do segmento	52,68	804,04	155,98 (132,54)	121
NLANES4	Número total de vias igual ou superior a 4	1-Sim	-	-	76 (62,8%)
		0-Não	-	-	45 (37,2%)
LANEW	Largura média da via	2,65	7,2	3,58 (1,00)	121
MEDW	Largura média do separador central	0	122	3,32 (11,69)	121
WAYS	Número de sentidos de circulação	1	2	1,95 (0,22)	121

A equação do modelo global de estimativa de frequência de acidentes com vítimas em segmentos que apresentou melhor ajuste foi o apresentado abaixo:

$$\mu_{it} = \beta_0 \times (FT_{it})^{\beta_1} \times L_i^{\beta_2} \times e^{NLANES4_i \times \beta_3} \quad (\text{Eq. 25})$$

Onde:

$\mu_{it}$  = Número estimado de acidentes no segmento  $i$  e ano  $t$ ;

$L_i$  = Comprimento total do segmento  $i$ ;

$FT_{it}$  = Tráfego, em veículos por dia (TMDA) nos dois sentidos de circulação do segmento  $i$ ;

$NLANES4_i$  = Número total de vias igual ou superior a 4 para o segmento  $i$ ;

$\beta_0, \beta_1, \beta_2$  e  $\beta_3$  = Coeficientes estimados.

No Quadro 31 são apresentadas estatísticas seleccionadas dos resultados do ajuste do modelo.

Quadro 31 – Estatísticas seleccionadas do MEFNAT global em segmentos

	Estimativas			
	Coeficiente	Desvio Padrão	z-value	Pr(> z )
$\ln(\beta_0)$	-12.4778	1.4584	-8.556	< 2e-16
$F_T(\beta_1)$	0.4937	0.1674	2.949	0.00319
$L(\beta_2)$	1.2398	0.1422	8.721	< 2e-16
NLANES4 ( $\beta_3$ )	0.3788	0.2585	1.465	0.14282
$\alpha$		0.187		
AIC		331.63		
$G^2$		153.231		
MAD		0.942		
Índice de Elvik		0.912		
$R^2$ ajustado		0.655		

Apenas as variáveis FT e L e NLANES4 se revelaram significativas para este modelo, com efeitos semelhantes (coeficientes positivos) correspondendo a acréscimos na frequência esperada de NAT. A variável NLANES4, definida de forma categórica como o número total de vias igual ou superior a 4, revela que a adopção de segmentos com quatro ou mais vias está associada a uma diminuição da segurança rodoviária.

O modelo apresentou um valor de MAD de 0.942; o índice de Elvik foi de 0.912, significando que o modelo explica cerca de 91% da variação sistemática dos acidentes; a percentagem obtida pelo valor do  $R^2$  ajustado foi um pouco inferior ao valor anterior (65.5%), mas ainda assim elevada, o que traduz uma boa qualidade de ajuste deste modelo.

### 3.4.3 Modelo simplificado de estimativa de frequência de NAT

A equação do MEFNAT simplificado em segmentos que apresentou melhor ajuste foi a seguinte:

$$\mu_{it} = \beta_0 \times FT_i^{\beta_1} \times L_i^{\beta_2} \quad (\text{Eq. 26})$$

Onde:

$\mu_{it}$  = Número estimado de NAT no segmento  $i$  e ano  $t$ ;

$L_i$  = Comprimento total do segmento  $i$ ;

$FT_i$  = Tráfego, em veículos por dia (TMDA) nos dois sentidos de circulação do segmento  $i$ ;

$\beta_0$ ,  $\beta_1$  e  $\beta_2$  = Coeficientes estimados.

No Quadro 32 são apresentadas estatísticas seleccionadas dos resultados do ajuste do modelo.

Quadro 32 – Estatísticas seleccionadas do MEFNAT simplificado em segmentos

	Estimativas			
	Coeficiente	Desvio Padrão	z-value	Pr(> z )
Ln( $\beta_0$ )	-13.2610	1.3906	-9.536	< 2e-16
$F_T(\beta_1)$	0.6230	0.1451	4.295	1.75e-05
L( $\beta_2$ )	1.1979	0.1391	8.611	< 2e-16
$\alpha$		0,207		
AIC		331.88		
$G^2$		155.978		
MAD		0.970		
Índice de Elvik		0.903		
$R^2$ ajustado		0.627		

O coeficiente da variável  $F_T$ , sendo positivo, corresponde a um acréscimo de acidentes com vítimas com o aumento do valor desta variável.

Este modelo apresenta um valor de MAD de 0.970, o que ainda se considera aceitável dada a relativa proximidade de zero; o índice de Elvik obtido foi de 0.903, que corresponde a dizer que o modelo explica cerca de 90% da variação sistemática observada no número de acidentes; o valor do  $R^2$  ajustado foi um pouco inferior ao

anterior (0.627).

### **3.5 Notas finais**

Nos MEFA desenvolvidos neste estudo foram utilizadas as técnicas de modelação linear generalizada, considerando para a componente de erro a distribuição Binomial Negativa.

Foram desenvolvidos modelos segundo diversas desagregações:

- Segundo o elemento rodoviário: em intersecções e em segmentos. No primeiro caso foi ainda considerada a diferenciação por tipo de intersecção: intersecção de três ramos, intersecção de quatro ramos e rotundas;
- Segundo o tipo de acidente: atropelamentos (MEFAT) e outros acidentes com vítimas (MEFNAT);
- Segundo a natureza e número de variáveis explicativas: apenas com as variáveis de exposição (simplificado) e com todas as potenciais variáveis explicativas relacionadas com o ambiente rodoviário (global).

Dada a pequena dimensão das amostras consideradas, foi ainda testada a modelação conjunta das intersecções de três e quatro ramos.

Os dados sobre acidentes usados neste estudo referem-se ao período quadrienal de 2004 a 2007. As equações apresentadas expressam a estimativa da frequência anual de acidentes, uma vez que foi utilizada uma forma específica de conversão.

#### **3.5.1 Modelos de estimativa de frequência de atropelamentos**

No Quadro 33 é apresentado o resumo dos MEFAT, globais e simplificados.

Não foi possível ajustar MEFAT aplicáveis a segmentos, devido à pequena dimensão da amostra de locais para os quais foi possível recolher dados sobre tráfego pedonal de atravessamento.

Quadro 33 - Resumo dos modelos de estimativa da frequência de atropelamentos

Aplicação	Versão*	Equação	Qualidade do ajuste	$\alpha^c$
Intersecções de três ramos	S	$Y_i = 4.6776 \times 10^{-8} \times FT^{1.0785} \times PT^{0.5942}$	0.484 <sup>a</sup>	0.00027
	G	<i>Não ajustado</i>	-	-
Intersecções de quatro ramos	S	$Y_i = 6,3831 \times 10^{-10} \times FVP^{1.9624}$	0.559 <sup>b</sup>	0.43300
	G	<i>Não ajustado</i>	-	-
Intersecções de três e quatro ramos	S	$Y_i = 2,7856 \times 10^{-8} \times FT^{1.1475} \times PT^{0.5746}$	0.859 <sup>b</sup>	0.18200
	G	<i>Não ajustado</i>	-	-
Rotundas	S	$Y_i = 8,0494 \times 10^{-7} \times FVP^{1.2289}$	0.397 <sup>a</sup>	0.000053
	G	<i>Não ajustado</i>	-	-

(\*) – S: Simplificada; G: Global

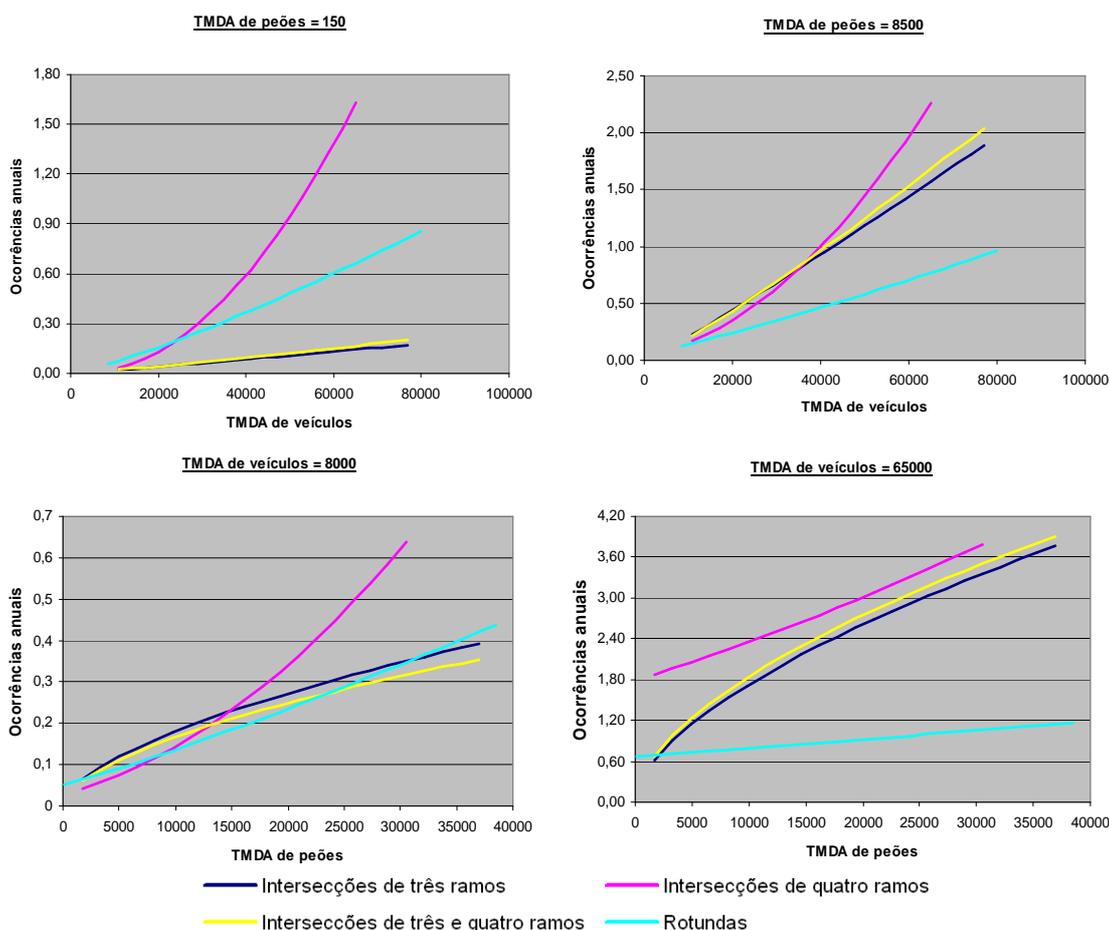
a – R<sup>2</sup> ajustado; b – Índice de Elvik; c – Parâmetro de dispersão

Os MEFAT desenvolvidos para os vários elementos rodoviários apresentaram, em média, uma qualidade de ajuste relativamente baixa. Isto é parcialmente explicado pelo pequeno número de observações que puderam ser usadas. O facto de os acidentes rodoviários terem múltiplas causas também contribui, atendendo a que as variáveis explicativas estão relacionadas unicamente com a infra-estrutura. Embora o modelo aplicável a intersecções de três e quatro ramos tenha apresentado uma qualidade de ajuste superior aos restantes, foi constatado que as equações são semelhantes às inicialmente ajustadas para intersecções de três ramos, demonstrando algum enviesamento, pelo que é necessário alguma precaução na utilização destes modelos.

Na escolha da forma final dos modelos, foram testadas várias equações, conjugando as variáveis de tráfego (motorizado e pedonal) de diversas formas (através de somas, multiplicações, quocientes, etc.). De uma forma geral, nos MEFAT simplificados as variáveis de exposição foram definidas isoladamente, sendo definido um coeficiente explicativo específico para cada uma ( $FT^{\beta_1} + PT^{\beta_2}$ ). Nalguns casos esta forma não se revelou satisfatória, pelo que foi utilizada uma conjugação alternativa: no caso das rotundas e intersecções de quatro ramos foi usada a variável FVP, correspondente ao somatório entre o volume de tráfego motorizado e o pedonal. Nestes dois casos os coeficientes obtidos são substancialmente diferentes dos ajustados nos restantes

modelos. Os coeficientes obtidos nos modelos aplicáveis a intersecções de três ramos e ao agrupamento das intersecções de três e quatro ramos são bastante semelhantes (ver Quadro 33). Os coeficientes associados à variável TMDA de veículos motorizados foram sempre superiores à unidade, sendo, no caso do TMDA de peões, sempre inferiores. Nos casos em que foi utilizada a variável FVP, correspondente ao somatório dos dois TMDA anteriormente referidos, o coeficiente obtido também foi superior à unidade. Tal gama de valores está de acordo com os relatos de menor risco de atropelamento em zonas de elevado tráfego pedonal e do impacto positivo de volumes de tráfego de peões nos respectivos níveis de segurança rodoviária.

Na Figura 25 é apresentada a comparação entre os vários MEFAT simplificados aplicáveis a intersecções, relacionando os acidentes esperados com a variação no TMDA de veículos motorizados e de peões.



**Figura 25 – Comparação entre os vários MEFAT simplificados aplicáveis a intersecções, para dois níveis de TMDA de veículos motorizados e de peões**

Constata-se na generalidade dos casos que as intersecções de quatro ramos apresentam os valores esperados de acidentes mais elevados, ainda que no caso do TMDA de veículos ser baixo, os valores estimados sejam ligeiramente inferiores aos dos outros tipos de intersecções. Este facto parece revelar a presença de um pequeno desajuste do modelo face aos valores mais baixos de TMDA de peões.

Relativamente às rotundas, constatou-se que, no caso de baixos valores de TMDA de peões, são estimadas frequências de acidentes mais elevadas do que nas intersecções de três ramos, o que não acontece para valores superiores de TMDA de peões. Para valores elevados de TMDA de veículos, é o tipo de intersecção para o qual são esperadas frequências mais baixas de acidentes. No caso de valores baixos de TMDA de veículos, apresentam valores semelhantes aos estimados para as intersecções de três ramos.

No que diz respeito às intersecções de três ramos, verificou-se que as frequências estimadas foram sempre inferiores às que se obtiveram nas intersecções de quatro ramos.

Constata-se que os valores esperados de acidentes para as intersecções de três e quatro ramos agrupadas se encontram muito mais próximos dos valores esperados para as intersecções de três ramos isoladas, pelo que se denota uma maior influência deste tipo de intersecção.

No que diz respeito aos MEFAT globais, nem sempre foi possível incluir variáveis relacionadas com o ambiente rodoviário, uma vez que estas não se revelaram significativas. Foi o caso dos modelos aplicáveis a intersecções de três ramos, ao agrupamento das intersecções de três e quatro ramos, e a rotundas.

Nos MEFAT globais aplicáveis a intersecções de quatro ramos foi possível ajustar um modelo que relaciona a ocorrência de acidentes com características da infra-estrutura. No entanto, os valores dos coeficientes dessas variáveis eram contra-intuitivos, correspondendo a aumentos de sinistralidade com a diminuição dos comprimentos de atravessamento na direcção secundária e com o aumento do número de passagens de peões nos ramos principais, o que inviabilizou a apresentação desse modelo, pois não foi encontrada nenhuma justificação para estes sinais. A exclusão destas variáveis

da forma funcional também não resultou, pois conduziu à obtenção de um modelo só com as variáveis de tráfego. Esta incoerência evidencia uma instabilidade neste modelo, pelo que é desaconselhada a sua utilização.

### 3.5.2 Modelos de estimativa de frequência de acidentes com vítimas excluindo atropelamentos

No Quadro 34 é apresentado o resumo dos MEFNAT.

Quadro 34 – Resumo dos MEFNAT

Aplicação	Versão (*)	Equação	Qualidade do ajuste	$\alpha^c$
Intersecções de três ramos	S	$Y_i = 4.7078 \times 10^{-6} \times FT^{1.1884}$	0.549 <sup>b</sup>	0.779
	G	$Y_i = 6,1021 \times 10^{-5} \times FT^{0.6346} \times e^{1.3004 \times LB + 0.7437 \times LWMAJ + 0.4882 \times RTPMAJ + 0.8482 \times TCD}$	0.790 <sup>b</sup>	0.364
Intersecções de quatro ramos	S	$Y_i = 3.8765 \times 10^{-5} \times FT^{1.167}$	0.641 <sup>b</sup>	0.390
	G	$Y_i = 4,6355 \times 10^{-4} \times FT^{0.5106} \times e^{0.7820 \times LB + 1.0614 \times LMAJT 7 + 0.4847 \times LWMIN + 0.4616 \times RTPMIN - 0.6775 \times LOW}$	0.704 <sup>b</sup>	0.307
Intersecções de três e quatro ramos	S	$Y_i = 2,5333 \times 10^{-5} \times FT^{1.0592}$	0.508 <sup>b</sup>	0.695
	G	$Y_i = 5,2579 \times 10^{-5} \times FT^{0.8258} \times e^{0.4928 \times LMAJT 7 + 0.2702 \times LWMAJ - 0.4365 \times MMAJ + 0.4922 \times RTPMAJ + 0.6815 \times LEG}$	0.640 <sup>b</sup>	0.509
Rotundas	S	$Y_i = 1,9488 \times 10^{-7} \times FT^{1.4985}$	0.636 <sup>b</sup>	0.424
	G	$Y_i = 2,3845 \times 10^{-8} \times FT^{1.5084} \times e^{0.5248 \times LEG}$	0.870 <sup>a</sup>	0.00003
Segmentos	S	$Y_i = 1,7411 \times 10^{-6} \times FT^{0.6230} \times L^{1.1979}$	0.903 <sup>b</sup>	0.207
	G	$Y_i = 3,8103 \times 10^{-6} \times FT^{0.4937} \times L^{1.2398} \times e^{0.4934 \times NLANES 4}$	0.912 <sup>b</sup>	0.187

(\*) – S: Simplificada; G: Global

a - R<sup>2</sup> ajustado

b – Índice de Elvik

c – Parâmetro de dispersão

No que diz respeito aos MEFNAT simplificados, a variável FT, relativa ao TMDA de veículos motorizados, foi aquela que produziu o melhor ajuste em todos os casos. Nos modelos simplificados aplicáveis a intersecções, os coeficientes obtidos apresentaram sensivelmente o mesmo valor, todos com sinal positivo, o que corresponde a um incremento no número de acidentes com o aumento do TMDA.

Como se referiu anteriormente, nos MEFNAT foram utilizados dados de tráfego

motorizado provenientes de modelos de afectação, que complementaram os dados obtidos por contagem, e permitiram assim aumentar a dimensão das amostras a modelar. Uma das vantagens imediatas deste facto foi a definição de modelos simplificados e globais para todos os casos previstos (ao contrário do que aconteceu com os MEFAT); outra vantagem refere-se ao incremento da qualidade de ajuste dos modelos desenvolvidos, que, por exemplo, é de 90% de capacidade explicativa da componente sistemática dos acidentes no caso dos modelos aplicáveis a segmentos.

A inclusão de outras variáveis explicativas para além do TMDA permitiu obter modelos com qualidades de ajuste superiores às que foram conseguidas com os modelos simplificados (ver Quadro 34).

As variáveis explicativas relacionadas com o ambiente rodoviário identificadas como estatisticamente significativas nos MEFNAT globais são apresentadas no Quadro 35, juntamente com o sentido da relação: directa (+), correspondendo ao aumento de NAT com o aumento do valor da variável; e inversa (-), com a diminuição de NAT com o aumento do valor da variável.

**Quadro 35 – Variáveis explicativas relacionadas com o ambiente rodoviário estatisticamente significantes e respectivo sinal identificadas nos vários modelos de estimativa da frequência de NAT**

Variável	Intersecções				Segmentos
	3 Ramos	4 Ramos	3 e 4 Ramos	Rotundas	
LB	+	+			
LWMAJ	+		+		
LWMIN			+		
RTPMAJ	+		+		
RTPMIN		+			
TCD	+				
LMAJT7		+	+		
NLANES4					+
LOW		-			
MMAJ			-		
LEG			+	+	

Em que (ver definições detalhadas no capítulo 5):

LB – Equilíbrio de vias (+);

LWMAJ – Largura média das vias de entrada na direcção principal (m) (+);

LWMIN – Largura média das vias de entrada na direcção secundária (m) (+);  
RTPMAJ – Presença de vias exclusivas para viragem à direita na direcção principal (+);  
RTPMIN – Presença de vias exclusivas para viragem à direita na direcção secundária (+);  
TCD – Sistema de controlo de tráfego (+);  
LMAJT7 – Três ou mais vias de entrada na direcção principal (+);  
NLANES4 – Quatro ou mais vias em ambos os sentidos (+);  
LOW – Número de ramos com sentido único (-);  
MMAJ – Presença de separador central nos dois ramos da direcção principal (-);  
LEG – Número de ramos da intersecção (+);

Os coeficientes associados ao TMDA de veículos motorizados foram superiores à unidade nos modelos simplificados aplicáveis a intersecções de três e quatro ramos, quer isoladas, quer agrupadas; e também nos modelos aplicáveis a rotundas. Nos restantes casos, estes coeficientes foram inferiores a um. A variável relativa ao número de vias de entrada na direcção principal ser igual ou superior a três, presente nos modelos globais em intersecções de quatro ramos e em intersecções de três e quatro ramos agrupadas, apresentou um coeficiente superior à unidade no primeiro caso e inferior no segundo caso. Relativamente à presença de vias exclusivas para viragem à direita na direcção principal, presente nos modelos globais aplicáveis a intersecções de três ramos e a intersecções de três e quatro ramos agrupadas, foi estimado um coeficiente muito semelhante nos dois casos (cerca de 0.5). Na análise da variável L, relativa ao comprimento da secção, constatou-se que a sua relação com as estimativas de acidentes não é efectivamente linear, ao contrário do que foi defendido por alguns autores (ver subcapítulo 3.3).

Na Figura 26 é apresentada uma comparação entre os vários MEFNAT simplificados aplicáveis a intersecções, na qual é relacionada a frequência esperada de acidentes com a variação do TMDA de veículos motorizados. Constatam-se valores esperados de acidentes superiores nas intersecções de quatro ramos, comparativamente aos restantes locais, o que pode ser parcialmente explicado pelo maior número de acidentes observados e também maiores volumes de tráfego.

No Figura 26 são apresentadas comparações entre modelos desenvolvidos no

estrangeiro e em Lisboa.

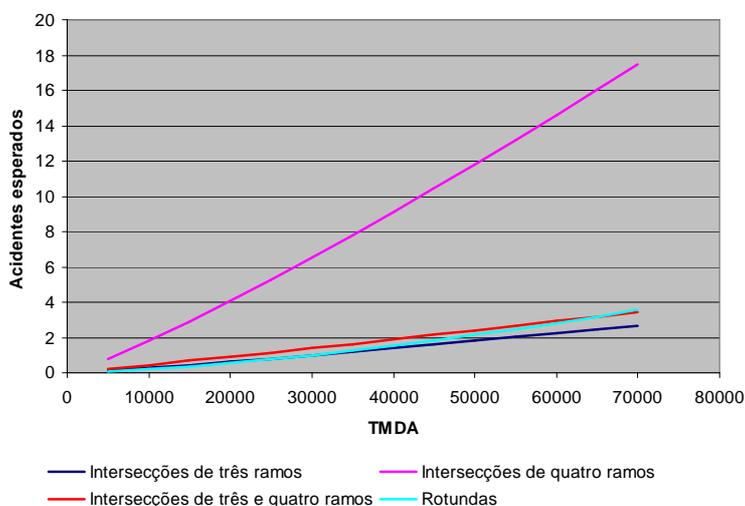


Figura 26 - Comparação entre os vários MEFNAT simplificados aplicáveis a interseções, para TMDA de veículos motorizados crescentes

Quadro 36 – Comparações entre modelos desenvolvidos no estrangeiro e em Portugal

Aplicação	Modelos desenvolvidos no estrangeiro		Modelos desenvolvidos para Lisboa
	Autor	Equação	
MEFAT em interseções	Brüde e Larson	$A_p = 7.34 \times 10^{-6} \times FT^{0.50} \times PT^{0.72}$ (qualquer tipo)	$Y_i = 4.6776 \times 10^{-8} \times FT^{1.0785} \times PT^{0.5942}$ (intersecções de 3 ramos) $Y_i = 6,3831 \times 10^{-10} \times FVP^{1.9624}$ (intersecções de 4 ramos)
	Turner et al.	$A_p = 1.391 \times 10^{-12} \times FT_{Princ}^{2.0545} \times PT_{Princ}^{0.6670}$ (intersecções semaforizadas de três ramos)	$Y_i = 4.6776 \times 10^{-8} \times FT^{1.0785} \times PT^{0.5942}$
	Turner et al.	$A_p = 1.326^{-3} \times FT^{-0.0853} \times PT^{0.6237}$ (rotundas)	
	Gårder	$A_p = 0.028 \times (FT \times PT)^{0.53}$ (rotundas)	$Y_i = 8.0494 \times 10^{-7} \times (FT + PT)^{1.2289}$
MEFNAT em interseções	Mountain et al.	$A_{Ti} = 0.141 \times FT_{Princ}^{0.64} \times FT_{Sec}^{0.24}$ (intersecções reguladas pela regra da prioridade)	$Y_i = 2.5333 \times 10^{-5} \times FT^{1.0592}$
		$A_{Ti} = 0.180 \times FT_{Princ}^{0.64} \times FT_{Sec}^{0.24}$ (intersecções semaforizadas)	
		$A_{Ti} = 0.168 \times FT_{Princ}^{0.64} \times FT_{Sec}^{0.24}$ (rotundas)	$Y_i = 1.9488 \times 10^{-7} \times FT^{1.4985}$
MEFNAT em segmentos	Mountain et al.	$A_p = 0.083 \times L \times FT^{0.74} \times e^{1.63 \times D_p^{0.15}}$ (segmentos com uma faixa de rodagem)	$Y_i = 1.7411 \times 10^{-6} \times FT^{0.6230} \times L^{1.1979}$ $Y_i = 3.8103 \times 10^{-6} \times FT^{0.4937} \times L^{1.2398} \times e^{0.4934 \times NLANES^4}$

Em que:

FT – TMDA de veículos motorizados;

PT – TMDA de peões;

FT<sub>Princ</sub> – TMDA de veículos motorizados na direcção principal;

FT<sub>Sec</sub> – TMDA de veículos motorizados na direcção secundária;

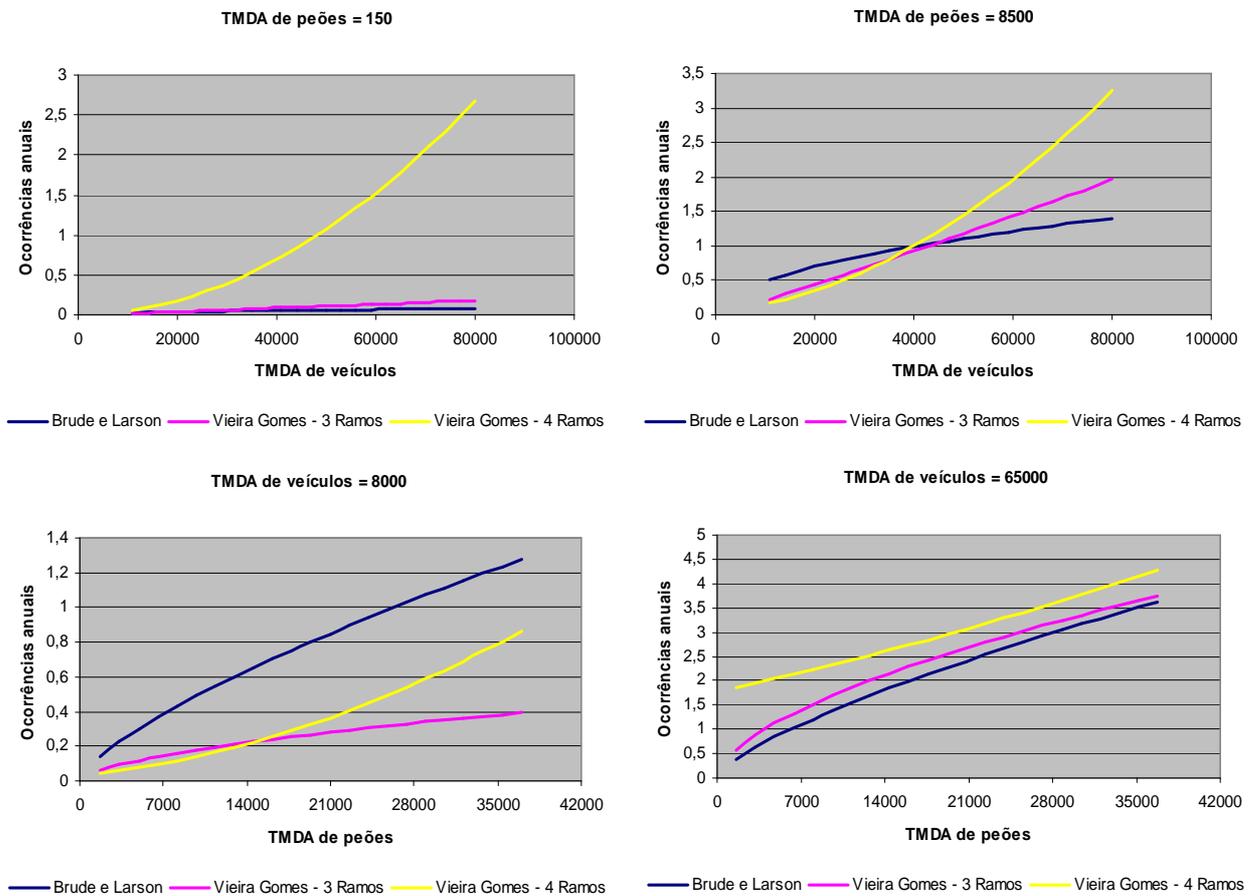
L – comprimento da secção;

D<sub>P</sub> – Tráfego pedonal (milhões de peões que atravessam o segmento/quilómetro/12horas).

NLANES4 – Número total de vias igual ou superior a 4.

A elevada especificidade de alguns modelos desenvolvidos no estrangeiro inviabilizou a sua comparação com os modelos portugueses, uma vez que o âmbito de aplicação não é o mesmo. De referir que nos modelos aplicáveis a rotundas desenvolvidos neste estudo foi testada a forma multiplicativa (FT x PT), como a que foi apresentada por Gårder, 2004. No entanto, a qualidade do ajuste do modelo foi pior do que a que foi obtida considerando o somatório das duas variáveis, pelo que não foi apresentada.

Para os modelos em que a comparação foi possível, constata-se que os coeficientes (das mesmas variáveis) são significativamente diferentes. No caso dos modelos desenvolvidos por Brüde e Larson, 1993), por exemplo, o coeficiente associado à variável FT é inferior à unidade, enquanto que os que foram desenvolvidos neste estudo são superiores. Também no caso do modelo desenvolvido por Turner e Francis, 2006), aplicável a intersecções semaforizadas de três ramos, o coeficiente da variável FT é distinto, sendo nos modelos portugueses sensivelmente metade do que foi obtido pelos referidos autores. Na Figura 27 é apresentada uma comparação entre os valores esperados de atropelamentos, calculados através da aplicação do modelo desenvolvido por Brude e Larson (para todos os tipos de intersecções) e dos modelos desenvolvidos para Lisboa por Vieira Gomes (para intersecções de três e quatro ramos não agregadas), para dois níveis de TMDA de veículos motorizados e de peões (Vieira Gomes, 2010).



**Figura 27 – Comparação entre os valores esperados de atropelamentos por aplicação do modelo de Brude e Larson e dos modelos de Vieira Gomes**

A desadequação do modelo desenvolvido por Brude e Larson é mais acentuada em presença de baixos TMDA de peões em intersecções de quatro ramos. Este modelo subestima os atropelamentos quando o TMDA de veículos é elevado e sobrestima quando este valor é baixo. As diferenças apresentadas confirmam a inadequação dos modelos estrangeiros face ao contexto urbano português, como concluído também por Vieira Gomes e Cardoso, 2008) num estudo em que foi testada a aplicabilidade de diversos MEFA ao contexto rodoviário urbano de Lisboa.



## 4 | APLICAÇÕES DO TRABALHO DESENVOLVIDO

---

Nos países onde têm sido obtidos bons resultados com a intervenção correctiva da infra-estrutura, os respectivos programas de actuação incluem métodos para abordagem técnica e cientificamente rigorosa das diversas etapas de intervenção (Cardoso, 2007):

1. Diagnóstico da sinistralidade na área em consideração, com vista a identificar as zonas com maior influência da estrada na ocorrência de acidentes ou factores de sinistralidade predominantes relacionados com a envolvente rodoviária (e urbana).
2. Análise da sinistralidade em cada um dos locais escolhidos na etapa anterior e selecção daqueles a serem objecto de efectiva intervenção.
3. Selecção das medidas correctivas mais apropriadas.
4. Execução das medidas correctivas.
5. Supervisão da evolução da sinistralidade nos locais intervencionados e avaliação dos resultados obtidos.

O projecto IRUMS - Infra-estruturas Rodoviárias Urbanas Mais Seguras foi precisamente desenvolvido para permitir que uma abordagem deste tipo possa ser aplicada na intervenção de segurança na infra-estrutura rodoviária da cidade de Lisboa. O âmbito do presente estudo refere-se aos procedimentos relativos às etapas 1 e 5 (e eventualmente a 3), sendo as etapas 2 e 3 abordadas em relatório específico, previsto no mesmo projecto.

A primeira etapa consiste basicamente na detecção de zonas de acumulação de acidente, que são zonas em que, por influência de características da infra-estrutura rodoviária específicas à área, a frequência esperada de acidentes é superior ao previsível face a áreas aparentemente semelhantes (Directive 2008/96/EC, Cardoso, 1998a). A sua detecção compreende diversas tarefas, de entre as quais se salienta a identificação dos locais onde a influência do ambiente rodoviário sobre a sinistralidade é potencialmente mais relevante. Para a concretização desta tarefa é particularmente importante a escolha de entidades semelhantes (intersecções, secção corrente, etc), já que desta depende a qualidade dos resultados obtidos. Assim, independentemente

da classe da entidade em estudo é importante garantir que exista uma homogeneidade de características dentro da classe e uma heterogeneidade relativamente a entidades fora da desta. Para tal, é habitualmente utilizado um filtro suficientemente restritivo de forma a rejeitar o maior número de falsos trechos de acumulação de acidentes e suficientemente permissivo de forma a rejeitar o menor número possível de trechos de acumulação de acidentes verdadeiros (Cardoso, 1988b). Os MEFA desenvolvidos neste estudo são aplicáveis nesta fase do procedimento de detecção de zonas de acumulação de acidentes. Caso a frequência esperada de acidentes seja muito superior ao previsível face aos valores obtidos por aplicação dos MEFA (estimativa para entidades semelhantes), pode ser identificada uma zona de acumulação de acidentes, associados a características particulares da infra-estrutura rodoviária nessa área.

A estimativa do número esperado de acidentes raramente pode ser feita com recurso unicamente ao número observado de ocorrências. Uma das formas de mitigar o problema associado ao regresso à média consiste no uso de estimadores estatisticamente mais robustos, que permitem combinar a informação sobre a sinistralidade num local com os conhecimentos pré-existentes sobre a sinistralidade em locais "semelhantes", como, por exemplo, os obtidos através da aplicação do Método Empírico de Bayes (MEB).

Os MEFA desenvolvidos neste estudo também são susceptíveis de aplicação na etapa 5 do programa de actuação em intervenção correctiva da infra-estrutura.

Um método largamente recomendado por diversos autores para avaliar os efeitos que a aplicação de determinado melhoramento na infra-estrutura tem na segurança consiste numa comparação entre a frequência esperada de acidentes antes e depois das alterações, mediante a realização de estudos antes-depois (Hauer, 1997; Persaud e Lyon, 2007; Lan et al., 2009). A estimativa do número esperado de acidentes raramente pode ser feita com recurso unicamente ao número observado de ocorrências. Bastam pequenas variações, devidas, por exemplo, à aleatoriedade da ocorrência de acidentes com que se trabalha para que o grau de incerteza das conclusões que se tiram do estudo suba consideravelmente. Uma das formas de mitigar este problema consiste no uso de estimadores estatisticamente mais robustos, que permitem combinar a informação sobre a sinistralidade num local com os

conhecimentos pré-existent sobre a sinistralidade em locais "semelhantes". É precisamente neste aspecto que os modelos desenvolvidos neste estudo revelam grande utilidade, já que foram desenvolvidos para contextos rodoviários urbanos portugueses, aplicáveis a diversos tipos de elementos e constituindo uma representação confiável do nível de segurança habitual nesses elementos rodoviários.

As actividades da terceira etapa do programa de actuação para a intervenção correctiva em infra-estruturas também beneficiam, ainda que indirectamente, da utilização dos MEFA. Com efeito, o rigor das estimativas previsionais dos efeitos das intervenções é maior se a quantificação do nível de segurança inicial tiver sido efectuada aplicando o MEB e se os valores base da eficácia de cada medida tiverem sido obtidos através de estudos antes-depois robustos (para o que contribui a aplicação nestes do MEB).

#### **4.1 Método Empírico de Bayes**

De acordo com Hauer (1997) a frequência esperada de acidentes pode ser calculada por recurso ao Método Empírico de Bayes (MEB), através da combinação das frequências observadas acidentes com estimativa da frequência de acidentes esperada em entidades similares (calculada por aplicação dos MEFA). Com esta combinação é possível melhorar o rigor das estimativas em presença de poucos dados de acidentes e eliminar o efeito de regresso à média.

Genericamente, no MEB, as estimativas da frequência esperada de acidentes são consideradas como distribuições *a priori*, que são corrigidas mediante a sua combinação com as frequências observadas através de um factor associado à variância *a priori*.

A aplicação do MEB é feita através da seguinte expressão:

$$\text{Estimativa da frequência esperada de acidentes para uma entidade} = \\ \text{factor} \times \text{acidentes esperados em entidades similares} + (1 - \text{factor}) \\ \times \text{acidentes observados nesta entidade}$$

O factor referido na expressão anterior está compreendido entre 0 e 1 e depende da intensidade da influência dos acidentes observados e da qualidade do ajuste das

estimativas obtidas pelo MEFA. A expressão de cálculo é a seguinte:

$$Factor = \frac{I}{I + \frac{\mu \times Y}{\varphi}} \quad (\text{Eq. 27})$$

Em que:

$\mu$  – Número acidentes esperados em entidades similares (por aplicação de um MEFA);

$Y$  – Número de anos;

$\varphi$  – Parâmetro de dispersão do MEFA.

A aplicação do MEB aos estudos antes depois revela-se, pelo exposto, bastante útil, como constatado por diversos autores (Persaud e Lyon, 2007; Hauer e Persaud, 1983; Abbess et al., 1981).

## 4.2 Aplicação do MEB

A melhoria do rigor das estimativas de acidentes através da aplicação do MEB pode ficar condicionada pela disponibilidade de dados de exposição, que permitam aplicar os MEFA desenvolvidos. São possíveis três cenários quanto a esta disponibilidade:

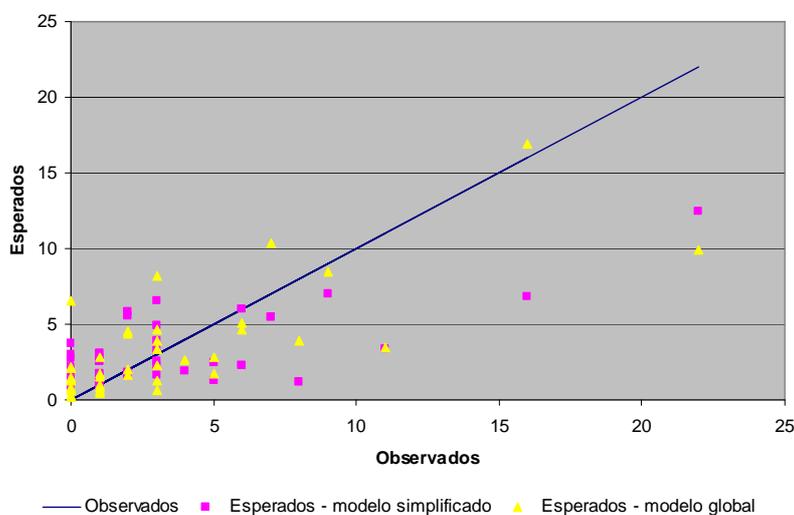
1. Existência de dados de exposição.
2. Ausência de dados de exposição, sendo viável a realização de contagens de tráfego.
3. Inexistência de dados de exposição, não sendo, também, viável a realização de contagens de tráfego

### 4.2.1 Existência de dados de exposição

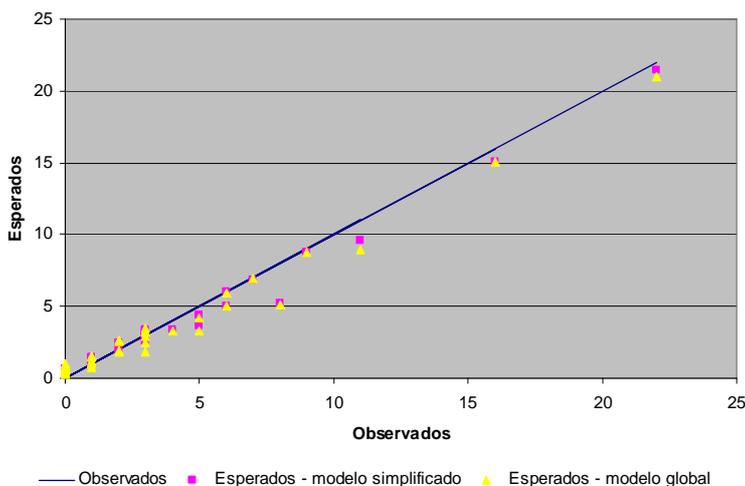
Em presença de dados de exposição, quer pedonal, quer de veículos motorizados, a aplicação do MEB é directa.

A título exemplificativo foi testada a aplicabilidade dos modelos desenvolvidos neste estudo através da aplicação do MEB aos modelos de estimativa de frequência de

acidentes com vítimas excluindo atropelamentos em intersecções de três ramos (simplificado e global). Na Figura 28 é apresentada a comparação entre o número de acidentes observados e os correspondentes valores estimados através dos modelos simplificado e global. A aplicação do MEB a estas estimativas permite uma melhoria significativa do ajuste, como se pode observar na Figura 29. Ainda assim, é preciso ter em conta que a grande proximidade dos valores estimados face aos observados pode dever-se ao facto de terem sido utilizadas nesta análise as intersecções usadas na modelação.



**Figura 28 – Acidentes observados em função dos acidentes esperados, utilizado o modelo simplificado e global de estimativa de frequências de NAT em intersecções de três ramos**



**Figura 29 – Acidentes observados em função dos acidentes esperados, após a aplicação do MEB na estimativa de frequências de NAT em intersecções de três ramos**

#### **4.2.2 Inexistência de dados de exposição em que a contagem é possível**

No caso de ser possível efectuar a contagem de tráfego nas intersecções ou segmentos a analisar, basta que se tenha em atenção à descrição das variáveis a usar em cada modelo, para que se possa imediatamente passar à aplicação do MEB, tal como no sub-capítulo anterior.

#### **4.2.3 Inexistência de dados de exposição em que a contagem não é possível**

Na eventualidade de não ser possível efectuar recolha de dados de exposição, pode ser aplicada uma abordagem simplificada, baseada na hierarquia da rede e na consideração de valores de referência para o volume de tráfego de veículos motorizados, atribuídos em função dos volumes de tráfego médios em cada nível hierárquico.

Como já referido no sub-capítulo 2.2, foi utilizado um modelo de afectação de tráfego rodoviário para obtenção dos valores de TMDA em diversos locais da cidade (ver Figura 7). Os valores estimados foram associados à rede rodoviária, que foi desagregada por nível hierárquico, permitindo o cálculo de valores médios de TMDA por classe de via.

Na Figura 30 é apresentada a desagregação da rede por nível hierárquico, de acordo com a definição adoptada no Plano de Mobilidade da Cidade de Lisboa (CML, 2005).

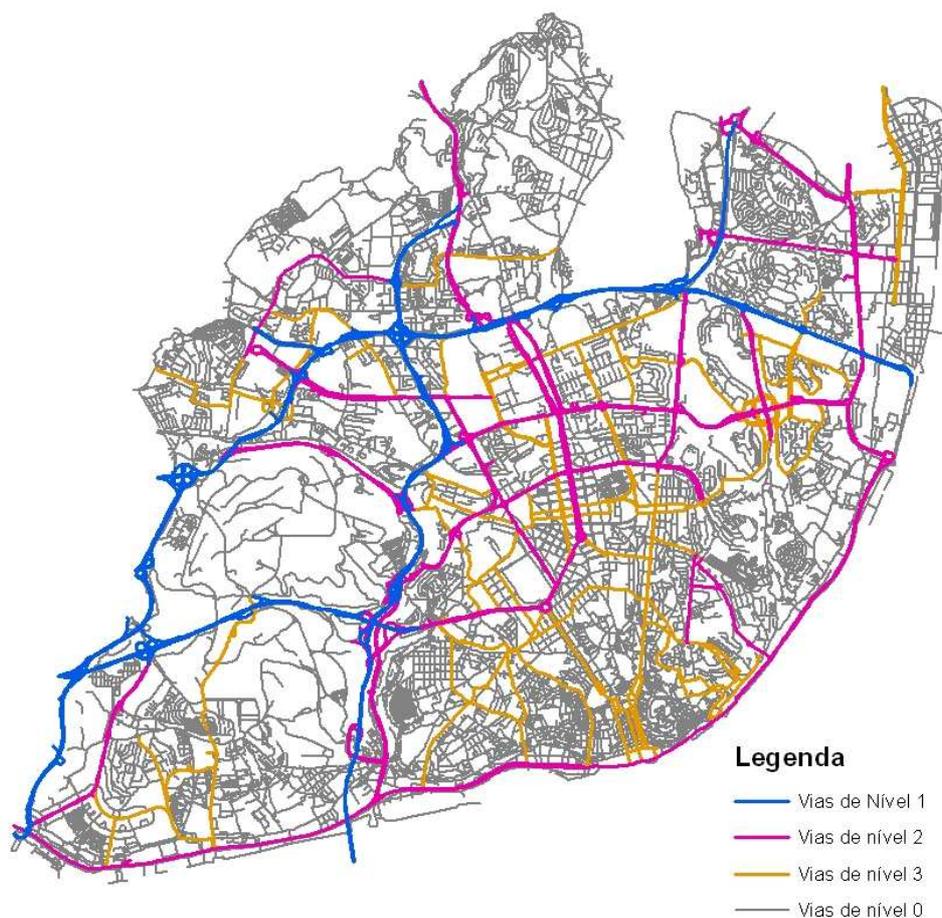


Figura 30 – Hierarquia da rede viária da cidade de Lisboa

No Quadro 37 apresentam-se os valores médios de TMDA calculados para cada nível hierárquico da rede rodoviária de Lisboa.

Quadro 37 - Valores médios de TMDA por nível hierárquico da rede

Nível hierárquico	Extensão total (km)	Extensão com valor associado de TMDA (km)	TMDA médio
Vias de nível 1	100.24	82,8	3876
Vias de nível 2	167.57	156,2	1893
Vias de nível 3	111.93	86,8	732
Vias de nível 0	1115.31	297,3	552

Com a atribuição dos TMDA de referência às rodovias em análise é possível aplicar os MEFA referidos neste relatório e, assim, aplicar o MEB como descrito no sub-capítulo 4.1.

## 5 | CONCLUSÕES E TRABALHO FUTURO

---

O trabalho descrito neste relatório constitui uma contribuição importante para a melhoria da segurança rodoviária em meio urbano, uma vez que no seu âmbito foram criadas condições e ferramentas que podem ser utilizadas directamente pelos responsáveis pela gestão da infra-estrutura rodoviária no sentido de fundamentar as intervenções de segurança nas características dos acidentes efectivamente ocorridos em cada local. Assim, presentemente, o Município de Lisboa dispõe de:

1. Uma base de dados com informação sobre acidentes em meio urbano e sobre factores relacionados com a infra-estrutura rodoviária influentes na sinistralidade, susceptível de ser usada para identificar os locais de maior risco de acidente e para diagnosticar as manobras associadas a esse risco acrescido, e apta a ser enriquecida com informação actualizada.
2. Informação sobre os acidentes sem danos corporais mais graves (registados pela PSP), o que permite mais facilmente a identificação de problemas específicos nas zonas em análise.
3. Um conjunto de equações matemáticas que, recorrendo a informação básica sobre o tráfego de veículos motorizados e de peões, permite quantificar de forma robusta o contributo para o nível de sinistralidade verificado devido aos factores locais, específicos a cada intersecção entre arruamentos ou a cada segmento de arruamento.
4. Um procedimento simplificado para estimar a frequência esperada de acidentes em intersecções e arruamentos para os quais não se dispõe de informação sobre o tráfego.

No âmbito da exploração da base de dados de acidentes georreferenciados desenvolvida, são claras as vantagens da utilização de mapas digitais com a localização exacta dos acidentes rodoviários e que permitem o cruzamento desta com a informação relacionada com a rede rodoviária, usos do solo e tráfego. São diversos

os resultados da exploração que se podem obter a partir desta ferramenta: distribuições espaciais desagregadas por todas as variáveis descritoras dos acidentes, identificação de zonas de maior número de acidentes observados, distribuições espaciais de densidades de ocorrência de acidentes ou vítimas, esquemas pormenorizados das manobras associadas a acidentes em secções específicas, etc.

As entidades gestoras da via e as entidades com competência em matéria de segurança rodoviária podem beneficiar com os modelos desenvolvidos neste estudo, uma vez que estes lhes permite ponderar o papel que factores relacionados com o tráfego e as características dos arruamentos poderão ter nos níveis de segurança verificados. Com estes modelos é possível basear a intervenção na infra-estrutura, para melhoria da segurança, explicitamente em informação sobre os acidentes ocorridos, tornando-a mais eficaz, por ser adaptada aos problemas de segurança realmente existentes. Os modelos são também particularmente úteis na análise das intervenções efectuadas, ao permitirem avaliar de forma robusta o nível de segurança original e estimar os níveis de segurança (real e hipotético, caso não tivesse havido intervenção) após a realização das intervenções.

Agradece-se aos Técnicos Superiores Acácio Monteiro, Cristina Sousa, Francisco Cavalheiro, José Carmo e José Gil, e aos Assistentes Técnicos Cristina Cabral e Paulo Miranda a eficiente colaboração na recolha de dados e tratamento da informação.

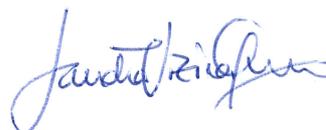
Lisboa, LNEC, Maio de 2011

VISTOS



(António Lemonde de Macedo)  
(Investigador Coordenador)  
Director do Departamento de Transportes

AUTORIAS



Sandra Vieira Gomes  
(Bolsista de Doutoramento)



João Lourenço Cardoso  
(Investigador Principal)



Abbess et al., 1981 (Abbess, C., Jarrett, D. e Wright, C.C., 1981) – Accidents at black spots: estimating the effectiveness of remedial treatment, with special reference to the regression-to-mean effect. *Traffic Engineering Control* 22 (10), pp. 535–542.

Abdel-Aty e Radwan, 2000 (Abdel-Aty M.A., Radwan A.E., 2000) – Modeling traffic accident occurrence and involvement. Em *Accident Analysis and Prevention*, 32 (5), pp. 633-642.

Akaike, 1974 (Akaike, H., 1974) – A new look at the statistical model identification. *IEEE Transactions on Automatic Control* 19 (6): 716–723.

Brüde e Larson, 1993 (Brüde, U.; Larson, J., 1993) – Models for predicting accidents at junctions where pedestrians and cyclist are involved. How well do they fit? – *Accident Analysis and Prevention*, Vol. 25, No. 5, p. 499-509.

Cardoso, 1993 (Cardoso, J. L., 1993) – Base de dados de acidentes. Adaptação à configuração do novo boletim de recolha de informação. Relatório 105/93 – Núcleo de Tráfego e Segurança Rodoviária – Departamento de Transportes – Laboratório Nacional de Engenharia Civil.

Cardoso, 1998a (Cardoso, J. L., 1998a) – Definição e detecção de zonas de acumulação de acidentes na rede rodoviária nacional. 1º Relatório. Relatório 119/98 – Núcleo de Tráfego e Segurança Rodoviária – Departamento de Transportes – Laboratório Nacional de Engenharia Civil.

Cardoso, 1998b (Cardoso, J. L., 1998b) – Detecção de zonas de acumulação de acidentes em áreas urbanas. Comunicação apresentada no 'Ciclo de Seminários 1998-2000 – A Cidade do Futuro'. Coimbra.

Cardoso, 2007 (Cardoso, J. L., 2007) – Métodos racionais de apoio à intervenção da engenharia em segurança rodoviária. Programa de investigação apresentado para obtenção do título de “Habilitado para o exercício de funções de coordenação de investigação científica”. LNEC, Lisboa.

Carvalho e Picado-Santos, 2008 (Carvalho, C., Picado-Santos, L., 2008) – “A Road Safety Management System for Medium Size Towns”. *ICE-Municipal Engineer (Journal of Institution of Civil Engineers)*, vol. 161, n. ME2, 111-116.

CML, 2005 (CML, 2005) – Lisboa: o desafio da mobilidade. Coleção de Estudos Urbanos – Lisboa XXI.

Directive 2008/96/EC – Directive 2008/96/EC of the European Parliament and of the Council of 19 November 2008 on road infrastructure safety management.

Elvik, 2007 (Elvik, R., 2007) – State-of-the-art approaches to road accident black spot management and safety analysis of road networks. TØI report 883/2007. Institute of Transport Economics. Noruega.

Gårder, 2004 (Gårder, P.E., 2004) – The impact of speed and other variables on pedestrian safety in Maine – Accident Analysis and Prevention, Vol. 36, p. 533-542.

Gourieroux et al., 1984a (C. Gourieroux, A. Monfort and A. Trognon, 1984a) – Pseudo maximum likelihood methods: Theory. *Econometrica* 52 (1984a), pp. 681–700.

Gourieroux et al., 1984b (C. Gourieroux, A. Monfort and A. Trognon, 1984b) –Pseudo maximum likelihood methods: application to Poisson models. *Econometrica* 52 (1984b), pp. 701–720.

Hauer e Persaud, 1983 (Hauer, E. e Persaud, B.N., 1983) – A common bias in before and after comparisons and its elimination. *Transportation Research Record* vol. 905, Transportation Research Board, National Research Council, Washington, D.C. pp. 164–174.

Hauer, 1997 (Hauer, E.,1997) – Observational before-after studies in road safety. Pergamon Press, Oxford.

Hauer e Bamfo, 1997 (Hauer, E; Bamfo, J., 1997) – Two tolls for finding what function links the dependent variable to the explanatory variables. Em: proceedings of the ICTCT 1997 Conference, Lund, Suécia.

Lan et al., 2009 (Lan B., Persaud B., Lyon C., Bhim R., 2009) – Validation of a Full Bayes methodology for observational before-after road safety studies and application to evaluation of rural signal conversions. *Accident Analysis and Prevention*, 41 (3), pp. 574-580.

Lord e Park, 2008 (Lord D., Park P.Y.-J., 2008) – Investigating the effects of the fixed and varying dispersion parameters of Poisson-gamma models on empirical Bayes estimates. Em *Accident Analysis and Prevention*, 40 (4), pp. 1441-1457.

Lord e Persaud, 2000 (Lord, D.; Persaud, B.N., 2000) – Accident prediction models with and without trend. Application of the generalized estimating equations procedure – Em: Transportation Research Record 1717, p. 102-108.

Martinez, 2006 (Martinez, L., 2006) – TAZ Delineation and Information Loss in Transportation Planning Studies. Dissertação para obtenção do Grau de Mestre em Transportes. IST.

Martinez et al., 2009 (Martínez, L., Viegas, J. e Silva, E., 2009) – A traffic analysis zone definition: a new methodology and algorithm. Transportation Vol.36, No. 5, pp. 581-599.

Mountain e Fawaz, 1996 (Mountain, L.; Fawaz, B., 1996) – Estimating accidents at junctions using routinely-available input data – Traffic Engineering & Control, 37 (11), p. 624-628.

Ogden, 1996 (Ogden, K. W., 1996) – Safer Roads. A Guide to Road Safety Engineering. Avebury.

Oh et al., 2003 (Oh, J., C. Lyon, S.P. Washington, B.N. Persaud, and J. Bared, 2003) – Validation of the FHWA Crash Models for Rural Intersections: Lessons Learned. Transportation Research Record 1840, pp. 41-49.

Pernia et al., 2004 (Pernia, J. C., Lu, J. J., Xie, X., Weng, M., Snyder, D., 2004) – Effects of signalization on intersection crashes. Em Advances in Transportation Studies, Section B 2, p. 1031-1038.

Persaud e Lyon, 2007 (Persaud, B. e Lyon, C., 2007) – Empirical Bayes before–after studies: lessons learned from two decades of experience and future directions. Em: Accident Analysis and Prevention 39, pp. 546–555.

Quddus, 2008 (Quddus M.A., 2008) – Modelling area-wide count outcomes with spatial correlation and heterogeneity: An analysis of London crash data. Em Accident Analysis and Prevention, 40 (4), pp. 1486-1497.

Short et al., 1982 (Short M.S., Woelfl G.A., Chang C.-J., 1982) – Effects of traffic signal installation on accidents. Em Accident Analysis and Prevention, 14 (2), pp. 135-145.

Thayer, 1990 (Thayer, J. D., 1990) – Implementing variable selection techniques in

regression. American Educational Research Association , Boston.

Turner e Francis, 2006 (T Turner, S. A.; Francis, T., 2006) – Predicting Accident Rates for Cyclists and Pedestrians – Land Transport New Zealand Research Report 289, Christchurch, New Zealand.

Vieira Gomes e Cardoso, 2008 (Vieira Gomes, S.; Cardoso, J. L., 2008) – Estimativa de frequências de acidentes em meio urbano considerando volumes de tráfego de peões. Relatório 404/2008. Núcleo de Planeamento Tráfego e Segurança – Departamento de Transportes – Laboratório Nacional de Engenharia Civil.

Vieira Gomes, 2010 (Vieira Gomes, 2010) – Avaliação da Influência da Infra-estrutura na Segurança Rodoviária em Meio Urbano. Dissertação apresentada para a obtenção do grau de Doutor em Engenharia Civil na Especialidade de Urbanismo, Ordenamento do Território e Transportes. Faculdade de Ciências e tecnologias da Universidade de Coimbra.

Wang e Abdel-Aty, 2007 (Wang, X., Abdel-Aty, M.A., 2007) – Investigation of signalized intersection right-angle crash occurrence at intersection, roadway, and approach levels. Em: 84th Annual Meeting of the TRB, Washington, DC.

Washington et al., 2003 (Washington, S., Karlaftis, M., Mannering, F., 2003) – Statistical and Econometric Methods for Transportation Data Analysis. Chapman and Hall/CRC, Boca Raton, FL.

Washington et al., 2005 (Washington, S., Persaud, B., Lyon, C., Oh, J., 2005) – Validation of Accident Models for Intersections. Federal Highway Administration, Final Report, FHWA-RD-03-037.

Wood, 2005 (Wood G.R., 2005) – Confidence and prediction intervals for generalised linear accident models. Em Accident Analysis and Prevention, 37 (2), pp. 267-273.

Wong et al., 2007 (Wong S.C., Sze N.N., Li Y.C., 2007) – Contributory factors to traffic crashes at signalized intersections in Hong Kong. Em Accident Analysis and Prevention, 39 (6), pp. 1107-1113.

**ANEXO I – LISTA DE LOCAIS INCLUÍDOS NAS AMOSTRAS A  
MODELAR**

---



### **Intersecções de três ramos incluídas na amostra usada para modelar atropelamentos**

- 1 Calcada de Carriche X Rua Jaime Lopes Dias
- 2 Estrada das Laranjeiras X Praça General Humberto Delgado
- 3 Rua da Artilharia 1 X Rua Marques de Subserra
- 4 Av. 5 Outubro X Av. Alvaro Pais
- 5 Av. Torre de Belém X Av. do Restelo
- 6 Av. de Berlim X Av. Cidade Lourenço Marques
- 7 Rua das Amoreiras X Av. D. João V
- 8 Av. do Brasil X Av. Rio de Janeiro
- 9 Av. Conde de Almoester X Rua Carlos Pereira
- 10 Rua da Venezuela X Rua das Garridas
- 11 Estrada da Luz X Rua Lúcio Azevedo
- 12 Rua dos Industriais X Av. D Carlos I
- 13 Av. do Brasil X Av. de Roma
- 14 Av. Rio de Janeiro X Rua Ricardo Jorge
- 15 Av. Rio de Janeiro X Rua João Saraiva
- 16 Rua Bica do Marques X Calçada da Ajuda
- 17 Rua Eng. Vieira da Silva X Rua Actor Taborda
- 18 Rua Castilho X Rua Sampaio e Pina
- 19 Rua Alexandre Rey Colaço X Av. Rio de Janeiro
- 20 Av. do Brasil X Rua das Murtas (Sul)
- 21 Rua Actriz Palmira Bastos X Rua Dr. José Espírito Santo
- 22 Rua Pardal Monteiro X Rua Eng. Ferreira Dias

### **Intersecções de três ramos incluídas na amostra usada para modelar acidentes com vítimas excluindo atropelamentos**

- 1 Calçada de Carriche X Rua Jaime Lopes Dias
- 2 Estrada das Laranjeiras X Praça General Humberto Delgado
- 3 Rua da Artilharia 1 X Rua Marques de Subserra
- 4 Av. Torre de Belém X Av. do Restelo
- 5 Av. de Berlim X Av. Cidade Lourenço Marques
- 6 Rua das Amoreiras X Av. D. João V
- 7 Av. do Brasil X Av. Rio de Janeiro
- 8 Av. Conde de Almoester X Rua Carlos Pereira
- 9 Rua da Venezuela X Rua das Garridas
- 10 Estrada da Luz X Rua Lúcio Azevedo
- 11 Rua dos Industriais X Av. D Carlos I
- 12 Av. do Brasil X Av. de Roma
- 13 Av. Rio de Janeiro X Rua Ricardo Jorge
- 14 Av. Rio de Janeiro X Rua João Saraiva
- 15 Rua Bica do Marques X Calçada da Ajuda
- 16 Rua Eng. Vieira da Silva X Rua Actor Taborda
- 17 Rua Castilho X Rua Sampaio e Pina
- 18 Rua Alexandre Rey Colaço X Av. Rio de Janeiro
- 19 Av. do Brasil X Rua das Murtas (Sul)
- 20 Rua de Campolide X Av. Calouste Gulbenkian - Este

- 21 Rua Actriz Palmira Bastos X Rua Dr. José Espírito Santo
- 22 Rua Pardal Monteiro X Rua Eng. Ferreira Dias
- 23 Av. José Malhoa X Rua de Campolide
- 24 Av. Cidade de Luanda X Rua Cidade de Bissau
- 25 Av. Cidade de Luanda X Av. de Pádua
- 26 Rua de Pedrouços X Rua Duarte Pacheco Pereira
- 27 Av. de Berlim x Av. Cidade de Gabela
- 28 Av. Restelo x Av. Descobertas
- 29 Av. Fontes Pereira de Melo x Av. António Augusto Aguiar
- 30 Av. Gomes Pereira x Av. General Morais Sarmiento
- 31 Av. Rio de Janeiro x Av. Estados Unidos da América
- 32 Av. Restelo x Av. Duarte Pacheco Pereira
- 33 R Junqueira x R Pinto Ferreira
- 34 Campo Pequeno x Av. Defensores de Chaves
- 35 Estrada de Benfica x R Major Neutel de Abreu
- 36 R Artilharia Um x R Sampaio Pina
- 37 Calçada do Galvão x R Conselheiro Martins de Carvalho
- 38 Av. Índia x R Mécia Mouzinho de Albuquerque
- 39 R Marques de Subserra x R Castilho
- 40 Calçada do Grilo x Calçada de Dom Gastão
- 41 R São Bento x R Nova da Piedade
- 42 Av. Praia da Vitória x R Dona Estefânia
- 43 Av. Almirante Reis x R Maria Andrade
- 44 Calçada da Ajuda x R General João de Almeida

**Intersecções de quatro ramos incluídas na amostra usada para modelar atropelamentos**

- 1 Av. Duque de Loulé X Rua Luciano Cordeiro
- 2 Rua de Campolide X Av. Calouste Gulbenkian - Oeste
- 3 Rua Fernão Mendes Pinto X Rua Damião de Góis
- 4 Av. Almirante Reis X Rua Febo Moniz
- 5 Av. Rio de Janeiro X Rua Maria Amália Vaz de Carvalho
- 6 Rua de Santana a Lapa X Av. Infante Santo
- 7 Alameda das Linhas de Torres X Av. Rainha D. Amélia
- 8 Av. Visconde de Valmor X Av. Marques de Tomar
- 9 Av. Latino Coelho X Av. Luís Bivar
- 10 Av. Defensores de Chaves X Av. Barbosa do Bocage
- 11 Rua Castilho X Rua Alexandre Herculano
- 12 Largo Marques de Nisa X Rua de Xabregas
- 13 Av. General Roçadas X Rua dos Sapadores
- 14 Rua Major Neutel de Abreu X Rua Maestro Frederico de Freitas
- 15 Azinhaga Torre do Fato X Av. das Nações Unidas
- 16 Av. Cidade de Praga X Estrada da Correia
- 17 Av. de Roma X Av. João XXI
- 18 Av. Berna X Rua Marques Sá da Bandeira

**Intersecções de quatro ramos incluídas na amostra usada para modelar acidentes com vítimas excluindo atropelamentos**

- 1 Av. Duque de Loulé X Rua Luciano Cordeiro
- 2 Rua de Campolide X Av. Calouste Gulbenkian - Oeste
- 3 Rua Fernão Mendes Pinto X Rua Damião de Góis
- 4 Av. Almirante Reis X Rua Febo Moniz
- 5 Av. Rio de Janeiro X Rua Maria Amália Vaz de Carvalho
- 6 Rua de Santana a Lapa X Av. Infante Santo
- 7 Alameda das Linhas de Torres X Av. Rainha D. Amélia
- 8 Av. Visconde de Valmor X Av. Marques de Tomar
- 9 Av. Latino Coelho X Av. Luís Bivar
- 10 Av. Defensores de Chaves X Av. Barbosa do Bocage
- 11 Rua Castilho X Rua Alexandre Herculano
- 12 Largo Marques de Nisa X Rua de Xabregas
- 13 Av. General Roçadas X Rua dos Sapadores
- 14 Rua Major Neutel de Abreu X Rua Maestro Frederico de Freitas
- 15 Azinhaga Torre do Fato X Av. das Nações Unidas
- 16 Av. Cidade de Praga X Estrada da Correia
- 17 Av. de Roma X Av. João XXI
- 18 Av. Berna X Rua Marques Sá da Bandeira
- 19 Av. Defensores de Chaves X Av. Praia da Vitória
- 20 Av. Elias Garcia X Av. Marques de Tomar
- 21 Av. de Berna com Av. 5 de Outubro
- 22 Rua Joaquim Bonifácio X Rua D. Estefânia
- 23 Av. Almirante Reis X R. Morais Soares
- 24 R. Castilho X Alameda Cardeal Cerejeira
- 25 Av. Padre Cruz X Rua Prof. Vieira de Almeida X Av. Rainha D. Amélia
- 26 Av. Estados Unidos da América X Av. Almirante Gago Coutinho
- 27 Av. Mouzinho de Albuquerque X Calçada Cruz da Pedra
- 28 R. D. Francisco Manuel de Melo X R. Rodrigo da Fonseca
- 29 Av. das Forças Armadas X Av. Álvaro Pais X Av. Prof. Gama Pinto
- 30 Av. de Roma X Av. Estados Unidos da América
- 31 Av. 5 Outubro x Av. Barbosa do Bocage
- 32 Estrada de Pedro Teixeira x Estrada de Caselas
- 33 Av. 5 de Outubro x Av. Elias Garcia
- 34 Av. 5 de Outubro x Av. Visconde Valmor
- 35 R. Sampaio e Pina x R. Rodrigo da Fonseca
- 36 R. Angelina Vidal x R. da Penha de França
- 37 Av. Defensores de Chaves x Av. Elias Garcia
- 38 Av. Luís Bivar x R. Pinheiro Chagas
- 39 Av. Lusíada x Av. dos Combatentes
- 40 Av. Marechal Gomes da Costa x Av. Infante D. Henrique
- 41 R. Correia Teles x R. Sampaio Bruno
- 42 Av. Marques de Tomar x Av. Duque D'Ávila
- 43 Av. D. Vasco da Gama x R. Damião de Góis
- 44 R. dos Lusíadas x R. Leão de Oliveira
- 45 Estr. Benfica x Av. Gomes Pereira
- 46 Estr. Luz x R. dos Soeiros
- 47 Av. Marechal Teixeira Rebelo x R. Guiomar Torresão

- 48 R. Gonçalves Zarco x Calçada do Galvão
- 49 R. Luciano Cordeiro x R. do Conde Redondo
- 50 R. Rodrigo da Fonseca x R. Padre António Vieira

**Rotundas incluídas na amostra usada para modelar acidentes com vítimas excluindo atropelamentos**

- 1 Rotunda de Entrecampos
- 2 Praça do Aeroporto
- 3 Largo D. Estefânia
- 4 Praça Baden Powell
- 5 Praça do Venturoso
- 6 Av. Ilha da Madeira X Rua Antão Gonçalves
- 7 Estrada de Queluz X Estrada do Penedo X Estr. Pedro Teixeira
- 8 Rua C do Aeroporto X Av. Berlim X Av. Comunidades Portuguesas
- 9 R. São Jorge X Av. Alvares Cabral X R. João Anastácio Rosa
- 10 Av. Carlos Pinhão X Av. do Santo Condestável
- 11 Av. Infante D. Henrique X Av. Marechal António Spínola
- 12 Av. da Igreja X Av. Rio de Janeiro
- 13 Rua Prof. Reinaldo dos Santos X Rua Mariano Pina
- 14 Rua Tomas da Fonseca X Rua António Albino Machado
- 15 Praça do Príncipe Perfeito

**Segmentos incluídos na amostra usada na modelação de atropelamentos**

- 1 Rua de São Jorge
- 2 Rua Saraiva de Carvalho (entre a R. Tomás de Anunciação e a R. Ferreira Borges)
- 3 Rua Pascoal de Melo (entre a R. D. Estefânia e a R. Ilha do Pico)
- 4 Rua Luís Freitas Branco (entre a R. Virgínia Vitorino e a R. Mário Sampaio Ribeiro)
- 5 Rua João Anastácio Rosa
- 6 Rua Acácio Paiva (entre a R. Luís Augusto Palmeirim e Av. da Igreja)
- 7 Av. Roma (junto Av. do Brasil)
- 8 Av. Roma (entre Av. da Igreja e R. Maria Amália Vaz de Carvalho)
- 9 Av. Rio Janeiro (entre Av. do Brasil e R. João Saraiva)
- 10 Av. Rio Janeiro (entre R. Ricardo Jorge e Av. da Igreja)
- 11 Av. Rainha D. Amélia (entre a Alam. das Linhas de Torres e a R. Rainha D. Luísa de Gusmão)
- 12 Av. Marques Tomar (entre a Av. Visconde de Valmor e a Av. Miguel Bombarda)
- 13 Av. Miguel Bombarda (entre a R. Marques Sá da Bandeira e a Av. Conde de Valbom)
- 14 Av. João XXI (entre Av. de Roma e R. Presidente Wilson)
- 15 Av. João Crisóstomo (entre a R. Marques Sá da Bandeira e a Av. Conde de Valbom)
- 16 Av. da Igreja (entre a Av. Rio de Janeiro e a R. José Duro)
- 17 Av. Casal Ribeiro (entre a R. Actor Taborda e a R. Almirante Barroso)
- 18 Av. do Brasil (entre a Av. Rio de Janeiro e a R. Jorge Colaço)
- 19 Av. Alvares Cabral (entre a R. de São Jorge e a R. Santa Isabel)

- 20 Av. António Augusto Aguiar (entre a R. Carlos Testa e a R. Eng. Canto Resende)
- 21 Av. António Augusto Aguiar (entre a R. Eng. Canto Resende e a R. Filipe Folque)
- 22 Av. 5 Outubro (entre a Av. Barbosa do Bocage e a Av. Elias Garcia)
- 23 Alameda Linhas Torres (entre Av. Rainha D. Amélia e R. José da Costa Pedreira)
- 24 Alameda Linhas Torres (entre R. José da Costa Pedreira e a R. António Stromp)
- 25 Alameda Linhas Torres (entre Av. Rainha D. Amélia e Av. Rainha D. Leonor)

**Secções incluídas na amostra usada na modelação de acidentes com vítimas sem atropelamentos**

Alameda das Linhas de Torres  
Avenida Calouste Gulbenkian  
Avenida Rainha D<sup>a</sup> Amélia  
Avenida Álvares Cabral  
Avenida Álvaro Pais  
Avenida Almirante Gago Coutinho  
Avenida Almirante Reis  
Avenida Barbosa do Bocage  
Avenida Carlos Pinhão  
Avenida Cidade de Lourenço Marques  
Avenida Cidade de Luanda  
Avenida Cidade do Porto  
Avenida Cinco de Outubro  
Avenida da Boa Esperança  
Avenida da Igreja  
Avenida da Torre de Belém  
Avenida das Forças Armadas  
Avenida das Nações Unidas  
Avenida de Berlim  
Avenida de Berna  
Avenida de Pádua  
Avenida de Roma  
Avenida do Brasil  
Avenida do Restelo  
Avenida Dom Carlos I  
Avenida Dom João II  
Avenida dos Defensores de Chaves  
Avenida dos Estados Unidos da América  
Avenida Elias Garcia  
Avenida General Norton de Matos  
Avenida Infante Dom Henrique  
Avenida Infante Santo  
Avenida João XXI  
Avenida Marechal António de Spínola  
Avenida Marechal Craveiro Lopes  
Avenida Marechal Gomes da Costa

Avenida Marechal Teixeira Rebelo  
Avenida Mouzinho de Albuquerque  
Avenida Padre Cruz  
Avenida Praia da Vitória  
Avenida Professor Egas Moniz  
Avenida Professor Gama Pinto  
Avenida Rainha Dona Amélia  
Avenida Visconde de Valmor  
Calçada de Carriche  
Campo Grande  
Estrada da Luz  
Estrada de Queluz  
Rua Actor Taborda  
Rua Actriz Palmira Bastos  
Rua António Albino Machado  
Rua Antão Gonçalves  
Rua C (Aeroporto da Portela)  
Rua Castilho  
Rua Cidade de Bissau  
Rua Cidade de Luanda  
Rua Cidade de Rabat  
Rua Conde de Almostr  
Rua Contra-Almirante Armando Ferraz  
Rua da Madre de Deus  
Rua da Venezuela  
Rua das Amoreiras  
Rua das Murtas  
Rua de Artilharia Um  
Rua de Campolide  
Rua de Dona Estefânia  
Rua de Pascoal de Melo  
Rua de São Jorge  
Rua Dom Francisco Manuel de Melo  
Rua Dom João V  
Rua Dr. José Espírito Santo  
Rua Jacinta Marto  
Rua Joaquim Bonifácio  
Rua João Anastácio Rosa  
Rua Luciano Cordeiro  
Rua Maestro Frederico de Freitas  
Rua Major Neutel de Abreu  
Rua Prof. Pulido Valente  
Rua Prof. Vieira de Almeida  
Travessa do Tarujo

