



LABORATÓRIO NACIONAL  
DE ENGENHARIA CIVIL

DEPARTAMENTO DE TRANSPORTES  
Núcleo de Planeamento, Tráfego e Segurança

Proc. 0703/14/16605

## **SAFESIDE – SINISTRALIDADE ENVOLVENDO A ÁREA ADJACENTE À FAIXA DE RODAGEM**

**Definição de cenários tipo para acidentes envolvendo a área  
adjacente à faixa de rodagem**

Estudo financiado pela Fundação para a Ciência e Tecnologia

Lisboa • março de 2013

**I&D TRANSPORTES**

**RELATÓRIO 139/2013 – DT/NPTS**



**SAFESIDE - SINISTRALIDADE ENVOLVENDO A  
ÁREA ADJACENTE À FAIXA DE RODAGEM**

**DEFINIÇÃO DE CENÁRIOS TIPO PARA ACIDENTES ENVOLVENDO A  
ÁREA ADJACENTE À FAIXA DE RODAGEM**

**SUMÁRIO**

---

O presente relatório foi elaborado no âmbito do projeto de I&D, cofinanciado pela Fundação para a Ciência e a Tecnologia, designado SAFESIDE – Sinistralidade envolvendo a área adjacente à faixa de rodagem, o qual está integrado no projeto “Rodovias auto-explicativas e tolerantes” do Plano de Investigação Programada 2009-2012 do Laboratório Nacional de Engenharia Civil. O propósito do projeto SAFESIDE consiste em desenvolver um método racional de avaliação dos efeitos das características da área adjacente à faixa de rodagem (AAFR) sobre a sinistralidade, baseado nos resultados da análise da sinistralidade ocorrida nas estradas portuguesas.

Neste relatório, elaborado no âmbito da tarefa WP 4 designada “Definição de cenários tipo para acidentes envolvendo a área adjacente à faixa de rodagem”, para além da definição propriamente dita dos cenários, apresentam-se os resultados do desenvolvimento de modelos de estimativa de frequência de acidentes (MEFA) para os cenários definidos. Apresenta-se ainda o estado da arte em matéria da modelação de acidentes por saída da faixa de rodagem, com particular atenção aos aspetos metodológicos a ter em conta no tratamento de dados de acidentes.

## SAFESIDE - ROADSIDE SAFETY

### DEFINITION OF TYPICAL SCENARIOS FOR ROADSIDE ACCIDENTS

#### ABSTRACT

---

This report was developed in the scope of Workpackage 4 – Definition of typical scenarios for roadside accidents of SAFESIDE - Roadside Safety project, co-financed by the *Fundação para a Ciência e a Tecnologia* and carried out under the “Self explaining and forgiving roads” project of the Programmed Research Plan 2009-2012 at *Laboratório Nacional de Engenharia Civil*. The aim of the project is to develop a method for assessing the influence of roadside characteristics in Portuguese road safety. The method is based on Portuguese data and experience.

In this report, a set of most frequent scenarios for roadside accident in each type of road type are defined and predictive models for run-off-the-road injury accident frequencies are developed. It also discusses state of the art on modelling run-off-the road injury accident frequency, with particular attention to methodological aspects to be considered in the processing of accident data.

## ÍNDICE

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO.....</b>	<b>1</b>
<b>2</b>	<b>CENÁRIOS TIPO PARA ACIDENTES ENVOLVENDO A AAFR.....</b>	<b>3</b>
2.1	Introdução.....	3
2.2	Base de dados de acidentes por saída da faixa de rodagem.....	5
2.2.1	Fontes utilizadas para a criação da base de dados.....	5
2.2.2	Estrutura da base de dados.....	7
2.2.3	Procedimento de codificação.....	9
2.2.4	Trechos de estrada para o estudo piloto.....	12
2.3	Resultados.....	13
<b>3</b>	<b>MODELAÇÃO DE ACIDENTES POR SAÍDA DA FAIXA DE RODAGEM</b>	<b>24</b>
3.1	Generalidades.....	24
3.2	Modelos probabilísticos de incursão na AAFR.....	28
3.2.1	Dados obtidos por observação de incursões na AAFR.....	33
3.3	Modelos Lineares Generalizados.....	44
3.3.1	Generalidades.....	44
3.3.2	Modelo de regressão de Poisson.....	48
3.3.3	Modelo de Binomial Negativa.....	49
3.3.4	Outros modelos lineares generalizados.....	50
3.3.5	Métodos de estimação dos parâmetros do modelo.....	51
3.4	Seleção e validação de modelos.....	55
3.4.1	Qualidade de ajustamento.....	55
3.4.2	Análise de resíduos.....	59
3.4.3	Observações influentes.....	60
3.5	Aspectos metodológicos a ter em conta relacionados com dados de acidentes...	61
3.5.1	Sobre-dispersão.....	62
3.5.2	Subdispersão.....	62
3.5.3	Variações temporais das variáveis explicativas.....	63
3.5.4	Correlações espaciais e temporais.....	63
3.5.5	Reduzida dimensão da amostra e baixa média amostral.....	63
3.5.6	Correlação entre dados agrupados por tipo de acidente e gravidade das consequências.....	64
3.5.7	Dados agrupados por tipo de acidente.....	64
3.5.8	Acidentes não registados.....	66
3.5.9	Enviesamento por variáveis omissas.....	67
3.5.10	Variáveis endógenas.....	67
3.5.11	Forma funcional.....	68
3.5.12	Parâmetros fixos.....	68
3.5.13	Interpretação das relações entre variáveis explicativas e de resposta.....	68
3.5.14	Notas finais.....	70
<b>4</b>	<b>MODELOS DE ESTIMATIVA DE ACIDENTES PARA A REDE</b>	<b>72</b>
	<b>RODOVIÁRIA NACIONAL.....</b>	<b>72</b>
4.1	Introdução.....	72
4.2	Dados recolhidos.....	72
4.3	Características gerais das variáveis mais relevantes.....	75
4.4	Método.....	79
4.5	MEFA para estradas de faixa de rodagem única.....	81
4.5.1	Acidentes totais.....	81
4.5.2	Despistes.....	86

4.6	Estradas de dupla faixa de rodagem.....	89
4.6.1	Modelo de estimativa de frequência de acidentes.....	89
4.6.2	Modelo de estimativa de frequência de despistes .....	92
<b>5</b>	<b>CONCLUSÕES .....</b>	<b>97</b>
	<b>BIBLIOGRAFIA .....</b>	<b>101</b>

## ÍNDICE DE QUADROS

Quadro 1 – Base de dados das PAV – dados relativos à colisão (1).....	10
Quadro 2 – Base de dados das PAV – dados relativos à colisão (2) .....	11
Quadro 3 – Base de dados das PAV – dados relativos aos ocupantes do veículo acidentado .....	12
Quadro 4 – Lista de trechos de estradas de faixa de rodagem única seleccionados [87].....	13
Quadro 5 – Lista de trechos de estradas de dupla faixa de rodagem seleccionados [87].....	13
Quadro 6 – Tipo de veículos por tipo de faixa de rodagem. ....	17
Quadro 7 – Número de ocupantes dos veículos por tipo de faixa de rodagem.....	18
Quadro 8 – Número de vítimas por nível de gravidade das lesões por tipo de faixa de rodagem. ....	19
Quadro 9 – Obstáculos colididos por ordem de embate. ....	20
Quadro 10 – Obstáculos colididos por tipo de faixa de rodagem.....	21
Quadro 11 – Primeiro obstáculo colidido por gravidade das lesões. ....	22
Quadro 12 – Número de vítimas por tipo de obstáculo colidido em acidentes.....	22
Quadro 13 – Distribuição dos ângulos de incursão (adaptado de [50]). ....	40
Quadro 14 – Distribuição dos ângulos de incursão (adaptado de [97]). ....	41
Quadro 15 – Estatísticas seleccionadas das redes analisadas. ....	79
Quadro 16 – Estatísticas do MEFA em estradas de faixa de rodagem única.....	82
Quadro 17 – Estatísticas das variáveis independentes e potenciais observações influentes .....	85
Quadro 18 – Estatísticas do MEFA em estradas de faixa de rodagem única sem observações influentes.....	85
Quadro 19 – Estatísticas do MEFD em estradas de faixa de rodagem única .....	86
Quadro 20 – Estatísticas das variáveis independentes e potenciais observações influentes .....	89
Quadro 21 – Estatísticas do MEFA em estradas de faixa de rodagem única.....	89
Quadro 22 – Estatísticas das variáveis independentes e potenciais observações influentes .....	92
Quadro 23 – Estatísticas do MEFD em estradas de dupla faixa de rodagem.....	93
Quadro 24 – Estatísticas das variáveis independentes e potenciais observações influentes .....	96
Quadro 25 – Estatísticas das variáveis independentes e potenciais observações influentes .....	98

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 – Cenários tipo para acidentes em auto-estradas fora de zonas urbanas (adaptado de [34]).....	4
Figura 2 – Tipificação dos esquemas dos acidentes no BEAV .....	6
Figura 3 – Formulário utilizado para recolher informação constante nas PAV relativa à colisão. ....	8
Figura 4 – Formulário utilizado para recolher informação constante nas PAV relativa aos ocupantes do veículo acidentado. ....	9
Figura 5 – Distribuição dos acidentes por tipo de estrada. ....	14
Figura 6 – Alinhamento em planta. ....	15
Figura 7 – Tipo de acidente.....	15
Figura 8 – Estado do pavimento no local do acidente. ....	16
Figura 9 – Condições de luminosidade no local do acidente. ....	17
Figura 10 – Classe e idade dos ocupantes dos veículos.....	19
Figura 11 – Acidentes enquanto eventos raros e aleatórios (baseado em [48]) .....	26
Figura 12 – Área de influência do obstáculo (adaptado de [67]) .....	30
Figura 13 – Definição do ângulo de incursão ( $\theta$ ) e de orientação do veículo ( $\psi$ ) .....	31
Figura 14 – Taxa de incursão (adaptado de [67]) .....	35
Figura 15 – Factores de ajustamento da frequência de incursões para curvas horizontais e trainéis (adaptado de Wright, P.H., Robertson, L. (1976). <i>Priorities for Roadside Hazard Modification: A Study of 300 Fatal Roadside Object Crashes</i> . <i>Traffic Engineering</i> , Vol. 46, No. 8. Citado em [98]) .....	39
Figura 16 – Área de risco potencial baseada na trajectória da aresta mais à direita da frente do veículo descontrolado (adaptado de [108]) .....	42
Figura 17 – Distribuições da extensão transversal de incursão para diferentes tipos de estrada (adaptado de [67]).....	44
Figura 18 – Exemplo de estimação pelo método da máxima verosimilhança [113] .....	52
Figura 19 – Histograma da extensão dos trechos para estradas de faixa de rodagem única .....	75
Figura 20 – Histograma do TMDA para estradas de faixa de rodagem única.....	75
Figura 21 – Histograma da extensão dos trechos para estradas de dupla faixa de rodagem .....	76
Figura 22 – Histograma do TMDA para estradas de dupla faixa de rodagem.....	76



Figura 23 – Histogramas (do lado esquerdo) e estimadores de densidade (no lado direito) do número de acidentes e de despistes em estradas de faixa de rodagem única (2002 e 2005).....	77
Figura 24 – Histogramas, do lado esquerdo, e estimadores de densidade, no lado direito, do número de acidentes e despistes em estradas de dupla faixa de rodagem medidos entre 2007 e 2010.....	78
Figura 25 – Esquema das desagregações consideradas nos modelos desenvolvidos. ....	80
Figura 26 – Acidentes estimados e observados com o MEFA para estradas de faixa de rodagem única. ....	83
Figura 27 – Distâncias de Cook obtidas para o MEFA para estradas de faixa de rodagem única. ....	83
Figura 28 – Desvios residuais em função das observações, obtidos com o MEFA para estradas de faixa de rodagem única. ....	84
Figura 29 – Pontos de influência em função das observações, obtidos com o MEFA para estradas de faixa de rodagem única. ....	84
Figura 30 – Acidentes estimados e observados com o MEFD para estradas de faixa de rodagem única. ....	87
Figura 31 – Distâncias de Cook obtidas para o MEFD para estradas de faixa de rodagem única. ....	87
Figura 32 – Desvios residuais em função das observações, obtidos com o MEFD para estradas de faixa de rodagem única. ....	88
Figura 33 – Pontos de influência em função das observações, obtidos com o MEFD para estradas de faixa de rodagem única. ....	88
Figura 34 – Acidentes estimados e observados com o MEFA para estradas de dupla faixa de rodagem. ....	90
Figura 35 – Distâncias de Cook obtidas para o MEFA para estradas de dupla faixa de rodagem. ....	91
Figura 36 – Desvios residuais em função das observações, obtidos com o MEFA para estradas de dupla faixa de rodagem.....	91
Figura 37 – Pontos de influência em função das observações, obtidos com o MEFA para estradas de dupla faixa de rodagem.....	92
Figura 38 – Acidentes estimados e observados com o MEFD para estradas de dupla faixa de rodagem. ....	94
Figura 39 – Distâncias de Cook obtidas para o MEFD para estradas de dupla faixa de rodagem. ....	94

Figura 40 – Desvios residuais em função das observações, obtidos com o MEFD para estradas de dupla faixa de rodagem.....	95
Figura 41 – Pontos de influência em função das observações, obtidos com o MEFD para estradas de dupla faixa de rodagem.....	95
Figura 42 – Comparação entre os vários modelos desenvolvidos aplicáveis a trechos de faixa de rodagem única (1f) e dupla (2f) para duas extensões dos trechos.....	98
Figura 43 – Comparação entre os vários modelos desenvolvidos aplicáveis a trechos de faixa de rodagem única e dupla para dois níveis de TMDA.....	99

## ÍNDICE DE ANEXOS

ANEXO I – Participação de Acidentes de Viação (PAV) .....	117
ANEXO II – Boletim Estatístico de Acidentes de Viação (BEAV) .....	123



## 1 INTRODUÇÃO

O presente relatório foi elaborado no âmbito do projeto de I&D PTDC/TRA/74520/2006 designado SAFESIDE – Sinistralidade envolvendo a área adjacente à faixa de rodagem.

O projeto foi estruturado em 9 tarefas, designadas abreviadamente de WP, tendo o presente relatório sido elaborado no âmbito da tarefa WP 4 cujo objetivo específico consiste na definição de cenários tipo para acidentes envolvendo a AAFR em classes de estrada e elementos rodoviários tipo.

Um dos objetivos específicos do projeto SAFESIDE consiste no desenvolvimento de uma metodologia que permita a avaliação do impacto das características da AAFR na sinistralidade, baseado nos resultados da análise dos acidentes ocorridos nas estradas portuguesas.

Para tal foi necessário definir cenários tipo para acidentes envolvendo a AAFR em classes de estrada e elementos rodoviários tipo. A definição de cenários implicou a realização de uma campanha de observação e carregamento em base de dados da informação relativa aos trechos de estrada do estudo piloto definidos no WP2. Esta base de dados inclui os dados de acidentes e os danos nos obstáculos presentes na AAFR (incluindo sistemas de retenção de veículos) que foi possível recolher. Complementarmente, foi necessário modelar as características dos acidentes por saída da faixa de rodagem em função das características da estrada e da AAFR.

No Capítulo 2 são definidos os cenários tipo a considerar, de acordo com os resultados do tratamento da informação constante na base de dados relativa aos trechos de estrada do estudo piloto.

O Capítulo 3 é dedicado à modelação de acidentes por saída da faixa de rodagem, com especial incidência nos modelos lineares generalizados, os quais são alvo de profunda análise e posterior aplicação no Capítulo 4, onde são desenvolvidos modelos de estimativa de frequência de acidentes para os cenários definidos no Capítulo 2.

No último capítulo apresentam-se as principais conclusões da tarefa WP4.

## 2 CENÁRIOS TIPO PARA ACIDENTES ENVOLVENDO A AAFR

### 2.1 Introdução

“Cenário” é o termo utilizado no domínio da segurança rodoviária para designar um protótipo (descrição sistematizada) de um processo de acidente, caracterizado pelo encadeamento de factos, ações e relações causais que o descrevem, desde a sua origem até às suas consequências em termos de danos a pessoas e bens [34]

Como já referido, um dos objetivos da presente tarefa consiste na identificação dos cenários mais relevantes para acidentes envolvendo a AAFR. Um cenário tipo pode ser definido como um protótipo de um processo genérico de acidente correspondente a um conjunto de sinistros que apresentam semelhanças quanto a elementos importantes das respetivas cadeia de factos e relações causais [79]. Após a definição do conjunto destes elementos de referência, é possível comparar um grupo de acidentes: se houver semelhança entre eles relativamente a esses elementos é possível agrupá-los num cenário singular; de outro modo, os acidentes deverão ser classificados em cenários diferentes.

É possível analisar um acidente como um evento considerando os seguintes aspetos ([34] e [79]):

1. Condições gerais: relativas ao veículo, ao condutor e às características da infraestrutura.
2. Situação de condução: corresponde à situação normal, do ponto de vista do condutor, sem acontecimentos inesperados.
3. Situação de acidente: situação correspondente à ocorrência de um acontecimento inesperado.
4. Situação de emergência: refere-se às manobras dos condutores, executadas com o fim de evitarem a colisão.
5. Situação de colisão: relativa ao comportamento do veículo após o acidente (embate, capotamento, etc.).

Na Figura 1 exemplificam-se dois cenários tipo para acidentes em autoestradas fora de zonas urbanas.

*Condições gerais e situação de condução*

Em condições de cansaço intenso, resultado de trabalho ou atividade intensa, e/ou após uma longa viagem, um condutor desloca-se numa autoestrada.

*Situação de acidente*

O condutor adormece ao volante, perdendo o controlo do veículo, o qual se desloca para a esquerda ou direita, saindo da faixa de rodagem.

*Situação de emergência*

O condutor não reage.

*Situação de colisão*

O veículo embate em obstáculos perigosos presentes na AAFR, ou capota.

*Condições gerais e situação de condução*

Um condutor jovem e inexperiente desloca-se numa autoestrada de madrugada, após uma noite passada com amigos.

*Situação de acidente*

O condutor adormece momentaneamente ao volante e o veículo começa a desviar-se para a esquerda ou para a direita.

*Situação de emergência*

O condutor dá uma guinada no volante, perdendo o controlo do veículo.

*Situação de colisão*

O veículo embate na barreira de segurança na berma esquerda ou, de forma menos frequente, na berma direita, acabando por se imobilizar na via ou na berma direita.

**Figura 1** – Cenários tipo para acidentes em autoestradas fora de zonas urbanas (adaptado de [34])

Segundo Fleury e Brenac [34], os acidentes são normalmente agregados tendo por base semelhanças genéricas nas fases anteriores à situação de colisão. Ou seja, a semelhança não se baseia exclusivamente num aspeto da situação de acidente, por exemplo a manobra executada imediatamente antes da ocorrência do acidente, mas também noutros factos ou mecanismos que ocorreram a montante (itinerário utilizado, velocidade na aproximação, etc.) ou a jusante (eventuais manobras de emergência, padrões de embate em obstáculos presentes na AAFR, etc.). Assim, para a definição de cenários tipo é necessário ter acesso aos resultados de uma análise bastante pormenorizada dos acidentes.

Um dos objetivos da presente tarefa consiste na criação de uma base de dados de informação relativa a acidentes envolvendo a saída da faixa de rodagem (dados, tão detalhados quanto possível, das características da AAFR e acerca dos acidentes). Os dados detalhados das características da AAFR devem permitir avaliar o desempenho específico deste elemento da infraestrutura rodoviária, enquanto os restantes dados



servem de base ao desenvolvimento de modelos de estimativa de frequência de acidentes (MEFA) por saída da faixa de rodagem, para cálculo de frequências esperadas de acidentes.

## **2.2 Base de dados de acidentes por saída da faixa de rodagem**

O objetivo fundamental do projeto SAFESIDE consiste na redução do número de acidentes com mortos e vítimas envolvendo a AAFR. Assim, e tal como referido no WP2 – Análise de Dados de Sinistralidade e Modelação de Despistes, foram selecionados para a presente análise os acidentes, fora da zona de influência de cruzamentos, envolvendo apenas um veículo, ou seja, aqueles em que o condutor de um veículo descontrolado sai da faixa de rodagem e embate num obstáculo perigoso presente na AAFR.

### **2.2.1 Fontes utilizadas para a criação da base de dados**

À ocorrência de um acidente corporal participado às forças policiais, está necessariamente associado o preenchimento dum Participação de Acidentes de Viação (PAV) (ver Anexo I), com informação necessária à eventual intervenção do Procurador-Geral da República. É ainda preenchido o “Boletim Estatístico de Acidentes de Viação” (BEAV) (ver Anexo II), que é enviado à Autoridade Nacional de Segurança Rodoviária (ANSR), entidade responsável pela organização da base de dados de acidentes rodoviários portugueses.

O BEAV está estruturado 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) e consequências do acidente (3 campos). A tipificação das manobras dos utentes envolvidos nos acidentes faz-se mediante uma matriz de 22 linhas por 10 colunas (ver Figura 2), onde os acidentes por saída da faixa de rodagem (despistes) correspondem à décima primeira linha (linha K).

ESQUEMAS													
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0			
A											Outras	Ultrapassagem	
B											Outras		
C											Outras		
D											Col. Frontal Curva Outras	Col. Frontal Recta Outras	Colisão Frontal
E											Outras	Outras	Colisão Retaguarda
F											Outras	Outras	
G											Col. Lateral Curva Outras	Col. Lateral Recta Outras	Colisão Lateral Cruzamento Veículos Sentido Contrário
H											Outras	Outras	Colisão Lateral Veículos mesmo sentido
I											Outras	Outras	Colisão c/ Veículo parado, acidentado, obstáculo ou animal
J											Ignorado	Outras	Mudança Via de Trânsito
K											Outras Recta Curva	Outras	Despiste
L											Outras	Outras	
M											Outras	Outras	Mudança de Direcção
N											Outras	Outras	
O											Outras	Outras	Regras da Prioridade
P											Outras	Outras	
Q											Outras	Outras	Outras Manobras
R											Outras	Outras	
S											Outras	Outras	Peões
T											Outras	Outras	
U											Outras	Outras	Sinalização Luminosa e Vertical
V											Outras	Outras	

\* Sinalização luminosa verde \* Sinalização luminosa vermelha \*\*\*\*\* Despiste ---> Marcha atrás

Figura 2 – Tipificação dos esquemas dos acidentes no BEAV

A base de dados de acidentes rodoviários, existente no Núcleo de Planeamento, Tráfego e Segurança (NPTS) do Laboratório Nacional de Engenharia Civil (LNEC) contém a informação disponibilizada pela Autoridade Nacional de Segurança Rodoviária (ANSR) recolhida através do preenchimento do referido BEAV pela Polícia de Segurança Pública (PSP) e pela Guarda Nacional Republicana (GNR).

Importa salientar que a base de dados de acidentes de viação da ANSR apenas possui informação sobre os acidentes com vítimas.

Tal como referido no relatório relativo à tarefa WP2 [87], os dados existentes em inventários rodoviários em Portugal acerca da AAFR são, exclusivamente, relativos às bermas (e mesmo estes não constam de forma desagregada do “Boletim Estatístico de Acidentes de Viação”), não havendo, por exemplo, informação acerca da largura da zona livre ou a descrição do objeto com o qual o veículo colidiu. As limitações associadas à utilização de dados históricos sobre a sinistralidade para o diagnóstico da insegurança rodoviária, levaram à recolha de informação adicional através das PAV, procurando, desta forma, colmatar algumas das lacunas informativas sobre a sinistralidade associada à AAFR em estradas da RRN.

### **2.2.2 Estrutura da base de dados**

A recolha da informação constante nas PAV não foi integral, por não ser considerada relevante para o presente estudo. Os dados foram recolhidos sob a forma de informação alfanumérica, tendo sido registados informaticamente numa base de dados auxiliar, que contem informação referente aos embates e a características dos ocupantes dos veículos acidentados.

No que diz respeito aos dados dos embates, foram registados os seguintes campos de informação (ver Figura 3):

- Código do acidente;
- Data;
- Hora;
- Tipo de estrada;
- Tipo de faixa de rodagem;
- Estado do pavimento;
- Condições meteorológicas;
- Limite de velocidade;
- Luminosidade;
- Número de ocupantes do veículo;
- Tipo de acidente;

- Características do alinhamento em planta;
- Obstáculo colidido;
- Tipo de veículo;
- Localização da deformação no veículo.

The form 'Registo de Acidentes' includes the following fields and controls:

- Código do Acidente**: Text input field.
- Data (dd-mm-aaaa)**: Date input field.
- Hora (hh:mm)**: Time input field.
- Tipo de Estrada**: Checkboxes for road type.
- Tipo de Faixa de Rodagem**: Checkboxes for lane type.
- Estado do Pavimento**: Checkboxes for pavement condition.
- Alinhamento em Planta**: Checkboxes for plan alignment.
- Limite de Velocidade (km/h)**: Text input field for speed limit.
- Condições Meteorológicas**: Checkboxes for weather conditions.
- Luminosidade**: Checkboxes for lighting conditions.
- Tipo de Acidente**: Checkboxes for accident type.
- Obstaculo Colidido**: Checkboxes for collided obstacle.
- Tipo de Veiculo**: Checkboxes for vehicle type.
- N. de Ocupantes do Veiculo**: Text input field for number of occupants.
- Localização da Deformação do Veiculo**: Four checkboxes for vehicle deformation location.
- Registrar Ocupantes do Veiculo**: A greyed-out checkbox.

Navigation and action buttons on the right side:

- Adicionar
- Anterior
- Seguinte
- Ultimo
- Procurar Registo
- Corrigir
- Limpar
- Sair

**Figura 3** – Formulário utilizado para recolher informação constante nas PAV relativa à colisão.

Os campos de informação relativos aos ocupantes dos veículos acidentados foram os seguintes (ver Figura 4):

- Código do acidente;
- Classe do ocupante;
- Data de nascimento;
- Género;
- Álcool;
- Taxa de alcoolemia;

- Gravidade das lesões;
- Utilização do cinto de segurança.

The image shows a software window titled "Registo de Ocupantes" with a close button in the top right corner. The window contains a form with the following fields and buttons:

- Código do Acidente**: Text input field.
- Classe do Ocupante**: Checkmark input field.
- Data de Nascimento dd-mm-aaaa**: Text input field.
- Género**: Checkmark input field.
- Teste Alcool**: Checkmark input field.
- Taxa de Alcoolémia**: Text input field.
- Gravidade das Lesões**: Checkmark input field.
- Utilização do Cinto de Segurança**: Checkmark input field.
- Buttons**: A vertical column of buttons on the right side: "Adicionar", "Anterior", "Seguinte", "Ultimo", "Procurar Registo", "Corrigir", "Limpar", and "Sair".

**Figura 4** – Formulário utilizado para recolher informação constante nas PAV relativa aos ocupantes do veículo acidentado.

Parte significativa dos dados recolhidos foi obtida através da consulta dos campos “Descrição do acidente”, “Consequências do acidente e identificação dos sinistrados” e do “Esboço”.

### 2.2.3 Procedimento de codificação

Os dados de cada uma das PAV tiveram de ser codificados para se ajustarem à estrutura da base de dados anteriormente descrita. Para esse efeito, foi definida codificação numérica para os dados relativos à colisão (ver Quadro 1 e Quadro 2) e às características dos ocupantes dos veículos acidentados (ver Quadro 3).

**Quadro 1 – Base de dados das PAV – dados relativos à colisão (1)**

Variável	Codificação	Definição
Código do acidente		
Data	AAAA-MM-DD	Data do acidente
Hora	hh:mm	Relógio de 24 horas Desconhecido=99:99
Tipo de estrada	1 Autoestrada 2 Itinerário Principal 3 Itinerário Secundário 4 Estrada Regional/Nacional 9 Outra 999 Informação não disponível	
Tipo de faixa de rodagem	1 Estrada de faixa de rodagem única 2 Estrada de dupla faixa de rodagem 999 Informação não disponível	Estrada de faixa de rodagem única: Sem separador central, com ou sem bermas. Estrada de dupla faixa de rodagem: Com separador central, 2 ou mais vias por sentido
Estado do pavimento	1 Seco 2 Molhado 3 Gelo 4 Neve 9 Outro 999 Informação não disponível	
Condições meteorológicas	1 Seco 2 Chuva 3 Granizo 4 Neve 5 Nevoeiro 9 Outras 999 Informação não disponível	Seco: inclui céu limpo ou com nuvens Nevoeiro: inclui fumo
Limite de velocidade	Escrito em números 999 Informação não disponível	Limite de velocidade máxima legal para a estrada em análise (km/h)
Luminosidade	1 Dia 2 Noite 3 Amanhecer ou Crepúsculo 4 Noite com luz artificial 999 Informação não disponível	Se a luz artificial estiver acesa quando está escuro, é codificado como um (4) caso contrário, é considerado noite (3)
Número de ocupantes do veículo	Escrito em números 999 Informação não disponível	Tratando-se de acidentes com um único veículo, corresponde ao número de ocupantes no veículo em análise
Tipo de acidente	1 Saída da faixa de rodagem pela berma direita 2 Saída da faixa de rodagem pela berma esquerda 3 Com capotamento 999 Informação não disponível	Para que lado saiu o veículo da estrada.  Em caso de tipos múltiplos codificar com numeração por ordem crescente. <b>Não usar</b> espaços ou quaisquer outros caracteres entre os números.  Exemplo: 13= Saída pela berma direita, Com capotamento

**Quadro 2 – Base de dados das PAV – dados relativos à colisão (2)**

Variável	Codificação	Definição
Alinhamento em planta	1 Alinhamento reto 2 Curva à direita 3 Curva à esquerda 999 Informação não disponível	
Obstáculo colidido	01 Barreira de segurança de tipo desconhecido 02 Barreira de segurança metálica 03 Barreira de segurança rígida 04 Barr. de seg. rígida pré-fabricada 05 Barreira de segurança em viaduto 06 Amortecedor de choque 07 Terminal 08 Pilar de obra-de-arte 09 Poste de iluminação 10 Poste de telefone 11 Valeta 12 Boca de aqueduto 13 Vedação 14 Suporte de sinalização 15 Grupo de árvores 16 Árvore isolada 17 Talude 18 Nenhum 19 Outro 999 Informação não disponível	Obstáculos em que o veículo embateu.  Em caso de várias colisões múltiplos codificar com numeração por ordem crescente. <b>Não usar</b> espaços ou quaisquer outros caracteres entre os números.  Exemplo: 0217= Colisão com barreira de segurança metálica seguida de colisão com talude.
Tipo de veículo	1 Veículo ligeiro de passageiros 2 Veículo ligeiro de mercadorias 3 Veículo pesado de mercadorias 4 Autocarro 5 Outro 999 Informação não disponível	
Localização da deformação no veículo	1 Frontal 2 Traseira 3 Lateral Esquerda 4 Lateral Direita 5 Topo 6 Debaixo 7 Nenhuma 8 Outra 999 Informação não disponível	Em caso de danos múltiplos codificar com numeração por ordem crescente. <b>Não usar</b> espaços ou quaisquer outros caracteres entre os números.  Exemplo: 134= Frontal, Esquerda e Direita

**Quadro 3** – Base de dados das PAV – dados relativos aos ocupantes do veículo acidentado

<b>Parâmetro</b>	<b>Codificação</b>	<b>Definição</b>
Código do acidente		
Classe do ocupante	1 Condutor 2 Passageiro 999 Informação não disponível	
Data de nascimento	AAAA-MM-DD 999 Informação não disponível	Data de nascimento do ocupante do veículo
Género	1 Homem 2 Mulher 999 Informação não disponível	
Álcool	1 Sim 2 Não 999 Informação não disponível	Valor apenas para o condutor
Taxa de alcoolemia		
Gravidade das lesões	1 Fatais 2 Graves 3 Ligeiras 4 Sem lesões 999 Informação não disponível	
Utilização do cinto de segurança	1 Sim 2 Não 999 Informação não disponível	Aplica-se também ao uso de capacete no caso dos motociclistas

#### 2.2.4 Trechos de estrada para o estudo piloto

No âmbito da tarefa WP2 [87], foram identificados os trechos da Rede Rodoviária Nacional (RRN) mais adequados para o estudo piloto previsto no WP3.

No Quadro 4 é apresentado o conjunto de trechos selecionados em estradas de faixa de rodagem única.



**Quadro 4** – Lista de trechos de estradas de faixa de rodagem única selecionados [87].

Estrada	km inicial	km final	Nó inicial	Nó final
IC1(EN5)	30.96	56.81	IC1(EN5)X IC1(EN10)	IC1 X EM5 VARIANTE DE ALCÁCER (NÓ NORTE)
EN3	27.24	35.68	EN3 X EM3 KM 27.200	EN3 NÓ COM A RUA Ó
ER361	36.93	74.83	EN114 X ER361 RIO MAIOR	EN3 X ER361
ER356	40.81	59.31	ER349 X ER356	ER356 ALDEIA DA SERRA ^ LD STM/LRA
IC10(EN114)	86.06	112.37	IC10 X EN114 ALMEIRIM	IC10(EN114) X EM114 KM 112.600
EN3	40.90	67.76	EN3 X EM3 (KM 40.860)	EN3 X ER361
ER247	51.11	71.95	SANTARÉM	EN3 X ER361
IC2(EN1)	127.29	151.48	EN116 X ER247 ERICEIRA	ER9 X ER247 LOUREL
IC2(EN1)	81.24	107.19	IC2(N1) X EN113	IC2(EN1) X IC8
EN242	34.07	51.84	IC2(EN1) X ER8-6	IC2(EN1) X EN8
IC1(EN109)	135.07	156.44	IC9(EN8-5) X EN242 NAZARÉ	EN8 X EN242 ALFEIZERÃO
			IC1(EN109) LD CBR/LRA	IC1(EN109) X ER349 VÁRZEAS

No que diz respeito às estradas de dupla faixa de rodagem, o Quadro 5 identifica o conjunto de trechos a analisar no âmbito do referido estudo piloto.

**Quadro 5** – Lista de trechos de estradas de dupla faixa de rodagem selecionados [87].

Estrada	km inicial	km final	Nó inicial	Nó final
IC19	3.210	10.360	IC19 X EN117 DAMAIA	IC19 X EN249-3 CACÉM
IP3	43.065	71.160	IP3 X IC2 X IC2(EN1) TROUXEMIL	IP3 LD CBR/VIS
IP1/A1	1.415	46.330	IP1/A1 - Nó de Sacavém	IP1/A1 X N366 - Nó de Aveiras
IP1/A1	46.512	114.276	IP1/A1 X N366 - Nó de Aveiras	IP1/A1 X N356 - Nó de Fátima
IP1/A1	114.650	153.557	IP1/A1 X N356 - Nó de Fátima	IP1/A1 - Nó de Pombal
IP1/A1	153.905	189.300	IP1/A1 - Nó de Pombal	IP1/A1 - Nó de Coimbra Sul
IP1/A1	209.395	275.000	IP1/A1 X N234 - Nó da Mealhada	IP1/A1 X N223 - Nó de Santa Maria da Feira
A5/IC16	5.524	7.700	A5/IC15 - Nó de Carnaxide	A5/IC15 X A5 X IC18 CREL - Nó do Estádio Nacional
A4/IP4	15.252	20.133	A4/IP4 X N15 X N209 - Nó de Valongo/Gondomar	A4/IP4 X N15 - Nó de Campo
A3/IP1	8.875	42.300	A3/IP1 X N107 X IC24- Nó de Ermesinde	A3/IP1 X A11/IP7 - Nó de Braga Sul/Celeirós
A2/IP7	6.850	104.351	A2/IP7- Nó de Almada	A2/IP1- Nó de Grândola Norte
A2/IP1	120.075	227.990	A2/IP1- Nó de Grândola Sul	A2/IP1- Nó de S.Bartolomeu de
A8/IC1	9.333	16.605	A8/IC1 X A9/IC18 - Nó de Loures CREL	A8/IC1 - Nó de Lousa/Montachique
IC1(A28)	305.36	308.68	IC1(A28) X IC23(A20) NÓ FRANCOS	IP4(A4) X IC1(A28) NÓ SENDIM
A28/IC1	317.11	351.99	A28/IC1 X A4/IP4 - Nó de Matosinhos/Sendim	A28/IC1 X A11/IC14 X EN13 - Nó da Apúlia/Barcelos (Nó 8)

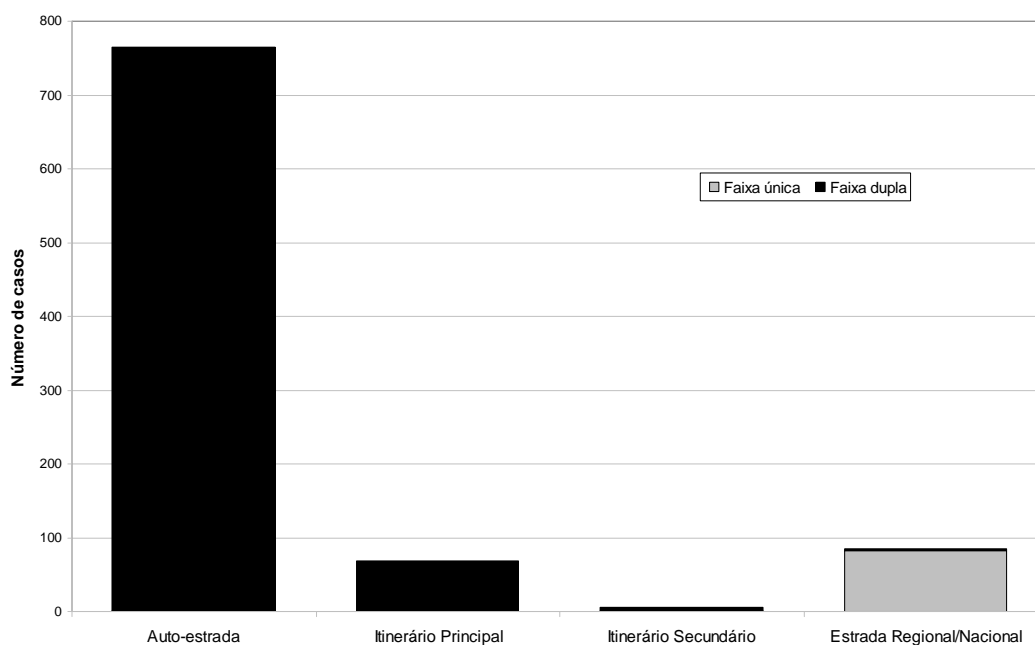
No total foi recolhida informação de 926 PAV referentes aos anos de 2009 (503) e 2010 (423).

## 2.3 Resultados

Conforme assinalado anteriormente, a base de dados é composta exclusivamente por acidentes com um único veículo. Assim, para cada um dos 926 casos, há um registo de veículo, o que significa também que há 926 registos de veículos na base de dados. No total foram registados 1434 ocupantes, 758 referentes a 2009 e 676 referentes a 2010.

No que diz respeito às restantes variáveis presentes na base de dados, o grau de plenitude da informação disponível não é o mesmo em todos os registos. Isto é, na maioria dos casos, o preenchimento das PAV é parcial, verificando-se a ausência de alguma informação relevante, quer nos dados relativos aos embates quer nos referentes aos ocupantes dos veículos acidentados. Assim, sempre que os dados apresentados são desagregados (nomeadamente, por tipo de faixa de rodagem) o total dos casos analisados pode não corresponder à soma das partes.

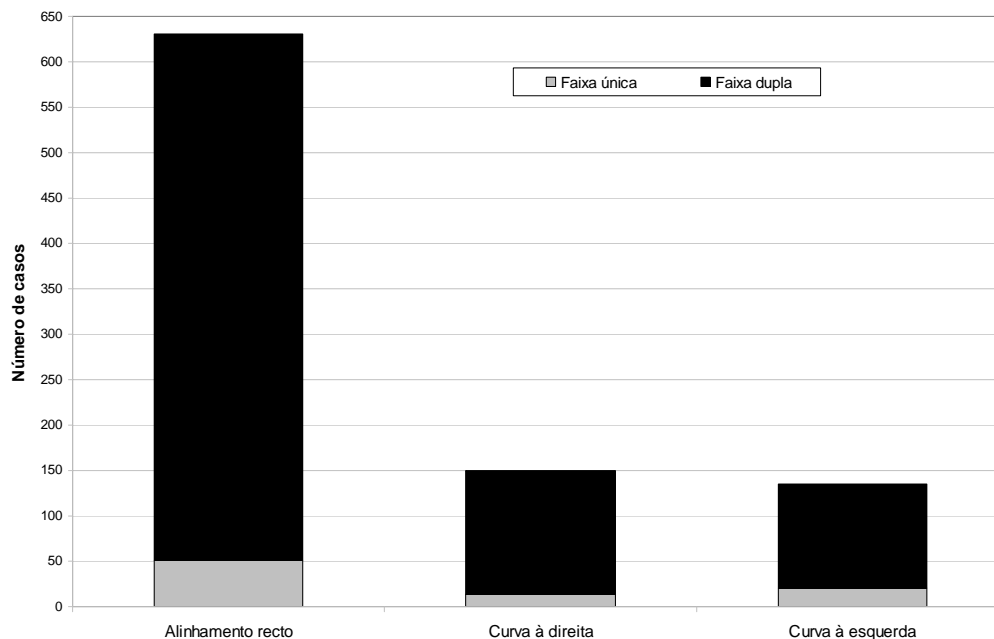
A maioria dos dados diz respeito a autoestradas, havendo contudo uma quantidade ainda significativa de dados referentes a Itinerários Principais e Estradas Regionais e Nacionais (ver Figura 5).



**Figura 5 – Distribuição dos acidentes por tipo de estrada.**

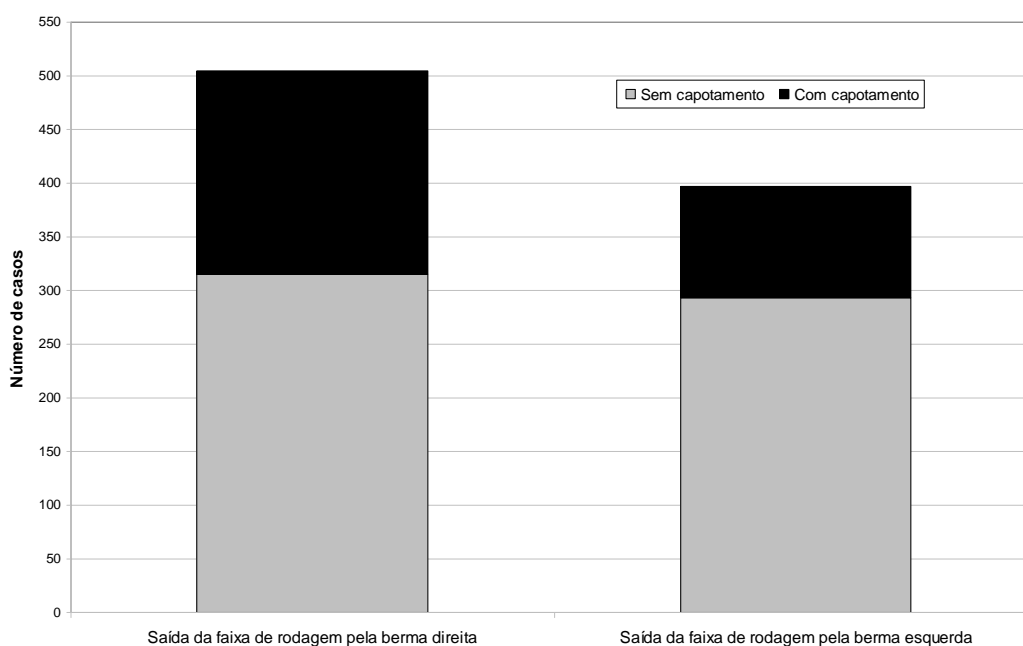
Das 926 PAV analisadas, apenas 86 dizem respeito a estradas de faixa de rodagem única (9%), havendo ainda 2 casos em que não foi possível apurar o tipo de faixa de rodagem.

Em termos de traçado, os acidentes ocorreram maioritariamente em alinhamento reto (69%) e em percentagens muito semelhantes para curvas à esquerda e à direita (15% e 16% respetivamente).



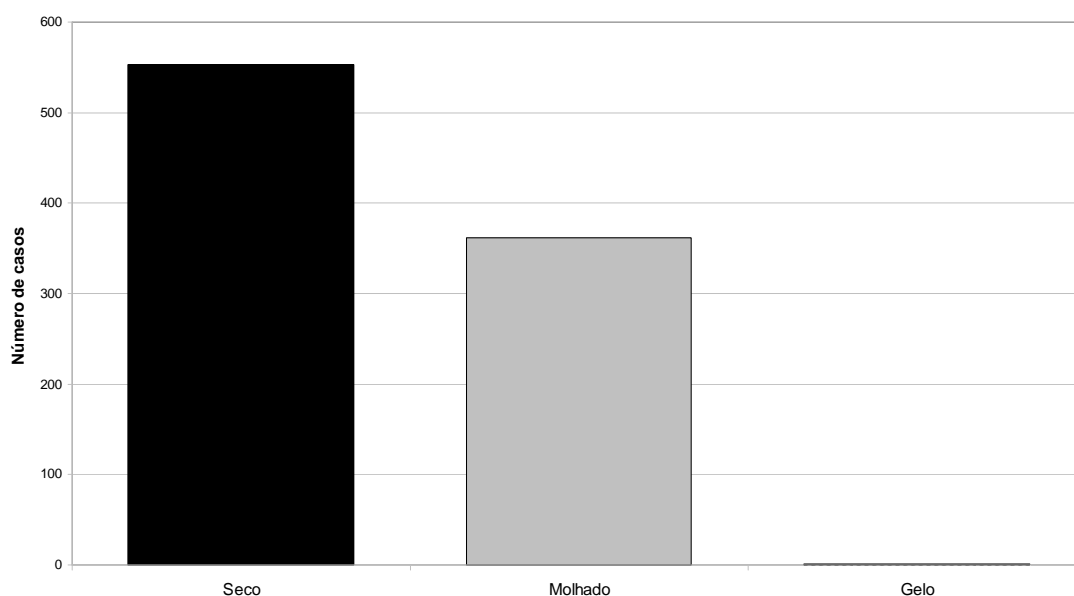
**Figura 6 – Alinhamento em planta.**

Relativamente ao tipo de acidente, verificou-se que na maioria dos casos (56%) a saída da faixa de rodagem é feita pela berma direita, ocorrendo o capotamento do veículo em 38% dos casos (ver Figura 7). Nos restantes casos a saída da faixa de rodagem é feita pela berma esquerda verificando-se, nestes casos, uma menor ocorrência de capotamentos (26%).

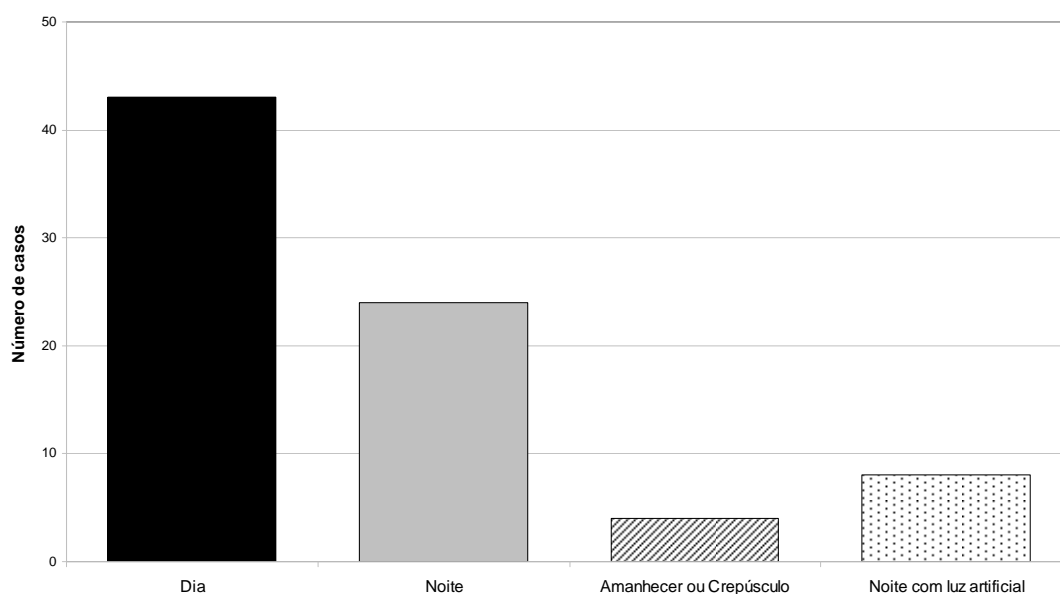


**Figura 7 – Tipo de acidente.**

A Figura 8 e a Figura 9 indicam que os acidentes ocorreram maioritariamente em estradas de piso seco e sob condições de luminosidade diurna. Estas características não são inesperadas, tendo em conta a relação dos fatores de exposição dos veículos a essas condições da estrada. No que diz respeito às condições de luminosidade, não foi preenchido o campo referente a esta variável em 91% das PAV analisadas, tendo as condições sido estimadas com base na hora de ocorrência do acidente. Refira-se ainda que na grande maioria dos casos em que se considerou o estado do pavimento como “seco”, a informação foi obtida a partir da descrição das condições meteorológicas (que tem um campo próprio na PAV, denominado “Estado do tempo”, ver Anexo I). Só em 16 PAV foi explicitamente afirmado que o pavimento se encontrava seco.



**Figura 8** – Estado do pavimento no local do acidente.



**Figura 9** – Condições de luminosidade no local do acidente.

Relativamente ao limite de velocidade existente no local onde ocorreram os acidentes, não foi possível recolher informação em 98% dos casos, pelo que a informação disponível não foi considerada relevante.

Na grande maioria dos casos, os veículos constantes da base de dados são automóveis ligeiros de passageiros, sendo relevante o facto do número de veículos pesados envolvidos em acidentes envolvendo a AAFR ser reduzido (ver Quadro 6).

**Quadro 6** – Tipo de veículos por tipo de faixa de rodagem.

Tipo	Tipo de faixa de rodagem		Total
	Faixa única	Dupla faixa	
Veículo ligeiro de passageiros	59	634	694 (75%)
Veículo ligeiro de mercadorias	19	152	172 (19%)
Veículo pesado de mercadorias	1	13	14 (2%)
Autocarro	0	2	2 (0%)
Outro	7	36	43 (5%)

No Quadro 7 apresenta-se informação referente ao número de ocupantes dos veículos. Verifica-se que mais de metade dos casos analisados são acidentes com um único veículo e um único ocupante. No entanto, esta informação não deverá corresponder em absoluto à realidade uma vez que das PAV só constam obrigatoriamente as vítimas, não sendo obrigatório o registo dos ocupantes sem ferimentos. Ainda no que diz respeito aos ocupantes dos veículos, a informação relativa à utilização do cinto de segurança revelou-

se insignificante, uma vez que só está expressamente disponível para 2 dos 1434 ocupantes registados.

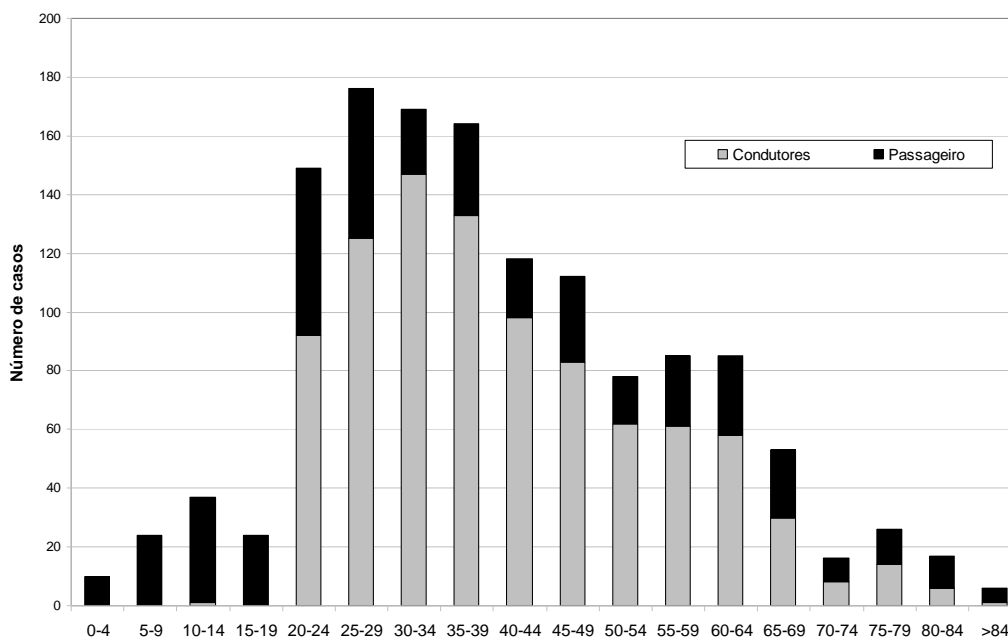
**Quadro 7** – Número de ocupantes dos veículos por tipo de faixa de rodagem.

Número	Tipo de faixa de rodagem		Total
	Faixa única	Dupla faixa	
1	59	509	570 (62%)
2	20	230	250 (27%)
3	5	67	72 (8%)
4	1	26	27 (3%)
5	1	4	5 (1%)
6	0	1	1 (0%)
7	0	1	1 (0%)

Verificou-se que a maioria dos condutores envolvidos neste tipo de acidente são condutores relativamente jovens (54% dos condutores com idade inferior a 40 anos) o que pode indiciar uma relação entre este tipo de acidente e alguma inexperiência por parte dos condutores. No entanto não foi registado qualquer acidente com condutores com idade inferior a 20 anos, o que contraria a hipótese anterior. Refira-se ainda que foi registado um acidente com um condutor de 14 anos, do sexo feminino, não sendo possível apurar se o registo se ficou a dever a algum erro na recolha dos dados ou se os mesmos correspondem efetivamente à idade do condutor.

Nos passageiros, verifica-se uma maior incidência nos indivíduos mais novos (14% com idades inferiores a 15 anos) quando comparados com os mais velhos (apenas 6% com idade superior a 74 anos). Simultaneamente, 40% dos passageiros envolvidos neste tipo de acidente têm menos de 30 anos.

Em termos globais, a classe mais representada foi a dos ocupantes com idades compreendidas entre os 25 e os 29 anos.



**Figura 10** – Classe e idade dos ocupantes dos veículos.

Relativamente à gravidade das lesões nos ocupantes dos veículos acidentados, o seu registo padece de três limitações. Por um lado, está enviesado para os acidentes com vítimas, uma vez que muitos acidentes sem danos corporais ocorridos neste período não estão contidos na base de dados, visto não terem sido sequer registados (ver 3.5.8). Por outro, a informação recolhida nas PAV não permite distinguir a gravidade dos ferimentos. Recorde-se que, por definição, um ferido grave é uma vítima de acidente cujos danos corporais obriguem a um período de hospitalização superior a 24 horas. Em rigor, para se poderem contabilizar os feridos graves é necessário ter informação acerca do período de hospitalização das vítimas, algo que nem sempre acontece aquando do preenchimento das PAV. Por último, na maioria dos casos, os passageiros apenas são registados quando ocorrem ferimentos ou óbitos. No Quadro 8 apresentam-se os resultados obtidos para o número de vítimas por tipo de faixa de rodagem e para o total dos dados.

**Quadro 8** – Número de vítimas por nível de gravidade das lesões por tipo de faixa de rodagem.

Gravidade	Tipo de faixa de rodagem		Total
	Faixa única	Dupla faixa	
Fatais	0	12	12 (1%)
Graves	8	96	104 (7%)
Ligeiras	101	1054	1157 (81%)
Sem lesões*	14	146	160 (11%)
Informação não disponível	0	1	1 (0%)

\*recolha não exaustiva

No Quadro 9 resume-se a informação acerca das colisões registadas com 1293 obstáculos nos 926 casos da base de dados. Estes obstáculos incluem os sistemas de retenção de rodoviários de veículos, nomeadamente barreiras de segurança. Em muitos casos ocorreram colisões com diversos obstáculos, pelo que o Quadro 9 indica, para cada obstáculo embatido na AAFR, quantos choques foram contabilizados e a ordem pela qual os obstáculos foram embatidos. A última coluna representa a percentagem de choques registados para cada obstáculo.

O primeiro facto a destacar é o de as barreiras de segurança representarem cerca de 43% do total de obstáculos colididos, não sendo este facto totalmente surpreendente uma vez que, na maioria dos casos, os acidentes ocorreram em autoestradas, onde é predominante a utilização deste sistema de retenção para proteger os veículos de obstáculos mais perigosos. Por outro lado, verifica-se que os taludes e valetas são obstáculos perigosos envolvidos em aproximadamente 18% dos impactos.

**Quadro 9 – Obstáculos colididos por ordem de embate.**

Obstáculo	Ordem de embate				Total	%
	1º	2º	3º	4º		
Barreira de segurança de tipo desconhecido	30	2	0	0	32	2.5
Barreira de segurança metálica	287	36	0	1	324	25.1
Barreira de segurança rígida	185	14	0	0	199	15.4
Barreira de segurança em viaduto	3	4	0	0	7	0.5
Amortecedor de choque	1	1	0	0	2	0.2
Terminal	0	3	0	0	3	0.2
Pilar de obra-de-arte	1	2	3	0	6	0.5
Poste de iluminação	5	3	1	0	9	0.7
Poste de telefone	0	1	4	0	5	0.4
Valeta	27	22	7	3	59	4.6
Boca de aqueduto	1	0	0	0	1	0.1
Vedação	31	36	2	3	72	5.6
Suporte de sinalização	3	5	5	0	13	1.0
Grupo de árvores	3	5	1	0	9	0.7
Árvore isolada	15	1	0	0	16	1.2
Talude	105	50	10	2	167	12.9
Nenhum	22	0	0	0	22	1.7
Outro	83	141	31	8	263	20.3
Informação não disponível	84	0	0	0	84	6.5
<b>Total</b>	<b>886</b>	<b>326</b>	<b>64</b>	<b>17</b>	<b>1293</b>	<b>100.0</b>

Interessa porém desagregar esta informação uma vez que se verificam grandes diferenças nos resultados obtidos consoante o tipo de faixa de rodagem (ver Quadro 10). Assim, no caso de estradas de faixa de rodagem única, verifica-se uma significativa diferença na



relevância das barreiras de segurança (envolvidas em apenas 10% dos acidentes) mas também de outros obstáculos frequentemente referidos como particularmente relevantes neste tipo de acidente. As árvores, isoladamente ou em grupo, representam aqui 16% do total de obstáculos colididos sendo igualmente de destacar as vedações (15%) e os taludes e valetas (14%) como obstáculos particularmente importantes em estradas de faixa de rodagem única. É ainda de assinalar o facto de em aproximadamente 1/5 das observações não ter sido identificado o obstáculo colidido.

**Quadro 10 – Obstáculos colididos por tipo de faixa de rodagem.**

<b>Obstáculo</b>	<b>Faixa única</b>	<b>%</b>	<b>Dupla faixa</b>	<b>%</b>	<b>Total</b>	<b>%</b>
Barreira de segurança de tipo desconhecido	3	3.0	29	2.4	32	2.5
Barreira de segurança metálica	5	5.0	319	26.8	324	25.1
Barreira de segurança rígida	1	1.0	196	16.5	199	15.4
Barreira de segurança em viaduto	1	1.0	6	0.5	7	0.5
Amortecedor de choque	0	0.0	2	0.2	2	0.2
Terminal	0	0.0	3	0.3	3	0.2
Pilar de obra-de-arte	1	1.0	5	0.4	6	0.5
Poste de iluminação	6	6.0	3	0.3	9	0.7
Poste de telefone	1	1.0	4	0.3	5	0.4
Valeta	6	6.0	53	4.5	59	4.6
Boca de aqueduto	1	1.0	0	0.0	1	0.1
Vedação	15	15.0	57	4.8	72	5.6
Suporte de sinalização	3	3.0	10	0.8	13	1.0
Grupo de árvores	4	4.0	5	0.4	9	0.7
Árvore isolada	12	12.0	4	0.3	16	1.2
Talude	8	8.0	159	13.4	167	12.9
Nenhum	19	19.0	3	0.3	22	1.7
Outro	11	11.0	252	21.2	263	20.3
Informação não disponível	3	3.0	81	6.8	84	6.5
<b>Total</b>	<b>100</b>	<b>100.0</b>	<b>1191</b>	<b>100.0</b>	<b>1293</b>	<b>100.0</b>

No Quadro 11 estabelecem-se relações entre o primeiro obstáculo colidido e a gravidade das lesões no total de ocupantes dos veículos envolvidos em acidentes por saída da faixa de rodagem.

**Quadro 11 – Primeiro obstáculo colidido por gravidade das lesões.**

Obstáculo	Gravidade das lesões				Total	%
	Fatais	Graves	Ligeiras	Sem lesões		
Barreira de segurança de tipo desconhecido	1	3	33	4	41	3.0%
Barreira de segurança metálica	5	31	355	58	449	32.7%
Barreira de segurança rígida	0	15	217	41	273	19.9%
Barreira de segurança em viaduto	0	3	1	0	4	0.3%
Amortecedor de choque	0	0	1	0	1	0.1%
Terminal	0	0	0	0	0	0.0%
Pilar de obra-de-arte	0	1	1	0	2	0.1%
Poste de iluminação	0	0	5	1	6	0.4%
Poste de telefone	0	0	0	0	0	0.0%
Valeta	0	0	35	5	40	2.9%
Boca de aqueduto	0	0	2	0	2	0.1%
Vedação	0	3	40	2	45	3.3%
Suporte de sinalização	0	0	6	1	7	0.5%
Grupo de árvores	0	1	3	0	4	0.3%
Árvore isolada	0	2	15	2	19	1.4%
Talude	6	13	147	14	180	13.1%
Nenhum	0	1	28	5	34	2.5%
Outro	0	16	115	12	143	10.4%
Informação não disponível	0	14	98	12	124	9.0%
<b>Total</b>	<b>12</b>	<b>103</b>	<b>1102</b>	<b>157</b>	<b>1374</b>	<b>100.0%</b>

No Quadro 12 apresenta-se o número de vítimas (mortos, feridos graves e feridos ligeiros) por tipo de obstáculo primeiramente colidido e por tipo de faixa de rodagem. Tal como acontece no Quadro 10, também aqui são evidentes as diferenças entre padrões de embate em obstáculos na AAFR consoante o tipo de faixa de rodagem.

**Quadro 12 – Número de vítimas por tipo de obstáculo colidido em acidentes.**

Obstáculo	Faixa única		Dupla faixa		Total	
		%		%		%
Barreira de segurança de tipo desconhecido	3	2.8	34	3.1	37	3.0
Barreira de segurança metálica	7	6.5	384	34.7	391	32.1
Barreira de segurança rígida	1	0.9	229	20.7	232	19.1
Barreira de segurança em viaduto	2	1.9	2	0.2	4	0.3
Amortecedor de choque	0	0.0	1	0.1	1	0.1
Terminal	0	0.0	0	0.0	0	0.0
Pilar de obra-de-arte	0	0.0	2	0.2	2	0.2
Poste de iluminação	4	3.7	1	0.1	5	0.4
Poste de telefone	0	0.0	0	0.0	0	0.0
Valeta	6	5.6	29	2.6	35	2.9
Boca de aqueduto	2	1.9	0	0.0	2	0.2
Vedação	17	15.7	26	2.3	43	3.5
Suporte de sinalização	5	4.6	1	0.1	6	0.5
Grupo de árvores	2	1.9	2	0.2	4	0.3
Árvore isolada	13	12.0	4	0.4	17	1.4
Talude	6	5.6	160	14.5	166	13.6
Nenhum	26	24.1	3	0.3	29	2.4
Outro	11	10.2	120	10.8	131	10.8
Informação não disponível	3	2.8	109	9.8	112	9.2
<b>Total</b>	<b>108</b>	<b>100.0</b>	<b>1107</b>	<b>100.0</b>	<b>1217</b>	<b>100.0</b>

Face à diversidade das características dos despistes nas estradas de faixa de rodagem única e nas de dupla faixa de rodagem, e tendo em conta as diferenças existentes em termos das características técnicas e operacionais das mesmas, justifica-se a consideração de dois cenários tipo, em função do tipo de faixa de rodagem: estradas de faixa de rodagem única e estradas de dupla faixa de rodagem. No desenvolvimento dos modelos estatísticos de estimativa de frequência de acidentes serão considerados especificamente estes dois tipos de cenário.

### 3 MODELAÇÃO DE ACIDENTES POR SAÍDA DA FAIXA DE RODAGEM

#### 3.1 Generalidades

São vários os fatores que podem contribuir para a ocorrência de acidentes, podendo os mesmos ser agrupados em seis classes ([11], [73]) :

- Fatores autónomos: variáveis independentes dos sistemas sociais e que dificilmente podem ser influenciadas no curto prazo por decisões governamentais, tais como as condições atmosféricas, o estado de desenvolvimento tecnológico, o preço do petróleo e o número de habitantes.
- Condições socioeconómicas gerais: variáveis suscetíveis de intervenção governamental, embora o propósito destas raramente seja a promoção da segurança rodoviária, como por exemplo o desenvolvimento industrial, o rendimento disponível, a inflação e o desemprego.
- Políticas de transportes – variáveis com impacto direto na sinistralidade, na medida em que influenciam a exposição ao risco, mas que não podem ser consideradas como parte integrante de políticas de segurança rodoviária. É o caso das taxas de motorização, das tarifas e níveis de serviço dos transportes públicos, da procura de transporte, da escolha modal em deslocações e dos impostos sobre os combustíveis e os veículos.
- Sistema de recolha de dados sobre acidentes: os procedimentos e as rotinas utilizadas para registo de informação sobre os acidentes podem afetar a sua qualidade, designadamente ao nível da taxa de cobertura.
- Erro aleatório: a aleatoriedade do fenómeno produz variação inexplicável por fatores sistemáticos, a qual é relevante sobretudo nas situações de pequenos números; nos casos de grandes números o efeito é quase anulado e os fatores sistemáticos prevalecem.
- Intervenções corretivas: sendo o seu propósito a redução de acidentes, ou da gravidade dos mesmos, é uma variável que influencia o número observado dos mesmos.

Para considerar os efeitos das quatro primeiras classes de fatores e para explicar o efeito dos fatores sistemáticos é possível desenvolver modelos econométricos<sup>1</sup> [73]. Estes modelos estatísticos, originalmente desenvolvidos para avaliar relações económicas complexas são, igualmente, bastante adequados à análise de acidentes rodoviários. Frequentemente, é possível estimar o efeito de políticas de intervenção corretiva com base nestes modelos, os quais podem ser vistos como um substituto para experiências controladas, que são muito difíceis, ou até mesmo impossíveis, de realizar.

São diversos os estudos estatísticos de natureza observacional cujo objetivo principal consiste no estudo da relação entre variáveis ou, mais particularmente, a análise da influência que uma ou mais variáveis (explicativas), medidas em indivíduos ou objetos, têm sobre uma variável de interesse, designada variável resposta.

No caso particular da segurança rodoviária, a modelação da sinistralidade é desenvolvida com o propósito de permitir efetuar uma estimativa realista da frequência esperada de acidentes ou de vítimas, em função de um conjunto de variáveis explicativas (referentes ao tráfego e às características da estrada e da sua AAFR) num determinado trecho.

Com a investigação que tem vindo a ser desenvolvida em matéria de modelação de frequência de acidentes nas últimas décadas, tem-se procurado compreender melhor os fatores que afetam a probabilidade de ocorrência de acidentes, com o intuito de melhor prever os níveis de segurança e de fornecer orientações para as políticas e medidas destinadas a reduzir o número e gravidade dos acidentes.

Contudo, a ausência de dados detalhados relativos à tarefa de condução (nomeadamente, informação relativa a aceleração, travagem e mudança de direção, ou à resposta do condutor a estímulos), bem como sobre o acidente (que poderiam estar disponíveis, por exemplo, a partir dos sensores já existentes nos veículos), impedem ou dificultam seriamente a identificação e caracterização completa das cadeias de acontecimentos que precederam os acidentes, impedindo a identificação exaustiva de relações causa-efeito.

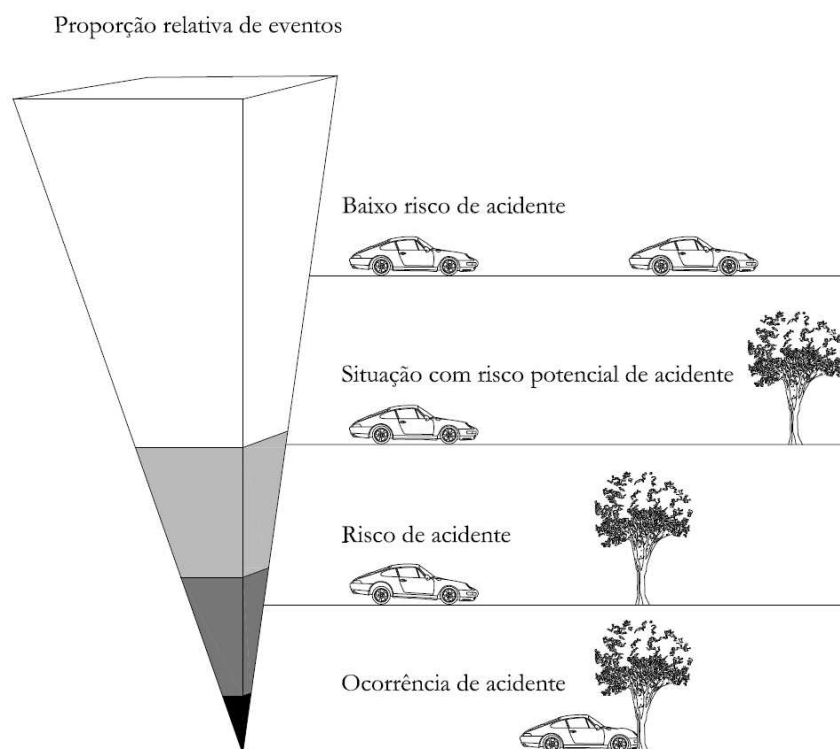
---

<sup>1</sup> O estudo econométrico de um fenómeno compreende a descrição de uma teoria como pré-requisito à formalização matemática de um modelo ajustado aos dados empíricos existentes acerca do fenómeno [11]. Através da econometria é possível validar uma explicação quantitativa do fenómeno através do cálculo dos parâmetros de ajuste das equações teóricas aos dados empíricos.

Assim, as abordagens analíticas têm vindo a ser orientadas para o estudo dos fatores que afetam o número de acidentes que ocorrem num espaço geográfico (geralmente um determinado tipo de trecho de estrada ou um cruzamento) durante um período de tempo padrão (semana, mês, ano, número de anos) [48].

Importa, desde logo, definir os acidentes como eventos raros e aleatórios [48]. Neste contexto, entende-se por evento as situações de interação de cada condutor com os outros utentes ou com a estrada na rede de transportes. Os acidentes são raros porque representam uma pequena percentagem do número total de eventos que ocorrem no sistema de transportes. São também aleatórios, visto ocorrerem como função de um conjunto complexo de fatores influenciado por diversos aspetos, alguns determinísticos (ou seja, que podem ser controlados) e, outros estocásticos (ou seja, aleatórios e imprevisíveis).

Na Figura 11 está representado um conjunto continuado de eventos que podem levar a acidentes e indicada a proporção, em termos conceptuais, de acidentes relativamente aos restantes eventos na rede de transportes.



**Figura 11** – Acidentes enquanto eventos raros e aleatórios (baseado em [48])

Para a grande maioria das situações do sistema de transportes, é baixo o risco de acidente (ou seja, a probabilidade de ocorrer um acidente é muito baixa face à totalidade dos eventos na rede de transportes).

Num número menor de eventos, o risco potencial de um acidente poder vir a ocorrer é maior, como acontece quando um peão atravessa uma estrada ou quando um objeto inesperado é observado na faixa de rodagem. Na maioria dos casos, o potencial acidente é evitado pela ação do condutor (através, por exemplo, da desaceleração do veículo ou da mudança de via). Para um conjunto ainda menor de eventos, de conflito grave, o risco de acidente é ainda maior. Por exemplo, quando ocorre uma saída descontrolada da faixa de rodagem. No entanto, em vários desses casos o acidente poderá ainda ser evitado, por exemplo, através de uma travagem de emergência. Finalmente, em muito poucos eventos ocorre o acidente. No caso do exemplo anterior, se o condutor não tiver sido capaz de travar a tempo de evitar a colisão com um obstáculo na AAFR.

As circunstâncias que levaram a que ocorresse um acidente em determinado evento não conduzem necessariamente a acidente noutro evento similar. Daí ser possível afirmar que os acidentes são aleatórios.

Para Cardoso [11], a frequência esperada de acidentes de um elemento rodoviário pode definir-se, como o número médio de acidentes associado a esse elemento, se o período de observação abranger um número de intervalos de tempo suficientemente grande.

Tal abordagem lida com os elementos espaciais e temporais associados às colisões, e assegura que os dados necessários para a estimativa dos modelos estatísticos (em termos de variáveis explicativas mensuráveis) estão disponíveis. Daqui resultam dados de frequência de acidentes que são inteiros não negativos, adequados à aplicação de métodos de regressão de dados de contagem ou a outras metodologias que possam ser adaptadas adequadamente à natureza dos dados.

Neste contexto e ao longo dos últimos 50 anos, têm vindo a ser seguidas fundamentalmente duas vias para modelar a relação entre as características da estrada e da sua AAFR e a sinistralidade rodoviária: o uso de modelos probabilísticos de incursão

na AAFR e, em alternativa, o uso de Modelos Lineares Generalizados (MLG) para estimar a frequência esperada de acidentes ou de vítimas com despiste [75].

Os modelos probabilísticos de incursão na AAFR utilizam um conjunto de probabilidades condicionadas referentes às sequências de acontecimentos da qual resultam acidentes após incursão na AAFR de um veículo descontrolado ([66] e [67]). O principal obstáculo ao desenvolvimento deste tipo de modelos prende-se com a escassez de dados relativos à frequência de incursão na AAFR [75].

A segunda abordagem do problema consiste no desenvolvimento de um modelo de regressão estatística que relacione a frequência esperada de acidentes ou de vítimas em despiste com variáveis explicativas, que incluem a exposição e as características da estrada e da sua AAFR.

Sendo os acidentes eventos raros, discretos, e não negativos [112], é inadequada a regressão linear convencional na modelação deste tipo de eventos. Neste contexto, os MLG constituem a metodologia mais comum na modelação da sinistralidade rodoviária.

### **3.2 Modelos probabilísticos de incursão na AAFR**

Os modelos baseados na probabilidade de incursão na AAFR têm como condição base a assunção de que a frequência de acidentes é proporcional à frequência de incursão na AAFR, a qual é função do tipo, ou classe, de estrada e do tráfego médio diário ([66] e [67]).

Tal como referido anteriormente a escassez de dados relativos à frequência de incursão na AAFR é uma das principais dificuldades para o desenvolvimento deste tipo de modelos. No presente estudo, em que não se previu a recolha deste tipo de dados, a sua ausência impede a adaptação de modelos probabilísticos de incursão na AAFR à realidade nacional. Contudo, justifica-se a sua descrição pormenorizada dada a sua importância para a compreensão dos acidentes por saída da faixa de rodagem.

Para Mak *et al.* [67], nestes modelos assume-se, num primeiro passo, que as incursões ocorrem de forma aleatória e uniforme ao longo de qualquer trecho (desde que em



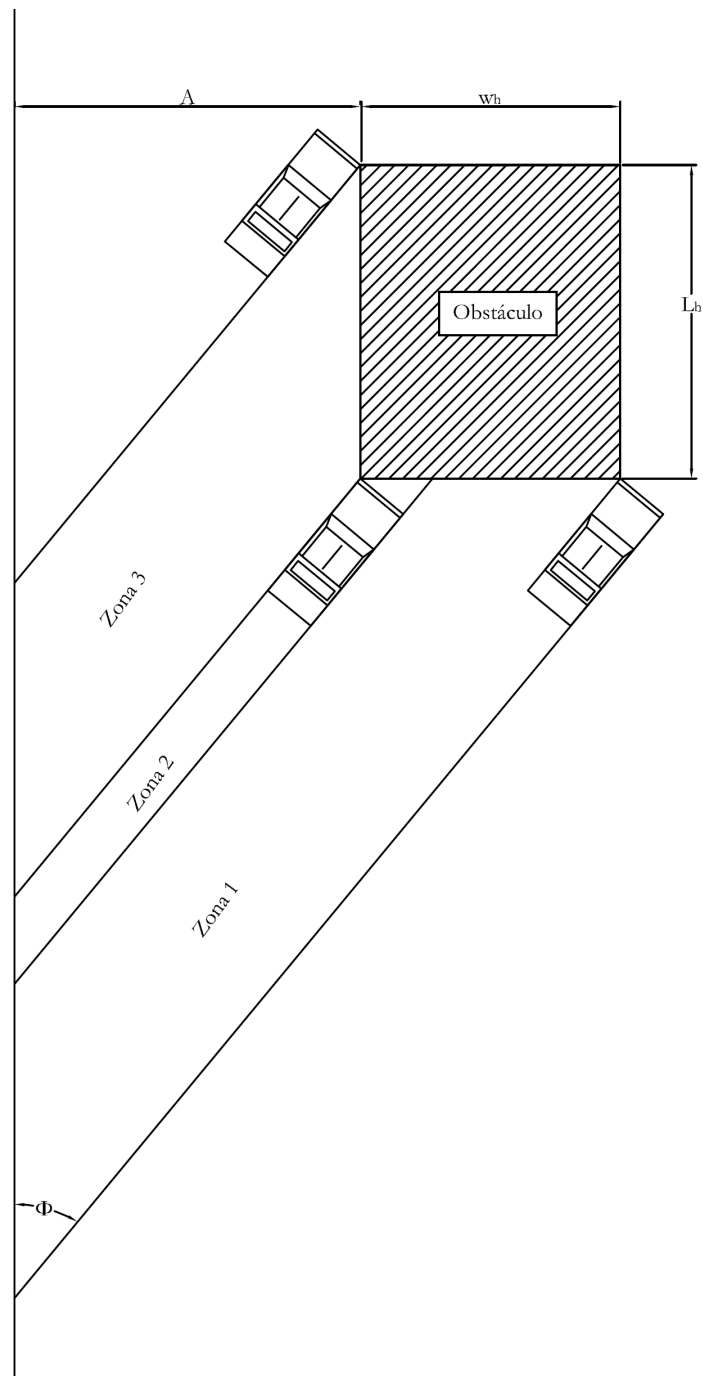
alinhamento reto e terreno plano). Ou seja, um veículo tem a mesma probabilidade de incursão em qualquer secção de uma estrada plana e em alinhamento reto.

Assim, o primeiro passo de um modelo baseado na probabilidade de incursão consiste na determinação de uma base – ou média – para a frequência de incursão, para o tipo de estrada e tráfego médio diário considerados.

As estatísticas de acidentes têm evidenciado que a frequência de acidentes é mais elevada em determinados locais, como é o caso, por exemplo, de trainéis em declive ou curvas em planta. Desta forma, é expectável que a probabilidade de incursão nestas zonas seja maior, pelo que a frequência base de incursão deve ser, posteriormente, ajustada face aos parâmetros que possam influenciar a taxa de incursão.

O segundo passo fundamental destes modelos envolve a determinação da relação entre a frequência de incursão e a frequência de acidente [67]. Esta relação é estabelecida determinando a região ao longo da faixa de rodagem a partir da qual um veículo descontrolado poderá atingir o elemento da AAFR em análise, designada como “área de influência do obstáculo” (*hazard envelope*).

A “área de influência do obstáculo” é definida assumindo que o veículo se desloca em linha reta e com um determinado ângulo de saída ao longo da incursão pela AAFR (ver Figura 12). Considera-se uma trajetória retilínea, por um lado, por falta de informação pormenorizada acerca do comportamento de condutor e veículo após a entrada na AAFR e, por outro, pela complexidade da modelação de uma trajetória curvilínea desse mesmo veículo [67].

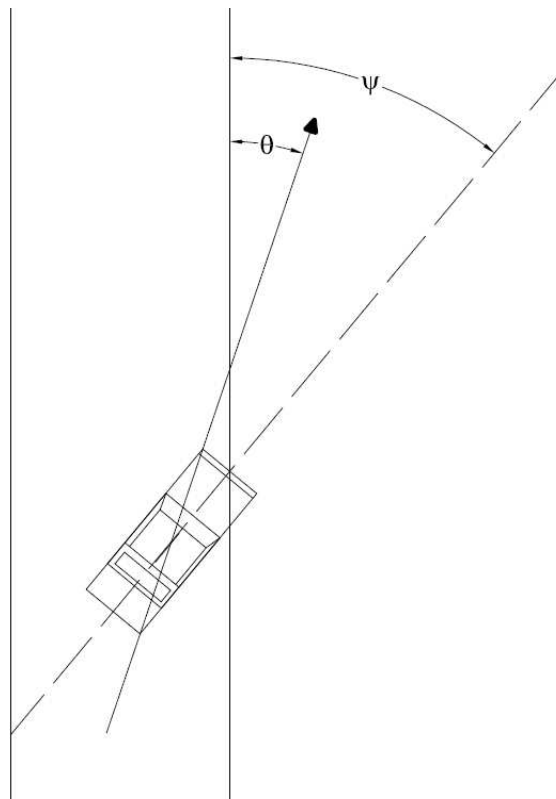


**Figura 12** – Área de influência do obstáculo (adaptado de [67])

A área de influência do obstáculo depende da largura e orientação do veículo, do tamanho e afastamento lateral do obstáculo e do ângulo de incursão. Para um determinado veículo de tamanho<sup>2</sup>  $m$ , velocidade de incursão  $v$ , ângulo de incursão  $\theta$  e ângulo de orientação do veículo  $\psi$ , o veículo atingirá o obstáculo se sair da estrada dentro da área de influência do obstáculo e não parar antes de o alcançar.

<sup>2</sup> O tamanho corresponde à projeção do veículo num plano perpendicular à sua trajetória.

Um pressuposto de base importante da análise desenvolvida é o de que o veículo vira devido a um movimento executado pelo condutor no volante, curvando de forma estável e sem derrapar [67]. Na realidade muitos despiques são motivados por manobras de viragem bruscas que resultam na guinada do veículo em torno do eixo vertical, levando a que aquele saia da estrada em deslizamento. Este comportamento é ilustrado pela Figura 13, onde o centro de massa do veículo se move com uma trajetória que faz um ângulo  $\theta$  com o limite da faixa de rodagem, enquanto a orientação do veículo é definida por um ângulo  $\psi$ . No caso de o veículo não sofrer qualquer deslizamento lateral ou rotação na saída, os ângulos  $\theta$  e  $\psi$  são idênticos. Quando  $\theta$  e  $\psi$  são diferentes o tamanho  $w$  do veículo é maior do que a sua largura, uma vez que a sua projeção sobre o plano perpendicular à trajetória inclui parcelas provenientes da largura e do comprimento da viatura.



**Figura 13** – Definição do ângulo de incursão ( $\theta$ ) e de orientação do veículo ( $\psi$ )  
(adaptado de [84]).

A probabilidade,  $P(H_{v\psi}^{w\theta} | E_{v\psi}^{w\theta})$ , de um veículo descontrolado se encontrar na área do obstáculo ( $H_{v\psi}^{w\theta}$ ), sabendo que o veículo tem o tamanho  $w$  e invade a AAFR com uma velocidade  $v$ , ângulo  $\theta$  e ângulo de orientação  $\psi$  ( $E_{v\psi}^{w\theta}$ ) é dada pela seguinte equação [67]:

$$P(H_{v\psi}^{w\theta} | E_{v\psi}^{w\theta}) = (1/5280) \times [L_h + (W_e / \text{sen } \theta) + W_h \cot \theta] \quad (3-1)^3$$

em que  $L_h$  é o comprimento do obstáculo segundo o eixo da estrada (em metros),  $W_h$  é a largura do obstáculo (em metros),  $W_e$  é o tamanho efetivo do veículo (em metros, equivalente a  $L_v \text{sen } \psi + W_v \cos \psi$ ),  $L_v$  é o comprimento do veículo (em metros) e  $W_v$  é a largura do veículo (em metros).

A probabilidade de colisão é calculada, através da probabilidade de um veículo descontrolado atravessar a AAFR o suficiente para atingir o obstáculo em questão. Uma vez que o afastamento lateral ao obstáculo é função do ponto de colisão com o mesmo (ver Figura 12), a equação tem que considerar as diferentes probabilidades de atingir diferentes afastamentos laterais. Assim, a probabilidade,  $P(C_{v\psi}^{w\theta} | E_{v\psi}^{w\theta})$ , de um veículo – de tamanho  $w$ , velocidade de incursão  $v$ , ângulo de incursão  $\theta$  e ângulo de orientação  $\psi$  – estar na área do obstáculo e atravessar a AAFR o suficiente para atingir esse mesmo obstáculo é dada pela Equação (3-2) [67]:

$$P(C_{v\psi}^{w\theta} | E_{v\psi}^{w\theta}) = (1/5280) \times [L_h \times P(L_e \geq A) + \sec \theta \times \text{arccosec } \theta \sum_{j=1}^{w_e \cos \theta} w_e \times P(L_e \geq B) + \cot \theta \times \sum_{j=1}^{w_h} w_e \times P(L_e \geq C) ] \quad (3-2)$$

Cujas variáveis são apresentadas na Figura 12 e onde:

B = afastamento lateral da aresta a montante (*upstream corner*) do obstáculo (zona 2)

$$= (A + j - 2) \text{ onde } j \text{ varia entre } 1 \text{ e } W_e \cos \theta$$

C = afastamento lateral do final, ou da largura, do obstáculo (zona 1)

$$= (A + W_e \cos \theta + j - 2) \text{ onde } j \text{ varia entre } 1 \text{ e } W_h$$

---

<sup>3</sup> Nota: 1 milha = 5280 pés, a multiplicação corresponde à passagem de pés para milhas

A probabilidade de impacto com um obstáculo,  $P(C|E)$ , dada uma determinada taxa de incursões por quilómetro de estrada é, assim, a probabilidade de incursão para um determinado veículo de tamanho  $w$ , velocidade de incursão  $v$ , ângulo de incursão  $\theta$  e ângulo de orientação  $\psi$ ,  $P(E_{v\psi}^{w\theta}|E)$ , multiplicada pela probabilidade de colisão,  $P(C_{v\psi}^{w\theta}|E_{v\psi}^{w\theta})$ , para todas as possíveis dimensões de veículo ( $w$ ), velocidades de incursão ( $v$ ), ângulos de incursão ( $\theta$ ) e ângulos de orientação ( $\psi$ ) (ver Equação (3-3)) [67]:

$$P(C|E) = \sum_w \sum_v \sum_\theta \sum_\psi P(E_{v\psi}^{w\theta}|E) \times P(C_{v\psi}^{w\theta}|E_{v\psi}^{w\theta}) \quad (3-3)$$

em que  $P(C|E)$  é a probabilidade de impacto com um obstáculo, dada uma determinada incursão,  $P(E_{v\psi}^{w\theta}|E)$  é a probabilidade de incursão para um determinado veículo de tamanho  $w$ , velocidade de incursão  $v$ , ângulo de incursão  $\theta$  e ângulo de orientação  $\psi$  e  $P(C_{v\psi}^{w\theta}|E_{v\psi}^{w\theta})$  é a probabilidade de colisão, para um determinado veículo de tamanho  $w$ , velocidade de incursão  $v$ , ângulo de incursão  $\theta$  e ângulo de orientação  $\psi$ .

O terceiro, e último, passo destes modelos corresponde à estimação da gravidade do acidente. Esta é feita por determinação da probabilidade de cada nível de lesão (desde danos materiais até às lesões fatais) para cada tipo de impacto e condições iniciais (ou seja, tipo de veículo, velocidade, ângulo, etc.) [67]. O método de estimação da gravidade do acidente varia de modelo para modelo.

### 3.2.1 Dados obtidos por observação de incursões na AAFR

Conhecem-se três estudos realizados com o objetivo de caracterizar dinamicamente as incursões na AAFR, tendo por base dados obtidos diretamente pela observação de incursões na mesma: Hutchinson e Kennedy [50], Cooper (citado em [18], [23], [63], [67], [69], [98], [99] e [113]) e Calcote *et al.* (citado em [63], [67], [98] e [99]). Todos estes estudos foram desenvolvidos na América do Norte.

O estudo de Hutchinson e Kennedy [50] envolveu a observação dos trilhos deixados pelas rodas de veículos nos separadores centrais (cobertos, em cerca de 20% dos casos, de neve) de 3 autoestradas interestaduais (inauguradas à data de realização do estudo), cujo limite de velocidade era de 70 milhas/hora (cerca de 112 km/h). Este estudo

envolveu um conjunto de 485 observações, entre Julho de 1960 e Abril de 1964, no Estado do Illinois.

Cooper (citado em [18], [23], [63], [67], [69], [98], [99] e [113]) realizou um estudo semelhante no Canadá no final da década de 1970. Este estudo contou com observações semanais dos trilhos de rodas na AAFR coberta por relva de estradas rurais de diferentes classes funcionais. Foram observados cerca de 1 900 trilhos ao longo da AAFR de 4 560 km de estrada. Os períodos de recolha de dados ocorreram fundamentalmente durante os meses de verão (Julho a Outubro de 1978) em estradas com limites de velocidade entre 80 e 100 km/h.

São escassos os estudos de sinistralidade envolvendo a AAFR desenvolvidos posteriormente à década de 1970 nos Estados Unidos da América (EUA), sendo, no entanto, de referir que está em curso a revisão do *Roadside Safety Analysis Program*<sup>4</sup>(RSAP) da AASHTO [67] da qual deverá resultar, entre outras, a revisão destes conceitos. Estes estudos são extremamente importantes, tendo vindo a servir de base aos trabalhos realizados em diversos países europeus. Contudo, é necessário realçar que os estudos americanos se baseiam na realidade desse país nos anos 60 e 70, tendo, por isso, diferenças significativas relativamente à situação europeia atual, nomeadamente no que diz respeito à massa e às características de resistência ao choque dos veículos, bem como às velocidades praticadas. Não obstante, os resultados dessa investigação mantêm-se, em muitos aspetos, ainda hoje válidos nos EUA ([93] e [102]).

A pesquisa desenvolvida na década de 1980 por Calcote *et al.* (citado em [63], [67], [98] e [99]) utilizou monitorização eletrónica em estradas rurais e sistemas vídeo ao longo de estradas em meio urbano. Contudo, nem a monitorização com recurso a equipamento eletrónico foi bem sucedida devido a problemas técnicos nem a utilização dos sistemas vídeo deu resultados satisfatórios.

---

<sup>4</sup> O Roadside Safety Analysis Program é uma aplicação informática que faz parte do Roadside Design Guide [3] da AASHTO, tendo sido desenvolvido com o objectivo de avaliar, através da análise custo-eficácia, alternativas de intervenção para a melhoria das condições de segurança na AAFR.

### 3.2.1.1 Frequência

Conforme ilustrado na Figura 14, tanto Hutchinson e Kennedy [50] como Cooper (citado em [18], [23], [63], [67], [69], [98], [99] e [113]) demonstraram que a taxa de incursão por quilómetro aumenta muito rapidamente a partir de baixos volumes de tráfego e, de seguida, estabiliza ou diminui (para um tráfego médio diário entre 3 000 e 8 000 veículos). Este desenvolvimento da curva tem sido explicado pela análise do comportamento dos condutores. Para pequenos volumes de tráfego os condutores têm a sua velocidade pouco condicionada por outros veículos e tendem a conduzir mais depressa. Esta combinação de fatores poderá explicar a maior incidência de erros do condutor, resultando em maiores taxas de incursão por quilómetro. Com o aumento dos volumes de tráfego há maior interação com outros veículos, o que origina menores velocidades de circulação, melhor identificação da faixa de rodagem e uma diminuição da monotonia da condução [98]. Estes fatores podem explicar a estabilização ou a redução na taxa de incursão por quilómetro observada para volumes de tráfego moderados. Continuando os volumes de tráfego a aumentar, o incremento da exposição associada a veículos adicionais poderá superar o efeito atrás citado e levar a novo aumento da taxa de incursão.

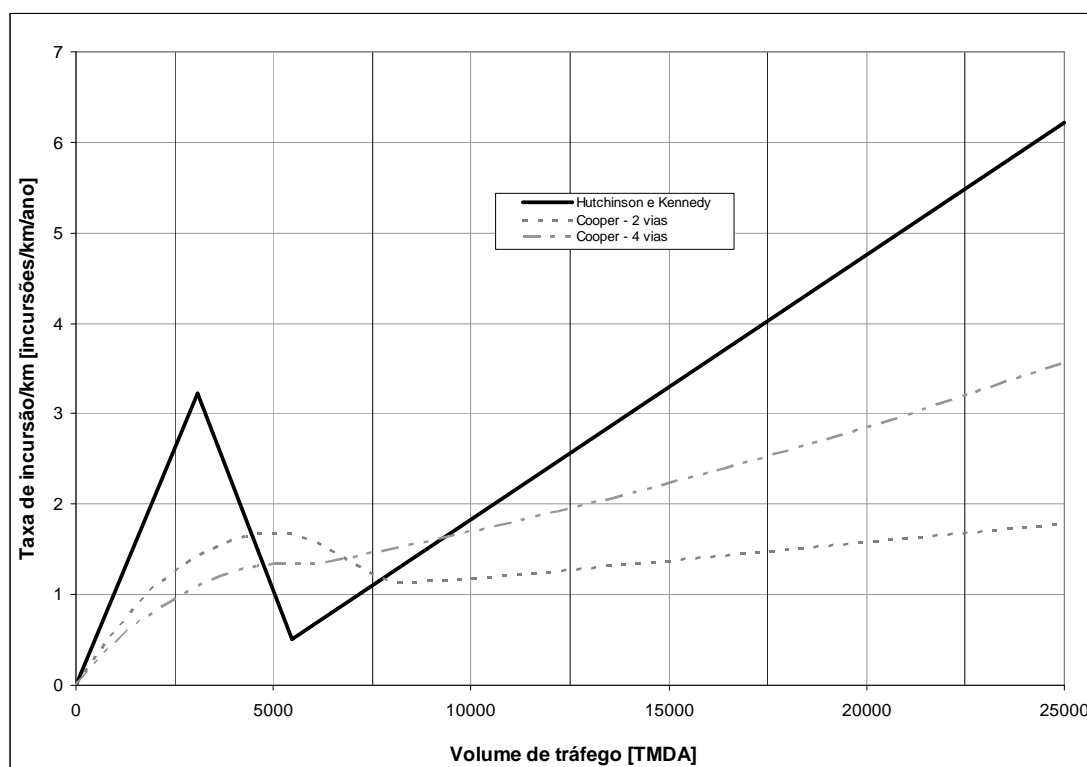


Figura 14 – Taxa de incursão (adaptado de [67])

Os dois estudos apresentam, contudo, algumas limitações. No estudo de Hutchinson e Kennedy [50] não é possível determinar com segurança se um veículo está, ou não, sob controlo do seu condutor, apenas pela observação das marcas deixadas pelas rodas. Apesar da neve no separador central ser um impedimento significativo para veículos que pretendam deixar a faixa de rodagem de forma intencional (ou seja, uma saída controlada), verificou-se que algumas das marcas observadas envolviam veículos que, alegadamente, pretendiam inverter o sentido de marcha em separadores centrais pavimentados e cobertos de neve.

Outra limitação importante do referido estudo corresponde ao facto de os dados terem sido recolhidos apenas em autoestradas interestaduais, não sendo certo que os resultados obtidos possam ser extrapolados para estradas de outras classes funcionais da rede rodoviária.

Finalmente, os dados foram recolhidos em trechos relativamente planos e em alinhamentos retos, havendo pouca informação disponível sobre o traçado destas estradas (em planta e perfil longitudinal) para avaliar os efeitos que estes parâmetros possam ter tido sobre as taxas de incursão.

No estudo realizado por Cooper (citado em [18], [23], [63], [67], [69], [98], [99] e [113]) verifica-se uma sub-representação das condições climáticas adversas, tendo as velocidades registadas sido consideravelmente inferiores às observadas nas estradas interestaduais do estudo de Hutchinson e Kennedy. No trabalho de Cooper também não se distinguem as incursões controladas das não controladas (tal como aconteceu no estudo de Hutchinson e Kennedy). Por outro lado, o Verão é igualmente um período em que se intensifica a manutenção das estradas e onde se verifica um aumento da atividade agrícola com máquinas lentas e de veículos que ocasionalmente utilizam as zonas relvadas da AAFR e cujos rastos possam ter sido erradamente interpretados como incursões. É contudo possível que a inclusão de incursões controladas tenha compensado qualquer redução nas taxas de incursão causada pelas melhores condições atmosféricas e pelas menores velocidades praticadas.



Quando comparadas, as taxas de incursão observadas por Cooper são ligeiramente inferiores às observadas por Hutchinson e Kennedy (ver Figura 14), facto que não surpreende dadas as melhores condições atmosféricas e as baixas velocidades de tráfego. Além disso, a deteção de incursões na berma ou na sua proximidade imediata é bastante difícil devido à existência de bermas pavimentadas. É, pois, provável que as incursões de pequena extensão transversal (entre 0 e 4 metros) estejam subavaliadas no estudo de Cooper.

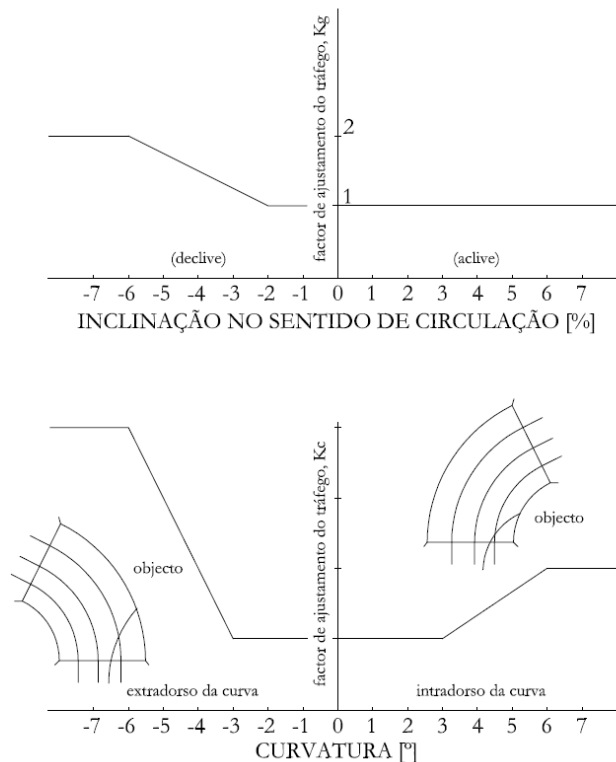
Calcote *et al.* (citado em [63], [67], [98] e [99]) tentaram superar os principais problemas dos estudos efetuados quer por Cooper quer por Hutchinson e Kennedy, nomeadamente a não deteção de algumas incursões motivada pelas bermas pavimentadas e a incapacidade de distinguir entre incursões controladas e não controladas pela observação dos trilhos das rodas.

O recurso a equipamentos de vídeo (com o designado *time lapse video*, técnica bastante usada para filmar eventos prolongados mas frequência de ocorrência baixa) registou inúmeras incursões, mas não se revelou um método eficaz para distinguir entre incursões controladas e não controladas. A esmagadora maioria das incursões gravadas envolveu veículos deslocando-se lentamente ao longo da AAFR durante algum tempo, com posterior retorno à corrente de tráfego, sem mudanças bruscas de trajetória. Um condutor fatigado ou distraído ou um condutor a executar uma manobra controlada na AAFR, podem causar este tipo de incursão. Ao restringir a definição de incursões descontroladas a mudanças bruscas na trajetória do veículo ou a travagens bruscas, apenas 14 das, aproximadamente, 7 000 incursões registadas foram consideradas não controladas, o que dá uma proporção de cerca de 500 incursões controladas por cada incursão descontrolada. Complementarmente, a videovigilância só pôde ser usada em secções relativamente curtas de estrada, o que limitou a quantidade de dados que poderiam ser obtidos (Calcote *et al.* citado em [67]). Deste modo, os resultados deste estudo não são nem muito úteis nem muito utilizados.

As distribuições da frequência de incursão na AAFR anteriormente descritas dizem respeito a trechos de estrada planos e em alinhamentos retos. Para estimar os efeitos do traçado rodoviário (planta e perfil longitudinal) nas incursões na AAFR, têm vindo a ser desenvolvidos diversos estudos baseados na análise de dados de acidentes.

O estudo mais citado nos EUA para o ajuste das taxas de incursão às características em planta e perfil longitudinal foi realizado por Wright e Robertson (citado em [18] e [67]). Neste estudo, realizado no Estado da Geórgia, foram analisados 300 acidentes fatais envolvendo um único veículo e obstáculos perigosos na AAFR. No estudo são comparadas zonas onde ocorreram acidentes fatais com zonas de controlo 1.6 km (1 milha) a montante dos locais onde ocorreram esses acidentes (por exemplo, elementos relativos ao perfil transversal, geometria e condições da AAFR). O pressuposto base desta comparação é o de que as diferenças nas características da estrada entre os locais onde ocorreram os acidentes fatais e os outros locais estão correlacionadas com as consequências desses mesmos acidentes fatais.

Na análise dos dados referentes aos locais onde ocorreram acidentes fatais, verificou-se uma significativa sobre-representação da curvatura horizontal. 70% dos acidentes fatais em curva ocorreram por invasão da AAFR no seu extradorso. Complementarmente verificou-se que declives de 2% ou mais tiveram igualmente efeito significativo nas taxas de incursão, contrariamente aos aclives cujo efeito observado não foi significativo. Os resultados deste estudo, resumidos na Figura 15, foram aplicados em vários modelos de probabilidade de incursão na AAFR, nomeadamente no já referido *Roadside Safety Analysis Program* (RSAP) da AASHTO [67].



**Figura 15** – Fatores de ajustamento da frequência de incursões para curvas horizontais e trainéis (adaptado de Wright, P.H., Robertson, L. (1976). *Priorities for Roadside Hazard Modification: A Study of 300 Fatal Roadside Object Crashes*. *Traffic Engineering*, Vol. 46, No. 8. Citado em [98])

Embora a metodologia utilizada neste estudo seja, na generalidade, considerada válida e apropriada, são de referir algumas debilidades da mesma (citados em [67]):

- A dimensão da amostra é relativamente pequena, com apenas 300 acidentes fatais investigados.
- Não houve controlo de algumas variáveis explicativas potencialmente relevantes, designadamente o tipo de estrada e de pavimento e o volume de tráfego. Igualmente, alguns dos acidentes ocorreram em estradas rurais não pavimentadas.
- Foram incluídos na amostra apenas acidentes com vítimas fatais, pelo que os resultados podem não ser aplicáveis a acidentes de menor gravidade.

Tendo em conta estas insuficiências, é possível que os fatores de ajustamento sobrestimem os efeitos da curvatura horizontal e da inclinação longitudinal nas taxas de incursão. No entanto, até à presente data, não é conhecida melhor fonte de informação sobre os efeitos da curvatura horizontal e do perfil longitudinal nas taxas de incursão.

Ainda nos EUA, Mak (citado em [98]) realizou uma análise das condições reais de embate de veículos descontrolados em obstáculos na AAFR, tendo como base a reconstituição de acidentes. Nesse estudo, foram definidas distribuições de velocidade e ângulo de embate para cinco classes funcionais de diferentes de estradas, incluindo: autoestradas; estradas rurais arteriais; estradas rurais coletoras e locais; estradas urbanas arteriais; e estradas urbanas coletoras e locais. Estas distribuições foram desenvolvidas ajustando funções gama aos dados de acidentes disponíveis. As mesmas distribuições foram utilizadas no RSAP [67] para descrever as velocidades e ângulos de incursão, bem como as trajetórias dos veículos descontrolados.

### 3.2.1.2 Ângulo de incursão

De acordo com Lynam [63], nos primeiros modelos de incursão na AAFR desenvolvidos considerou-se adequado um ângulo de incursão de 20°. Contudo, este ângulo tem vindo a ser reduzido à medida que mais dados sobre acidentes rodoviários envolvendo um único veículo vão sendo recolhidos e investigados.

A distribuição dos ângulos de incursão obtidos por Hutchinson e Kennedy [50] é apresentada no Quadro 13.

**Quadro 13** – Distribuição dos ângulos de incursão (adaptado de [50]).

Ângulo [°]	5	10	15	20	30
Percentagem acumulada	25	60	75	85	95

O ângulo de incursão médio registado nas observações realizadas no referido estudo [50] foi de 11°. Valor semelhante (12°) foi calculado por Ehrola (citado em Lynam [63]), embora seja de salientar que este valor corresponde à média de uma grande variedade de ângulos de saída.

Com base nos dados de Hutchinson e Kennedy [50] e de Cooper (citado em [63], [67] e [69]), Sicking e Ross [97] definiram uma probabilidade de incursão na AAFR fazendo-a variar em função da velocidade de saída (ver Quadro 14). A banda de maior probabilidade para todas as velocidades situa-se entre os 5° e os 15°, valores coerentes com os dados do Quadro 13.

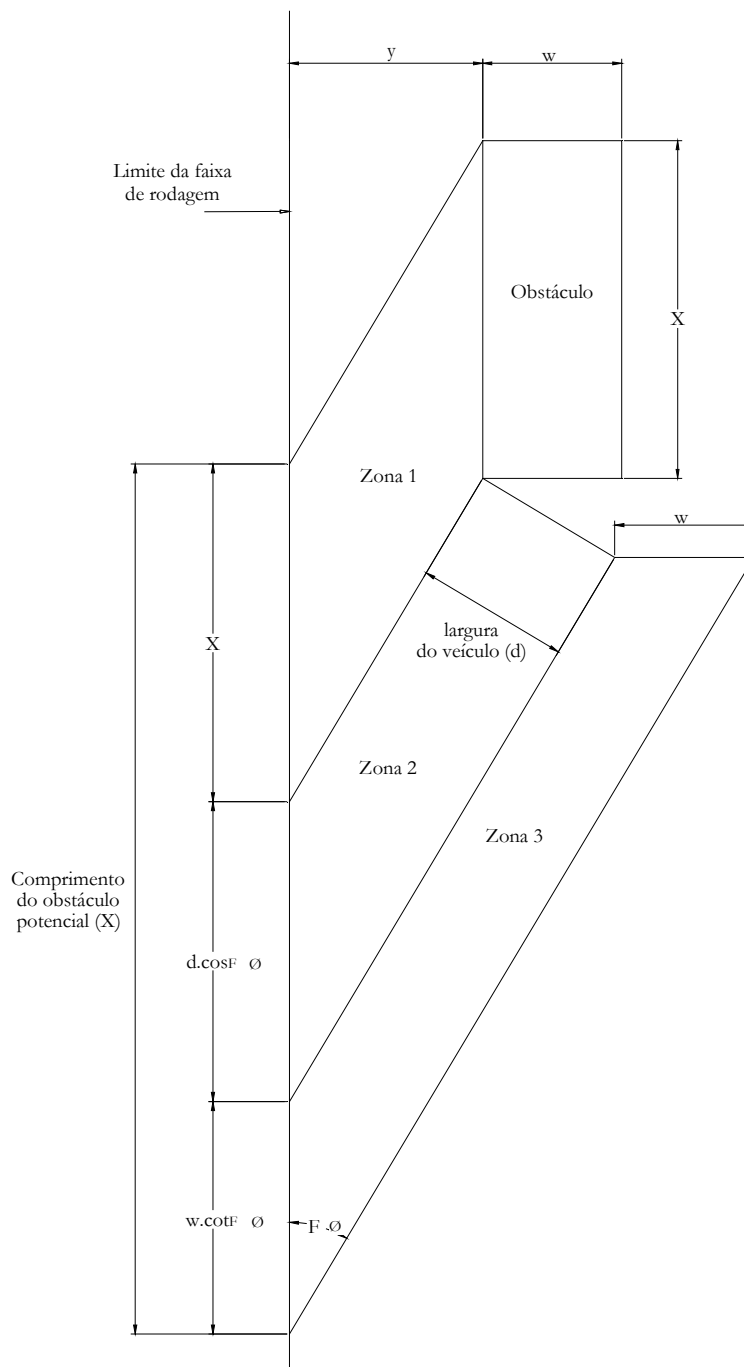
**Quadro 14** – Distribuição dos ângulos de incursão (adaptado de [97]).

Ângulo [°]	5	15	25	35	45	90
Percentagem acumulada	10	55	83	94	98	100

De referir que esta informação é baseada fundamentalmente em despistes que envolveram colisões com postes de eletricidade e de telefone, localizados normalmente ao longo de estradas rurais com baixos volumes de tráfego e com baixos limites de velocidade [108]. Habitualmente, nestas estradas a taxa de registos dos acidentes ocorridos é menor do que na generalidade da rede rodoviária [67].

É ainda necessário realçar que os estudos desenvolvidos por Hutchinson e Kennedy se baseiam na realidade dos EUA nos anos 50 e os de Cooper na dos finais da década de 70 no Canadá, tendo, por isso, diferenças significativas relativamente à situação europeia atual, nomeadamente no que diz respeito à massa e às características de resistência ao choque dos veículos, bem como às velocidades praticadas.

O modelo desenvolvido nos anos 1980 no âmbito do relatório SR214 [108] do *Transportation Research Board* – baseado, no que ao ângulo de incursão diz respeito, nos dados recolhidos por Hutchinson e Kennedy [50] e num modelo desenvolvido por Glennon [38] com base nos referidos dados – utiliza ângulos de 6.1° para saídas pela berma direita e 11.5° para saídas pela berma esquerda (ver Figura 16).



**Figura 16** – Área de risco potencial baseada na trajetória da aresta mais à direita da frente do veículo descontrolado (adaptado de [108])

O modelo mais recente da AASHTO, datado de 2002 e incorporado no RSAP [67], utiliza uma distribuição de ângulos baseada em Cooper (citado em [63], [67] e [69]), Mak *et al* (citado em [98]) e estudos relacionados. Atualmente, o RSAP utiliza cinco matrizes (em função da categoria da estrada) de 7 por 7 para descrever as distribuições da velocidade e ângulo de embate, daí resultando 49 combinações possíveis de velocidade e

ângulo de embate. Os ângulos de embate constantes das matrizes variam entre 2.5° e 32.5°.

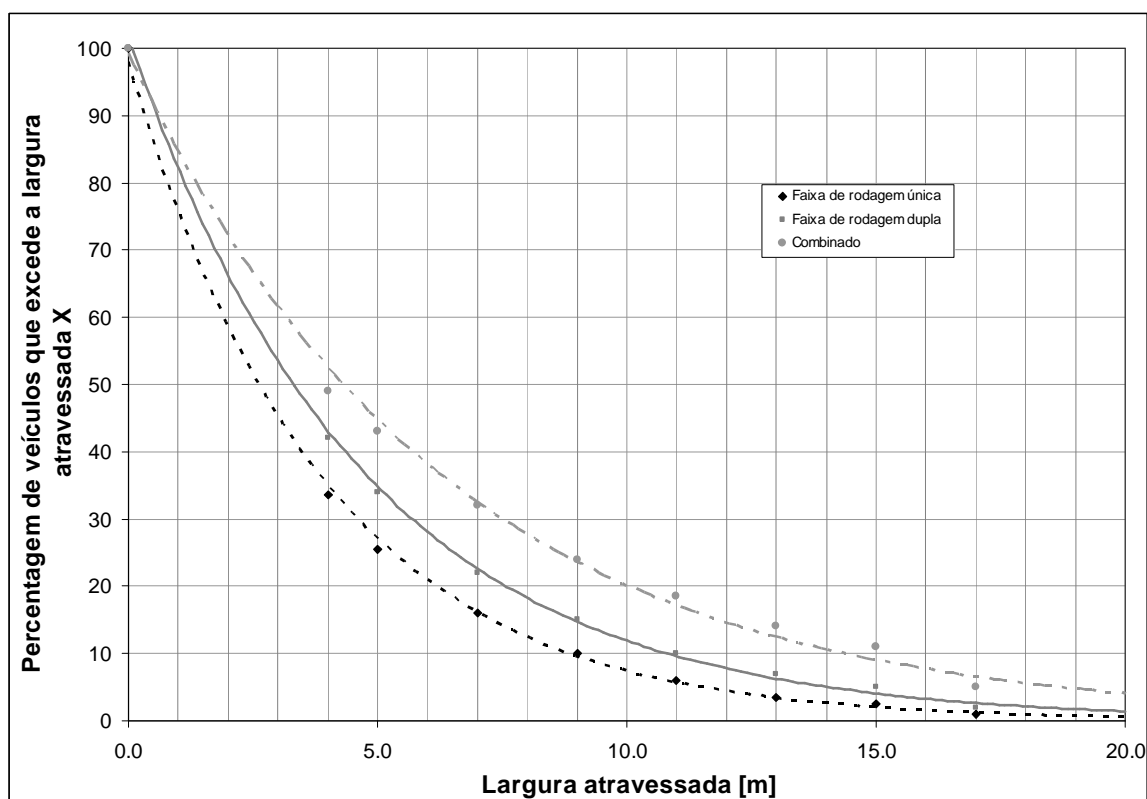
### **3.2.1.3 Extensão transversal**

A maioria dos dados de sinistralidade recolhidos relativos a incursões de veículos descontrolados na AAFR baseia-se na posição final destes veículos. Geralmente, considera-se como distância percorrida pelos mesmos, a extensão medida perpendicularmente ao eixo da estrada, a partir do limite da faixa de rodagem. Esta distância resulta do ângulo de incursão, do efeito de qualquer intervenção do condutor na direção do veículo que lhe modifique a trajetória, e da distância percorrida pelo veículo ao longo deste percurso.

A maioria dos relatórios que abordam esta questão refere a investigação norte americana desenvolvida nos anos 60 e 70, sintetizada em publicação do *Transportation Research Board* [46].

No estudo desenvolvido por Mak (citado em [98]), anteriormente referido, foi também analisada a distribuição da extensão transversal de incursão, parâmetro importante nos modelos de probabilidade de incursão na AAFR. Estas distribuições podem ser afetadas pelo efeito das características superficiais das bermas. É provável que muitas incursões (efetivamente ocorridas em estradas com bermas pavimentadas) não se tenham prolongado para lá da berma, ou muito para além desta, não sendo por isso detetadas ou registadas. Ou seja, há razões para suspeitar que tenha havido uma subavaliação do número de incursões com uma extensão transversal inferior a 4 metros (13.2 pés) devido à presença de bermas pavimentadas.

Essas incursões não detetadas podem explicar a ausência de dados experimentais no intervalo de 0 a 4 metros, da largura atravessada (ver Figura 17).



**Figura 17** – Distribuições da extensão transversal de incursão para diferentes tipos de estrada (adaptado de [67]).

Tendo por base este estudo, foram desenvolvidos para o programa RSAP [67] ajustamentos para a AAFR que excluem os dados de incursão relativos à zona desta onde a berma possa ter influência, ou seja, nos seus primeiros 4 metros. No âmbito destes ajustamentos procedeu-se à reanálise dos dados de Cooper (citado em [63], [67], [69], [99] e [114]) sobre a extensão da incursão transversal na AAFR, o que permitiu o ajuste de um modelo de regressão aos dados relativos à extensão transversal de incursão, para extensões superiores a 4 metros.

### 3.3 Modelos Lineares Generalizados

#### 3.3.1 Generalidades

Os modelos lineares generalizados (MLG) constituem uma extensão dos modelos lineares de regressão múltipla, a qual permitiu alargar as hipóteses admitidas no ajuste estatístico. Tal como referido em 3.1, a regressão linear convencional é inadequada na



modelação de eventos raros, discretos, e não negativos como sejam os acidentes rodoviários.

A regressão linear tem como objetivo a modelação da relação entre uma variável dependente (ou de resposta)  $y$  e uma ou mais variáveis independentes (ou explicativas)  $x$ . A capacidade de expressar algo sob a forma como  $x$  afeta  $y$  revela-se através dos parâmetros da regressão – os Betas ( $\beta$ ).

Genericamente, um modelo linear expressa a sua componente sistemática (não aleatória) como uma função linear das variáveis independentes [73]:

$$y_i = \sum_{j=1}^J \beta_j x_{ji} + u_i \quad (3-4)$$

Em que  $y_i$  designa a variável dependente (ou de resposta),  $x_{ji}$  as variáveis independentes (ou explicativas),  $\beta_n$  os parâmetros a estimar, e  $u_i$  o termo de erro aleatório (ou resíduos).

De acordo com Amaral Turkman [2], os MLG correspondem a uma síntese de vários modelos, vindo unificar, tanto do ponto de vista teórico como conceptual, a teoria da modelação estatística. São casos particulares dos modelos lineares generalizados, entre outros, os seguintes modelos:

- modelo de regressão linear clássico;
- modelo de regressão logística;
- modelo de regressão de Poisson;
- modelo probit para estudos de proporções.

A estrutura de um modelo linear generalizado é composta por três componentes: a sistemática (que inclui as variáveis independentes), a aleatória (que constitui simultaneamente a variável dependente) e a função de ligação entre a componente sistemática e a componente aleatória [11]. Como hipóteses básicas do modelo, salienta-se que a componente sistemática é linear, a componente aleatória é única, o termo de erro não deve ser correlacionado com qualquer variável explicativa e as observações são independentes, não devendo apresentar autocorrelação espacial ou temporal [10].

Os modelos lineares generalizados tomam normalmente a forma de [73]:

$$h(y_i) = \sum_j \beta_j x_{ji} \quad (3-5)$$

Em que  $h$  é usualmente classificado como a função de ligação. O valor esperado da variável dependente está ligado a uma regressão linear através de uma função monótona geral.

Os MLG têm vindo a desempenhar um papel cada vez mais importante na análise estatística devido ao grande número de modelos que englobam e à facilidade de análise associada ao rápido desenvolvimento computacional que se tem verificado nas últimas décadas. Não obstante, os MLG têm limitações ainda impostas, nomeadamente por manterem a estrutura de linearidade, pelo facto das distribuições se restringirem à família exponencial (Normal, Poisson, Binomial, ou Gama, entre outras) e por exigirem a independência das respostas ([2] e [10])

O uso dos MLG contém ainda uma generalização adicional: a relação entre o valor médio da variável resposta e a combinação linear das variáveis explicativas pode ser estabelecida por qualquer função monótona e diferenciável ([10] e [74]). Na regressão clássica esta relação corresponde à função identidade.

A principal vantagem deste tipo de modelos reside na forma expedita como se pode avaliar o efeito sobre o indicador de segurança associado a alterações de determinadas variáveis explicativas, ainda que a necessidade de informação detalhada seja elevada. A sua utilidade é acrescida quando as potenciais variáveis explicativas são em grande número, quando o número de fatores perturbadores é elevado (e não podem ser tratados através da consideração de grupos de controlo) ou quando a dimensão da amostra de ocorrências (acidentes ou vítimas) é reduzida [112].

No caso particular da sinistralidade rodoviária, a ocorrência de um acidente pode ser encarada como o resultado de um processo de Bernoulli, em que cada situação de interação do binómio condutor-veículo com o restante sistema de transporte constitui um ensaio. Assim, a circulação num trecho de estrada pode ser considerada um conjunto de ensaios. Um acidente corresponderá, neste caso, a um “sucesso”, entendido como um ensaio que produziu um resultado (ainda que indesejado). Pelo contrário, a resolução satisfatória das situações de interação rodoviária corresponde ao “insucesso” [11].

Admitindo-se que a probabilidade de ocorrência de um acidente é  $p$  (sendo a probabilidade de insucesso  $q = 1 - p$ ), considerando  $N$  ensaios independentes, aceitando-se que a probabilidade de sucesso é constante (o que corresponde a assumir que o processo de geração de acidentes é sempre o mesmo) e representando-se por  $X$  a variável aleatória que regista o número de sucessos em  $N$  ensaios, obtém-se a distribuição binomial [11]:

$$P(X = n) = C_n^N \times p^n \times (1 - p)^{N-n} = \frac{N!}{n!(N - n)!} \times p^n \times (1 - p)^{N-n} \quad (3-6)$$

para representar a probabilidade de ocorrerem exatamente  $n$  acidentes em  $N$  ensaios ( $n=0, 1, 2, \dots, N$ ).

No caso da probabilidade de sucesso ser muito pequena e o número de ensaios ser muito grande, a distribuição binomial pode ser aproximada pela distribuição de Poisson [11].

Efetivamente, na análise estocástica da frequência de acidentes é frequente admitir que a ocorrência de acidentes é controlada por um processo estacionário de Poisson. Este pressuposto resulta, por um lado, do facto de se constatarem bons ajustes desta distribuição aos valores observados, e, por outro, por existir um elevado número de oportunidades para a ocorrência de acidentes associada a uma muito pequena probabilidade de efetivação de cada uma dessas oportunidades [10].

Pode assumir-se que os acidentes que ocorrem num trecho de estrada são independentes entre si e que um determinado número médio de acidentes por unidade de tempo constitui uma característica desse local e de outros locais com idênticas propriedades. Considera-se ainda que este valor médio é (pelo menos parcialmente) dependente das características da infraestrutura rodoviária e deverá ter valor maior que zero [112].

No âmbito do presente estudo serão desenvolvidos modelos lineares generalizados para modelação da frequência de acidentes envolvendo a AAFR em estradas de faixa de rodagem única e dupla.

### 3.3.2 Modelo de regressão de Poisson

Um modelo de regressão de Poisson é um modelo em que se considera que a variável de resposta segue uma distribuição de Poisson. Estes modelos são muitas vezes referidos como modelos de dados de contagem, porque a variável de resposta é um inteiro não-negativo, ou seja, uma variável contável. Este facto contribui para que os modelos de contagem de dados sejam frequentemente utilizados na análise de acidentes e vítimas.

Todavia, estes modelos são mais adequados a situações com reduzidos valores de contagens de acidentes. Para contagens de acidentes de grande dimensão podem ser usados, em alternativa, os modelos de Gauss, com termos de distribuição normal [73].

Na aplicação do modelo de regressão de Poisson à análise de frequência de acidentes envolvendo a AAFR, seja  $n_i$  o número de acidentes por saída da faixa de rodagem num trecho de estrada  $i$  durante um determinado intervalo de tempo. O modelo generalizado de Poisson é dado por [113]:

$$P(y_i) = \frac{\exp(-\lambda_i) \lambda_i^{y_i}}{y_i!} \quad (3-7)$$

onde  $P(y_i)$  corresponde à probabilidade de  $y$  acidentes ocorrerem num trecho de estrada  $i$  e  $\lambda_i$  é o valor esperado de  $y_i$ .

Os modelos de regressão de Poisson são estimados, especificando o parâmetro de Poisson  $\lambda_i$  (o número esperado de eventos por intervalo de tempo) como uma função de variáveis explicativas. Para o caso de acidentes envolvendo a AAFR, as variáveis explicativas podem incluir as condições geométricas da estrada e da AAFR, a natureza dos obstáculos perigosos ou a sua localização, entre outros. A relação mais comum entre as variáveis explicativas e o parâmetro de Poisson é o modelo log-linear dado por [113]:

$$\lambda_i = \exp(\beta X_i) \quad (3-8)$$

Ou de forma equivalente:

$$LN(\lambda_i) = \beta X_i \quad (3-9)$$

Onde  $\beta$  é um vetor de parâmetros estimados e  $X_i$  é um vetor de variáveis explicativas.

Nesta formulação o número esperado de acidentes envolvendo a AAFR que ocorre num trecho de estrada  $i$  é dado por:

$$E(y_i) = \lambda_i = \exp(\beta X_i) \quad (3-10)$$

Uma das características da distribuição de Poisson refere-se à igualdade entre o valor médio das contagens e o da sua variância. No caso desta ser superior ou inferior àquele constata-se a existência de sobre-dispersão ou subdispersão, respectivamente. Os dados com sobre-dispersão são bastante comuns, sendo na maioria dos casos modelados através da utilização de modelos de Binomial Negativa [113].

### 3.3.3 Modelo de Binomial Negativa

Nem sempre é possível admitir que  $\lambda_i$  seja constante. Por um lado, a tendência decrescente no tempo de risco de acidente, verificada em países como Portugal, enfraquece a validade da hipótese de constância no tempo da probabilidade de ocorrência. Por outro, há fatores desconhecidos que contribuem para os acidentes, bem como fatores, que apesar de conhecidos, são quantificados com erros de medição, justificando, em qualquer dos casos, que os riscos individuais de cada entidade de um grupo homogéneo de entidades não sejam idênticos. Assim, o rácio da variância pelo valor esperado será diferente da unidade, ou seja, verificar-se-á a existência de sobre-dispersão ou subdispersão [11].

Para Cardoso [11], uma solução para este problema passa por considerar que os acidentes resultam de processos cujas probabilidades de sucesso, ainda que independentes e de acordo com a distribuição de Poisson, variam em cada ensaio (ensaios de Poisson). Neste caso, a frequência de acidentes segue a distribuição binomial negativa.

O modelo de binomial negativa (ou Poisson-gama) é uma extensão do modelo de regressão de Poisson adaptado à possível existência de sobre-dispersão nos dados. O modelo de binomial negativa e de Poisson seguem uma distribuição de probabilidade Gama ([62] e [113]). O modelo de binomial negativa é derivado re-escrevendo o parâmetro de Poisson para cada observação  $i$  num determinado intervalo de tempo como:

$$\lambda_i = \exp(\beta X_i + \varepsilon_i) \quad (3-11)$$

onde  $\exp(\varepsilon_i)$  é um termo de erro aleatório que segue uma distribuição de probabilidade gama com média 1 e variância  $\alpha$ . A soma deste termo permite que a variância divirja da média de acordo com a seguinte expressão ([62] e [113]):

$$VAR[y_i] = E[y_i][1 + \alpha E[y_i]] = E[y_i] + \alpha E[y_i]^2 \quad (3-12)$$

De salientar que à medida que  $\alpha$  tende para 0, a variância vai-se aproximando da média, convergindo o modelo para um modelo generalizado de Poisson. O termo  $\alpha$  é designado como parâmetro de sobre-dispersão.

Segundo Lord e Mannering [62], o modelo de binomial negativa é provavelmente o modelo mais utilizado na modelação de frequência de acidentes. No entanto, o modelo tem algumas limitações importantes, nomeadamente a sua incapacidade para lidar com a existência de subdispersão nos dados e a dificuldade de estimação de parâmetros quando os dados são caracterizados por uma reduzida dimensão da amostra ou baixa média amostral.

### 3.3.4 Outros modelos lineares generalizados

Para tratar os dados de frequência de acidentes e os aspetos metodológicos a eles associados, têm vindo a ser aplicadas diversas formas funcionais aos modelos de estimativa de frequência de acidentes. Para além dos já referidos modelos de regressão de Poisson e de Binomial Negativa, mais comumente utilizados, são igualmente de destacar os modelos Poisson zero-inflacionado (Zero-inflated Poisson) e Binomial negativa zero-inflacionada (Zero-inflated negative binomial) desenvolvidos por Lee e Mannering [56] no estudo da influência das características da estrada e dos dispositivos presentes na AAFR na frequência de acidentes por despiste.

Nestes modelos considera-se que o processo de geração de acidentes por despiste tem dois estados. O estado normal corresponde aos acidentes ocorrerem com um determinado número esperado, constante, por unidade de tempo. Haverá, adicionalmente, um outro estado, eminentemente seguro, em que a frequência esperada é

nula ([11] e [56]). A probabilidade de uma entidade rodoviária estar num dos dois estados (normal ou seguro) pode ser determinada por um modelo logit ou probit [62]. A distribuição resultante será, desta forma, a combinação de uma distribuição com zeros e de uma distribuição de Poisson, ou de binomial negativa, o que justifica o excesso de zeros [11].

Apesar da sua aplicabilidade a um vasto conjunto de situações em que os dados de acidentes observados são caracterizados por um grande número de zeros, diversos autores ([11], [61] e [62]) questionam a aplicação desta formulação à sinistralidade rodoviária, apontando, nomeadamente, para a necessidade de definir explicitamente as condições de fronteira entre os dois estados possíveis (normal ou seguro). Por um lado, são questionados os critérios associados às características das estradas que poderão justificar que em dois trechos fisicamente semelhantes o risco de acidente de um condutor seja alterado bruscamente, passando de um estado normal para um estado seguro, ou vice-versa. E por outro, são as condições ligadas à estrada ou à sua utilização que podem justificar a alteração do estado de um determinado trecho para o outro estado.

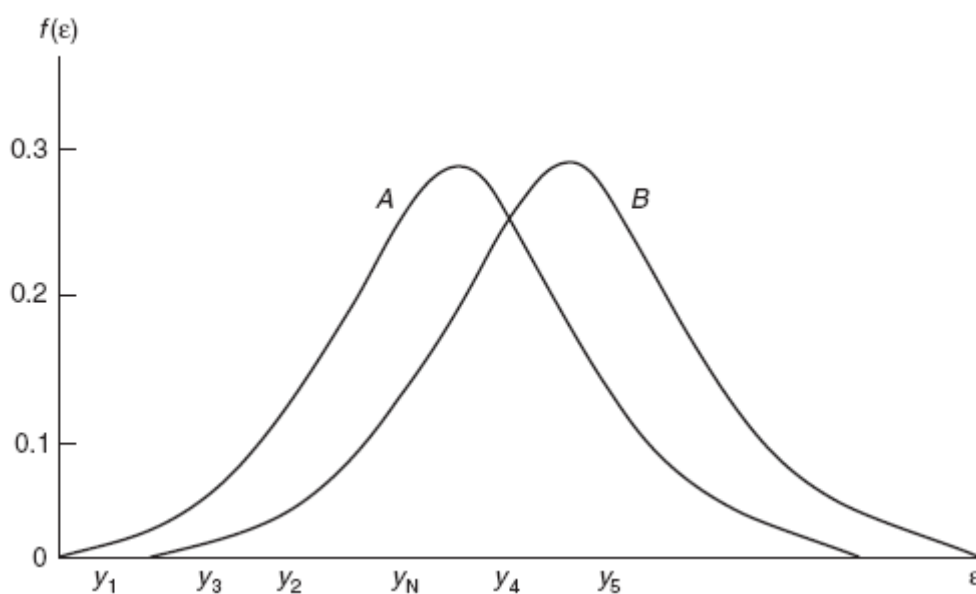
Para além das formas funcionais anteriormente descritas, tem-se vindo a assistir nos últimos anos ao surgimento de diversas outras cuja fundamentação teórica, vantagens e desvantagens, estão fora dos objetivos deste estudo, encontrando-se descritas em artigo científico por Lord e Mannering [62].

### **3.3.5 Métodos de estimação dos parâmetros do modelo**

De modo a poder aplicar a metodologia dos modelos lineares generalizados a um conjunto de dados há necessidade, após a formulação do modelo que se pensa adequado, de proceder à realização de inferências sobre esse modelo. No caso específico dos acidentes rodoviários, e tal como referido anteriormente, as ocorrências consistem em valores inteiros não negativos, que não podem ser modelados como se fossem dados contínuos, aos quais se aplica o método dos mínimos quadrados ([11] e [75]). Desta aplicação errónea poderiam resultar previsões de valores negativos, que são incoerentes com os dados de contagens de acidentes.

A inferência com MLG é, essencialmente, baseada na verosimilhança. Com efeito, não só o método da máxima verosimilhança é o mais escolhido para estimar os parâmetros de regressão, como também testes de hipóteses sobre os parâmetros do modelo e de qualidade de ajustamento são, em geral, baseados na verosimilhança [2]. Em alternativa podem ser utilizados métodos bayesianos [62].

O princípio subjacente à máxima verosimilhança é o de que populações diferentes geram diferentes amostras, e assim qualquer amostra em particular é mais provável de resultar de algumas populações em detrimento de outras [113]. Por exemplo, se foi recolhida uma amostra aleatória de  $y_1, y_2, \dots, y_n$ , haverá algum parâmetro  $\theta$  (que pode, por exemplo, ser assumido como a média da amostra) que é mais provável ter gerado a amostra. A Figura 18 duas distribuições estatísticas diferentes, A e B, que representam duas médias amostrais assumidamente diferentes.



**Figura 18** – Exemplo de estimação pelo método da máxima verosimilhança [113]

Na Figura 18, a média da amostra  $\theta_A$  associada à distribuição A é muito mais provável para gerar a amostra de  $y$  do que a média da amostra  $\theta_B$  associada à distribuição B. A estimação pelo método de máxima verosimilhança procura o parâmetro ou conjunto de parâmetros que têm maior probabilidade de ter gerado os dados observados ( $y$ ) entre todos os possíveis  $\theta$ .



A forma geral da função de verosimilhança pode ser definida como a probabilidade ou a densidade de probabilidade de observar os dados da amostra de uma distribuição estatística em função de um vetor de parâmetros da população (*parameter vector*)  $\theta$ , tal que [113]:

$$f(x_1, x_2, \dots, x_n, \theta) = \prod_{i=1}^n f(x_i, \theta) = L(\theta|X) \quad (3-13)$$

O método de máxima verosimilhança é um método de estimação de parâmetros no qual estes são estimados pelo valor dos mesmos que maximizam a função de verosimilhança [113]. Assim, as estimativas que usam este método, designadas estimativas de máxima verosimilhança, são os valores dos parâmetros que tornam máxima a probabilidade de ocorrência de uma amostra idêntica àquela que efetivamente ocorreu ([11] e [41]).

Num modelo linear generalizado o parâmetro  $\beta$  é o parâmetro de interesse, o qual é estimado pelo método da máxima verosimilhança. O parâmetro de sobre-dispersão  $\varphi$ , quando existe, é considerado um parâmetro perturbador, podendo a sua estimação ser feita pelo método dos momentos ([2] e [11]).

O modelo de regressão de Poisson é assim estimável pelo método da máxima verosimilhança, com a função de verosimilhança a ser dada por [113]:

$$L(\beta) = \prod_{i=1}^n \frac{\text{EXP}[-\text{EXP}(\beta X_i)] [\text{EXP}(\beta X_i)]^{y_i}}{y_i!} \quad (3-14)$$

O logaritmo da função de verosimilhança é mais simples de manusear e mais apropriado para estimação [113]:

$$\text{LNL}(\beta) = \sum_{i=1}^n [-\text{EXP}(\beta X_i) + y_i \beta X_i - \text{LN}(y_i!)] \quad (3-15)$$

Tal como acontece na maioria dos modelos estatísticos, os parâmetros estimados são utilizados para fazer inferências sobre as características desconhecidas da população consideradas como tendo influência no processo de contagem. O método de estimação da máxima verosimilhança produz parâmetros de Poisson que são consistentes<sup>5</sup>, assintoticamente normais e assintoticamente eficientes [113].

---

<sup>5</sup> Quando a dimensão da amostra tende para infinito, o estimador consistente concentra-se sobre o seu alvo, ou seja, toma o valor do parâmetro estimado [41].

No caso do modelo de binomial negativa a função de verosimilhança é dada por [113]:

$$L(\lambda_i) = \prod_{i=1}^n \frac{\Gamma((1/\alpha) + y_i)}{\Gamma(1/\alpha) y_i!} \left( \frac{1/\alpha}{(1/\alpha) + \lambda_i} \right)^{1/\alpha} \left( \frac{\lambda_i}{(1/\alpha) + \lambda_i} \right)^{y_i} \quad (3-16)$$

Onde  $\Gamma(\text{argumento}) = \Gamma(u)$  se designa por função gama e representa o integral seguinte [41]:

$$\Gamma(u) = \int_0^{+\infty} x^{u-1} \cdot e^{-x} \cdot dx \quad (\text{com } u > 0) \quad (3-17)$$

A função de verosimilhança da Equação (3-16) resulta da distribuição binomial negativa, cuja forma é dada pela equação seguinte [113]:

$$P(y_i) = \frac{\Gamma((1/\alpha) + y_i)}{\Gamma(1/\alpha) y_i!} \left( \frac{1/\alpha}{(1/\alpha) + \lambda_i} \right)^{1/\alpha} \left( \frac{\lambda_i}{(1/\alpha) + \lambda_i} \right)^{y_i} \quad (3-18)$$

A estimação pelo método da máxima verosimilhança nem sempre pode ser utilizada, nomeadamente quando a função de verosimilhança é difícil de caracterizar.

Em alternativa, os métodos de estimação bayesianos têm vindo a ganhar popularidade devido aos avanços nos métodos computacionais. Os modelos bayesianos têm a vantagem de serem capazes de lidar com modelos muito complexos, especialmente aqueles cujas funções de verosimilhança não são facilmente calculáveis. Através da utilização do método de Monte Carlo baseado em cadeias de Markov (método de estimação baseado em amostragem, adequado para modelos bayesianos) é possível manusear modelos com formas funcionais complexas como, por exemplo, os modelos de parâmetros aleatórios [62]. No entanto, e apesar dos grandes progressos computacionais proporcionados pelos modelos bayesianos, o tempo de simulação para o método de Monte Carlo baseado em cadeias de Markov pode ser ainda uma barreira para os modelos de forma complexa. O tempo de simulação, que é função do tamanho da amostra e da complexidade da estrutura do modelo, pode prolongar-se por vários dias, sendo uma condicionante a atender na escolha da sua forma.

A regressão com erro do tipo binomial negativo obriga a estimar, não só os coeficientes dos fatores de risco, como também o parâmetro de sobre-dispersão. Como atrás referido este parâmetro pode ser calculado através do método dos momentos. Este equaciona momentos populacionais com momentos amostrais [76]. De acordo com Reurings *et al.*

[83] este é um processo iterativo: primeiro é ajustado um modelo com erro de Poisson, cujos resíduos são usados para calcular a sobre-dispersão; seguidamente é ajustado um modelo com erro binomial negativo, com o parâmetro calculado, cujos resíduos são usados, por sua vez, para calcular nova estimativa da sobre-dispersão. O processo é repetido até se obter uma aproximação satisfatória da sobre-dispersão unitária, o que corresponde a diferenças entre iterações sucessivas suficientemente pequenas. Na prática, este processo corresponde a admitir que a sobre-dispersão tem o mesmo valor para todas as entidades [11].

### 3.4 Seleção e validação de modelos

Na análise estatística de acidentes rodoviários, via MLG, há geralmente um número elevado de variáveis explicativas que podem ser potencialmente importantes para explicar a variabilidade inerente aos dados. Atualmente, existem diversos métodos para avaliar a qualidade do ajuste dos modelos aos dados observados. O problema da seleção do modelo corresponde à procura do “melhor modelo”, no sentido de ser um modelo que atinja um bom equilíbrio entre os três fatores “bom ajustamento”, “parcimónia” e “interpretação”[2].

#### 3.4.1 Qualidade de ajustamento

Para além da estimativa dos parâmetros do modelo, interessa dispor de elementos para avaliar a qualidade do ajuste conseguido com o mesmo.

Existem diversas medidas da qualidade de ajustamento que podem ser utilizadas para avaliar o ajuste do modelo de regressão aos dados observados. As medidas de ajuste tradicionalmente utilizadas descrevem em que medida a "variação" na variável dependente é "explicada" pelo modelo, em comparação com a variação total presente no conjunto de dados observados [60].

Algumas medidas da qualidade de ajustamento permitem explicar o desempenho dos modelos em termos de poder explicativo (usando-se, por exemplo, o  $R_p^2$  e o Índice de Elvik para esse efeito). Outras servem exclusivamente para efetuar comparações no desenvolvimento do modelo, caso do Critério de Informação de Akaike (AIC) e o  $G^2$ .

### 3.4.1.1 Poder explicativo dos modelos

De acordo com Washington *et al.* [113] o valor de  $R^2$  usado na regressão linear dos mínimos quadrados não pode ser utilizado quando se desenvolvem modelos de Poisson ou Binomial Negativa devido à não linearidade da média condicional ( $E[y|X]$ ) e à heterocedasticidade<sup>6</sup> da regressão. No entanto, com base nos resíduos pode ser calculada uma estatística similar, dada por [113]:

$$R_p^2 = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n \left[ \frac{y_i - \hat{\lambda}_i}{\sqrt{\hat{\lambda}_i}} \right]^2}{\sum_{i=1}^n \left[ \frac{y_i - \bar{y}}{\sqrt{\bar{y}}} \right]^2} \quad (3-19)$$

Em que  $y_i$  corresponde ao número de ocorrências observadas,  $\bar{y}$  é o número médio de ocorrências observadas e  $\hat{\lambda}_i$  o número de ocorrências estimadas.

Segundo Vieira Gomes [112], considera-se que o valor de  $R_p^2$  representa a proporção da variação total de acidentes explicada pelo modelo. Quanto mais próximo da unidade for o valor de  $R_p^2$ , melhor será considerado o modelo.

O desvio médio do modelo (*MAD*) fornece um valor médio do desvio do modelo, sendo calculado através da seguinte equação [113]:

$$MAD = \frac{\sum_{i=1}^n |\epsilon_i|}{n} \quad (3-20)$$

Em que  $\epsilon_i$  corresponde à diferença entre a variável de resposta estimada e a observada. Um valor próximo de zero sugere que, em média, o modelo está a estimar bem os dados observados.

Para Cardoso [11], uma medida relevante do ajuste do modelo é dada pelo desvio normalizado (*DE*), definido por:

---

<sup>6</sup> A heterocedasticidade é um fenómeno estatístico que ocorre em análises de regressão quando, para valores fixos das variáveis independentes, as distribuições condicionadas da variável dependente  $Y$  não têm variância constante [113].

$$DE = 2 \times \sum \{y_i \log(y_i / \hat{\mu}_i) - (y_i - \hat{\mu}_i)\} \quad (3-21)$$

onde  $y_i$  são as observações e  $\hat{\mu}_i$  são os valores estimados.

Num modelo com função de ligação e forma funcional apropriados e bem ajustado a observações de uma variável de Poisson, o valor esperado do desvio deve ter valor próximo do número de graus de liberdade. Deste modo, o desvio médio (desvio dividido pelo número de graus de liberdade) deve ser próximo da unidade. Assim, sempre que o desvio médio seja próximo da unidade é possível aceitar-se que os modelos têm um erro com especificação de Poisson [11].

O Índice de Freeman-Tukey ([73] e [83]) consiste numa transformação da variância de uma variável de Poisson  $y_i$ , com uma média  $\lambda_i$  e é dado por:

$$R_{FT}^2 = 1 - \frac{\sum_i \hat{e}_i^2}{\sum_i (f_i - \bar{f})^2} \quad (3-22)$$

Em que,  $f_i = \sqrt{y_i} + \sqrt{y_i + 1}$ ,  $e_i = f_i - \varphi_i$ ,  $\varphi_i = \sqrt{4\lambda_i + 1}$  podendo os desvios ser calculados através da seguinte expressão:

$$\hat{e}_i = \sqrt{y_i} + \sqrt{y_i + 1} - \sqrt{4\hat{\lambda}_i + 1}. \quad (3-23)$$

No caso dos modelos de binomial negativa, o índice de Elvik permite quantificar a proporção da variação sistemática explicada pelo modelo [11]. Em presença de variação sistemática (associada à existência de sobre-dispersão), esta pode ser descrita através da seguinte expressão [29]:

$$Var(x) = \lambda \times (1 + \mu \lambda) \quad (3-24)$$

em que  $x$  corresponde à amostra de dados (frequência observada de acidentes),  $\lambda$  ao valor médio dos dados observados e  $\mu$  é o parâmetro de sobre-dispersão

Resolvendo esta expressão em função do parâmetro de sobre-dispersão tem-se [29]:

$$\mu = \frac{\frac{Var(x)}{\lambda} - 1}{\lambda} \quad (3-25)$$

O cálculo do Índice de Elvik é efetuado comparando o parâmetro de dispersão calculado para os dados de origem ( $\mu$ ) com o parâmetro de sobre-dispersão de um modelo ajustado. A percentagem de variação sistemática explicada pelo modelo é calculada pelo quociente entre as duas sobredispersões anteriormente determinadas, sendo os valores mais próximos da unidade associados a modelos mais bem ajustados [29].

#### 3.4.1.2 Seleção de modelos

Como referido anteriormente, sempre que existam modelos alternativos é necessário saber qual o modelo mais parcimonioso, isto é, com o menor número de variáveis explicativas, que ofereça uma boa interpretação do problema posto e que ainda se ajuste bem aos dados ([2] e [113])

O AIC é um critério de seleção de um modelo estatístico, baseado na função log-verosimilhança com a introdução de um fator de correção como modo de penalização pela complexidade do modelo [2], sendo definido por [60]:

$$AIC = -2 \log L + 2p \quad (3-26)$$

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 que, para o efeito, penaliza os modelos com elevado número de parâmetros. Um valor mais baixo para AIC é considerado como representativo de um melhor ajustamento e na seleção de modelos deve ter-se como objetivo a minimização de AIC [2].

Por outro lado, se o somatório das desviâncias de um modelo, (*sum of model deviance*),  $G^2$ , for igual a zero, pode dizer-se que o modelo tem um ajustamento perfeito. Este é, no entanto, um limite inferior teórico, uma vez que os valores observados ( $y_i$ ) são inteiros e os estimados ( $\hat{\lambda}_i$ ) são contínuos. Pode assim afirmar-se que o modelo com menor  $G^2$  será considerado o que possui melhor ajuste [113].

O somatório dos desvios do modelo,  $G^2$ , é dado por:

$$G^2 = 2 \sum_{i=1}^n y_i \ln \left( \frac{y_i}{\hat{\lambda}_i} \right) \quad (3-27)$$

Para a seleção de um modelo pode também ser utilizado o teste da razão de verossimilhança. Este é um teste comum utilizado na comparação de dois modelos. É obtido através da comparação entre um modelo completo e um modelo reduzido (sem algumas variáveis), sendo a estatística de teste calculada por [113]:

$$X^2 = -2[LNL(\beta_R) - LNL(\beta_u)] \quad (3-28)$$

Onde  $LNL(\beta_R)$  corresponde ao logaritmo da verossimilhança do modelo reduzido e  $LNL(\beta_u)$  ao logaritmo da verossimilhança do modelo completo.

### 3.4.2 Análise de resíduos

A análise de resíduos permite, por um lado, avaliar a qualidade de ajustamento de um modelo no que diz respeito à escolha da distribuição, da função de ligação e de termos do preditor linear, e, por outro, ajudar a identificar observações mal ajustadas (ou seja, que não são bem explicadas pelo modelo) [2].

Um resíduo  $R_i$  deve exprimir a discrepância entre o valor observado  $y_i$  e o valor  $\hat{\mu}_i$  ajustado pelo modelo. É conveniente, para uma análise adequada dos resíduos, que eles sejam padronizados e reduzidos, isto é, que tenham variância constante unitária e, preferencialmente, que sejam aproximadamente normalmente distribuídos [2]. No modelo linear normal, os resíduos devem ainda ser variáveis independentes.

No caso dos modelos lineares generalizados nem todas estas condições podem ser satisfeitas pelo que faz sentido considerar outras definições para os resíduos ([2] e [60]).

À semelhança da definição de resíduo para o modelo linear normal, pode definir-se o desvio residual padronizado por [60]:

$$e_i^* = \frac{\text{sinal}(y_i - \hat{\mu}_i) \sqrt{d_i}}{\sqrt{\hat{\phi}(1 - h_i)}} \quad (3-29)$$

Onde  $d_i$  corresponde ao contributo da  $i$ -ésima observação para a desviância<sup>7</sup> e  $h_i$  é a  $i$ -ésima entrada da diagonal da matriz  $W^{1/2} X (X'WX)^{-1} X'W^{1/2}$ , com  $W = \text{diag}(\hat{\mu}_1, \dots, \hat{\mu}_n)$  e sendo  $X$  a matriz de delineamento (*design matrix*).

Os numeradores designam-se por desvio residual (*deviance residuals*). A divisão por  $\sqrt{\hat{\phi}(1-h_i)}$  garante que os valores resultantes para os resíduos são, aproximadamente, normalmente distribuídos [60].

Em alternativa, a qualidade do ajuste dos modelos pode ser analisada pelo método originalmente definido por Hauer e Bamfo [45], designado por método CURE e utilizado em diversos estudos na área da segurança rodoviária. Este método 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. Cumulativamente, são apresentadas duas bandas de variação admissível para os mesmos ( $\pm 2\sigma^{*2}$ ), 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,  $\sigma^{*2}$ , calculada segundo a seguinte expressão [45]:

$$\sigma^{*2} = \sigma^2(n) \times \left[ \frac{1 - \sigma^2(n)}{\sigma^2(N)} \right] \quad (3-30)$$

Em que  $\sigma^2(n)$  corresponde aos valores parciais acumulados do quadrado dos resíduos e  $\sigma^2(N)$  ao valor total acumulado do quadrado dos resíduos.

Considera-se como 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  $\pm 2\sigma^{*2}$ .

### 3.4.3 Observações influentes

Outro aspeto importante na análise do desempenho de um modelo corresponde à deteção de observações influentes. Uma observação diz-se influente se, uma sua ligeira

---

<sup>7</sup> A desviância, ou desvio, pode ser decomposta na soma de parcelas  $d_i$  que medem a diferença dos logaritmos das verosimilhanças observada e ajustada para cada observação [2].



modificação ou exclusão do modelo, produz alterações significativas nas estimativas dos parâmetros desse modelo [2]. A sua presença pode, pois, originar um impacto indevido nas conclusões a retirar do modelo. A diagonal da matriz de projeção  $H$  é dada por [112]:

$$H = X(X^T X)^{-1} X \quad (3-31)$$

onde  $X$  é a matriz do modelo. O seu estudo permite definir pontos influentes (*leverage points*), ou seja, observações que afetam desmesuradamente o valor ajustado.

Na década de 1980, Cook (citado em [60]) desenvolveu uma técnica para medir a influência das observações de uma forma global, face a pequenas perturbações do modelo. Nesta técnica são medidas distâncias que representam a influência de cada observação nos coeficientes da regressão. Essa influência pode ser considerada elevada quando a distância de Cook excede “1” [112].

Um método alternativo é constituído pela função Dffits, que permite avaliar em que medida uma observação afeta o valor ajustado associado, e pela função Dfbetas, que corresponde à variação dos parâmetros estimados com a exclusão de observações, relativamente ao seu erro padrão [60]. Os Dfbetas refletem a alteração de um coeficiente em resultado da exclusão de determinada observação [112].

Para Lopes e Cardoso [60], pode classificar-se uma observação como influente se os valores absolutos de Dffits e de Dfbetas forem superiores a 1 para grupos de dados de pequena dimensão, e a  $3 \times (p/n)$  e  $2/\sqrt{n}$ , respetivamente, para grandes grupos de dados (em que  $n$  representa o tamanho da amostra e  $p$  o número de variáveis).

### **3.5 Aspectos metodológicos a ter em conta relacionados com dados de acidentes**

O desenvolvimento de modelos de estimativa da frequência esperada de acidentes consiste no estabelecimento de relações entre variáveis explicativas e o número de acidentes ou de vítimas, através de funções matemáticas. Este procedimento permite quantificar a variação da sinistralidade associada à alteração de cada variável explicativa considerada.

Neste âmbito, diversos autores têm vindo a identificar um conjunto de questões relacionadas com os dados e com aspetos metodológicos como potenciais fontes de erro na definição de modelos estatísticos, podendo originar estimativas desajustadas das frequências de acidentes. Essas questões foram recentemente sintetizadas por Reurings *et al.* [83] e Lord e Mannering [62] apresentando-se seguidamente a sua descrição, sendo aprofundados os aspetos mais relevantes para os modelos desenvolvidos. Foram ainda acrescentados os tópicos referentes aos dados agrupados por tipo de acidente e à interpretação das relações entre variáveis explicativas e de resposta, pela sua importância para o desenvolvimento do presente estudo.

### **3.5.1 Sobre-dispersão**

Em diversas ocasiões os dados sobre frequências de acidentes apresentam uma variância superior à média. Para Lord *et al.* [61], a sobre-dispersão dos valores observados é uma característica intrínseca do fenómeno da sinistralidade rodoviária, que resulta da probabilidade de ocorrência de acidentes não ser constante em cada ensaio.

Contudo, as propriedades da abordagem comum mais básica na modelação de dados de contagem (modelo de regressão de Poisson) requerem que a média e a variância sejam iguais. No caso de existência de sobre-dispersão, a estimação de um modelo através de uma regressão de Poisson pode resultar em estimativas de parâmetros enviesados e incorretos, que pode originar inferências incorretas sobre os fatores que afetam as frequências de acidentes ([56], [62] e [113]). A existência de sobre-dispersão tem efeitos, sobretudo, nos intervalos de confiança dos parâmetros estimados, que resultam subdimensionados se não forem tomados cuidados corretivos. Tal reflete-se com significativa relevância nas aplicações práticas dos modelos, designadamente as envolvendo o método empírico de Bayes.

### **3.5.2 Subdispersão**

Ainda que seja um fenómeno raro, os dados sobre acidentes podem também ser caracterizados pela existência de subdispersão, a qual ocorre quando a média destes dados é superior à sua variância. Nalguns estudos sobre a matéria foi constatado que os coeficientes estimados nestas condições são incorretos [62].

### **3.5.3 Variações temporais das variáveis explicativas**

Sendo os dados sobre acidentes respeitantes a um determinado intervalo de tempo, é recomendável que a evolução no tempo do valor das variáveis explicativas utilizadas nos modelos seja atendida. Contudo, tal raramente acontece, dada a generalizada ausência de dados detalhados sobre essa evolução [62]. Esta falha pode originar erros na estimação do modelo motivados por uma heterogeneidade não observada<sup>8</sup>.

### **3.5.4 Correlações espaciais e temporais**

Para evitar a perda de informação relativa à evolução no tempo de determinadas variáveis explicativas, é comum a adoção de intervalos de tempo mais pequenos. Se, por exemplo, se dividir a frequência anual de acidentes por doze, trabalhar-se-á com as frequências mensais de acidentes. Contudo, esta simplificação significa que cada entidade (intersecção ou segmento) gerará múltiplas observações correlacionadas no tempo, uma vez que muitos dos efeitos não observados de determinadas entidades permanecem constantes ao longo do tempo. Do ponto de vista estatístico, estabelece-se uma correlação nos termos de erro aleatório utilizados para a estimação do modelo, algo que afeta a exatidão dos coeficientes estimados. Da mesma forma, poderá haver correlação espacial, porque entidades na proximidade imediata podem partilhar efeitos não observados. Também neste caso se estabelece uma correlação entre observações nos termos de erro aleatório, daí resultando problemas na estimação dos parâmetros do modelo ([62] e [113]).

### **3.5.5 Reduzida dimensão da amostra e baixa média amostral**

Em virtude dos elevados custos associados ao processo de recolha de informação e à raridade da ocorrência de acidentes corporais, os dados sobre acidentes são frequentemente caracterizados por um número baixo de observações. Adicionalmente, se esses dados apresentarem poucos acidentes observados, é comum haver predominância de zeros. Os dados caracterizados por reduzida dimensão da amostra e baixa média amostral podem causar problemas na estimação de frequência de acidentes, através de um enviesamento excessivo em torno do zero, o que pode resultar em estimativas de parâmetros incorretos, que podem dar origem a inferências erróneas [62].

---

<sup>8</sup> A heterogeneidade é um termo utilizado para descrever amostras ou indivíduos de diferentes populações, que diferem no que diz respeito ao fenómeno em estudo. A heterogeneidade não observada é um problema que ocorre na modelação estatística quando determinados factores não observados (não incluídos no modelo) variam sistematicamente ao longo de toda a população [113].

### **3.5.6 Correlação entre dados agrupados por tipo de acidente e gravidade das consequências**

Os dados de acidentes são muitas vezes classificados de acordo com a gravidade das lesões dos envolvidos no acidente ou do tipo de colisão. Por exemplo, a classificação de um acidente pela pessoa mais gravemente ferida poderia resultar em acidentes classificados como mortais, com feridos graves, com feridos leves e com danos materiais. Da mesma forma, a classificação por tipo de acidente pode incluir resultados, tais como, colisão frontal, colisão traseira ou despiste. A abordagem de modelação mais comum consiste na agregação de todos os acidentes com vítimas, resultando na estimativa da frequência do total de acidentes com vítimas (incluindo todos os tipos de acidentes e de vítimas). A desagregação prévia dos dados de acidentes, por tipo e por gravidade das suas consequências, pode originar problemas estatísticos importantes, uma vez que há correlação entre os vários tipos de acidentes e as suas consequências. A resolução deste problema exige a definição de uma estrutura de modelo mais complexa, que permita ter em conta a correlação transversal [62].

### **3.5.7 Dados agrupados por tipo de acidente**

Este é um aspeto com particular relevância para os modelos de estimativa de frequência de acidentes com despiste, uma vez que os modelos deste tipo conhecidos [56] obrigam a uma desagregação prévia dos dados por tipo de acidentes, excluindo aqueles que envolvem mais do que um veículo.

No caso dos acidentes por saída da faixa de rodagem é frequente a modelação de acidentes envolvendo apenas um único veículo, como aconteceu, por exemplo, no estudo de Lee e Mannering [56] previamente referido.

Diversos estudos têm vindo a demonstrar que os acidentes envolvendo um único veículo (AEUV) e os acidentes envolvendo vários veículos (AEVV) apresentam diferenças significativas na sua relação com os fatores de exposição e com as características geométricas da estrada e da AAFR.

Num estudo norte-americano conduzido por Ivan [52], foram desenvolvidos modelos de acidentes de acordo com o número de veículos envolvidos. O estudo mostrou que o número esperado de AEUV diminui com o aumento do volume de tráfego, enquanto para AEVV ao aumento do volume de tráfego corresponde um aumento do número esperado de acidentes.

Recentemente, Geedipally e Lord [37] analisaram as potenciais diferenças na previsão de intervalos de confiança de modelos de binomial negativa quando a modelação de AEUV e AEVV é feita separadamente ou em conjunto. Para esta análise comparativa, foram recolhidos dados de acidentes em estradas rurais de quatro vias no Texas, tendo sido estimados modelos relativos a dois níveis de gravidade de acidentes: todos os acidentes e acidentes com vítimas mortais ou feridos graves.

Foram desenvolvidos modelos para AEUV e AEVV, juntamente com os intervalos de confiança para os parâmetros de Poisson ( $\lambda$ ) e de sobre-dispersão do modelo de binomial negativa ( $\alpha$ ), e para a variável dependente ( $y$ ), respetivamente. Foi ainda levado a cabo uma simulação pelo método de Monte Carlo para análise comparativa. Concluiu-se que há uma clara diferença na previsão de intervalos de confiança (para o parâmetro de Poisson, para o parâmetro de sobre-dispersão e para a variável dependente) de um modelo agregado de estimativa de acidentes (envolvendo todos os acidentes) e o somatório dos modelos desagregados (AEUV e AEVV). A combinação dos modelos desagregados (AEUV e AEVV) conduz a intervalos de confiança maiores do que os do modelo agregado de estimativa de acidentes, para ambos os níveis de gravidade de acidentes considerados (todos os acidentes e acidentes com vitimas mortais ou feridos graves). Complementarmente, verificou-se maior proximidade aos valores reais por parte dos modelos desagregados.

Assim, neste estudo recomenda-se a análise separada de AEUV e dos AEVV. No entanto, de acordo com Geedipally e Lord [37], os AEUV e os AEVV embora não sendo altamente correlacionados, não podem ser considerados independentes, pelo que é proposta a utilização de modelos de binomial negativa bivariados (*bivariate negative binomial model*) para analisar simultaneamente AEUV e AEVV.

### 3.5.8 Acidentes não registados

Quando se pretende modelar o total de acidentes (incluindo os acidentes só com danos materiais), há que ter conta o facto de muitos acidentes ocorridos não estarem contidos na base de dados, uma vez que não foram sequer registados. A dimensão deste problema é difícil de quantificar, já que o mesmo não é uniforme no espaço nem constante no tempo. Estudos recentes demonstraram que existe uma grande probabilidade de serem obtidas estimativas enviesadas quando este aspeto não é considerado no processo de modelação [62].

De acordo com um estudo realizado no final da década de 1980 por Hauer e Hakkert (citado em [44]), 20% dos acidentes que requerem hospitalização não são registados e, aproximadamente, metade dos acidentes com feridos também não. No caso de acidentes exclusivamente com danos materiais esse indicador sobe para 60%. Para além dos acidentes não registados é ainda necessário considerar aqueles que, apesar de registados, são mal codificados (como, por exemplo, os dados do condutor, o tipo de veículo, o local da colisão ou a localização do veículo na estrada) podendo este problema afetar cerca de 5% da informação recolhida [44].

Em relatório europeu recente, desenvolvido no âmbito do projeto europeu RANKERS [79], estima-se que apenas 10% do total de acidentes sejam registados. De acordo com esta fonte apenas os acidentes mais importantes são registados (provavelmente acidentes com vítimas) e comunicados às autoridades competentes, enquanto os menos graves são resolvidos pelos condutores sem a presença dessas mesmas autoridades.

No caso particular da AAFR, destaca-se o estudo de Ray [80], cujo objetivo consistiu na estimativa do número de colisões com barreiras de segurança não registadas e da distribuição das lesões nos ocupantes dos veículos em consequência destes acidentes. Os dados foram recolhidos durante 24 meses, entre 1997 e 1999, em barreiras de segurança em serviço (dos tipos G1, G2, G4 (1W) e G4 (1S)) nos estados de Connecticut, Iowa e Carolina do Norte dos EUA. Os dados revelaram que, por um lado, cerca de 75% das colisões com barreiras de segurança registadas pela polícia resultaram exclusivamente em danos materiais e, por outro, que nos trechos de controlo apenas 41% das colisões com barreiras de segurança foram registadas pela polícia.

Em Portugal, de acordo com Quintero [77], foram participados às seguradoras, em 2000 e em 2008, 681 154 e 757 164 sinistros, respetivamente. Nesses mesmos anos, foram registados, pela ANSR, 44 159 e 33 613 acidentes com vítimas ([7] e [8]). De acordo com estes dados, o número de acidentes registados pela ANSR variou entre 6.5% em 2000 e 4.4 % em 2008 dos acidentes participados às seguradoras. Haverá ainda a acrescentar aos acidentes participados, todos aqueles que não são sequer participados às seguradoras.

Finalmente, refira-se que esta lacuna é, atualmente, impossível de colmatar. A impossibilidade de ter dados verdadeiramente confiáveis sobre todos os acidentes ocorridos nas estradas nacionais e europeias permanecerá até que seja desenvolvido e usado pela população um sistema de registo voluntário de acidentes.

### **3.5.9 Enviesamento por variáveis omissas**

De acordo com Reurings *et al.* [83], um bom modelo ajusta-se adequadamente aos dados da forma mais simples possível e contém relações que podem presumir-se genericamente verdadeiras. Assim, a simplicidade de um modelo que contenha poucas variáveis explicativas (como por exemplo, aqueles em que apenas é usado o tráfego como variável explicativa) pode ser aliciente, dada a conjugação deste princípio com a facilidade da sua aplicação. No entanto, há que ter em conta que a omissão de variáveis importantes pode gerar resultados enviesados. Daqui podem resultar inferências e estimativas de frequência de acidentes erradas [113]. As variáveis omissas que estão correlacionadas com variáveis incluídas no modelo podem ter também este efeito [62].

### **3.5.10 Variáveis endógenas**

Por vezes, as variáveis explicativas presentes nos modelos podem ser endógenas, ou seja, variáveis cujo valor depende da frequência de acidentes. Este fenómeno tem sido estudado por vários autores, que têm comprovado o efeito da endogeneidade em variáveis como a presença de vias exclusivas de viragem à esquerda, ou de acidentes em zonas sinalizadas com a presença de gelo no pavimento. Muitas vezes, a presença deste tipo de dispositivos deve-se, precisamente, ao facto das frequências de acidente serem elevadas nos locais onde foram instalados. Ignorar esta situação pode levar a que se conclua erradamente que as vias exclusivas de viragem à esquerda ou a sinalização de gelo no pavimento provocam um aumento na frequência esperada de acidentes [62].

Sempre que é possível aplicar o método dos mínimos quadrados em modelos de regressão, a consideração de variáveis endógenas é relativamente simples [113]. No entanto, em modelos de dados de contagem, os métodos de estimação dos parâmetros normalmente aplicados não se prestam às tradicionais técnicas de correção de variáveis endógenas (ver 3.3.5). Como consequência, ter em conta as referidas variáveis acrescenta considerável complexidade ao processo de modelação de dados de contagem [62].

### **3.5.11 Forma funcional**

A forma funcional do modelo estabelece a relação entre a variável de resposta e as variáveis explicativas, sendo uma componente fundamental do processo de modelação. A maior parte dos modelos de dados de contagem assume que as variáveis explicativas influenciam a variável de resposta de forma linear ou linearizável. No entanto existe uma linha de pensamento que sugere haver variáveis cuja influência é melhor explicada por termos não lineares. É o caso, por exemplo da largura da via. A aplicação prática deste pressuposto requer técnicas de estimação bastante mais complexas, mas pode, de acordo com Lord *et al.* [62] revelar efeitos interessantes.

### **3.5.12 Parâmetros fixos**

A modelação estatística tradicional apenas permite a estimação de parâmetros constantes para as diversas observações. Isto implica a consideração de um efeito constante entre as variáveis explicativas e a frequência de acidentes para todas as observações. Esta consideração pode enviesar as estimativas obtidas e originar inferências erradas [62]. Existem técnicas de estimação que permitem a consideração de parâmetros variáveis, tal como a técnica descrita por Anastasopoulos e Mannering em [4] com o modelo generalizado de Binomial Negativa com parâmetros aleatórios ("*random-parameters negative binomial regression*"), embora estas técnicas compliquem significativamente o processo de estimação dos modelos.

### **3.5.13 Interpretação das relações entre variáveis explicativas e de resposta**

A discussão acerca da causalidade das relações estatísticas pode começar pela afirmação de que correlação e causalidade não são conceitos iguais. A correlação é condição



necessária, mas não suficiente, para a causalidade. O desenvolvimento de nexos de causalidade pressupõe a verificação de quatro condições ([11], [27] e [83]):

1. Para populações idênticas, a relação entre a variável de resposta e as variáveis explicativas deve ser clara, estável qualitativamente e, de preferência, também quantitativamente (coerência interna);
2. A verificação de que não há fatores plausíveis a influenciar simultaneamente quer a variável de resposta quer as variáveis explicativas (dependência na resposta);
3. O estabelecimento de um mecanismo que permita perceber teoricamente como as causas postuladas produzem o efeito.
4. A relação deve ter uma capacidade de previsão genuína, permitindo realizar afirmações contraditórias aos factos que serviram de suporte ao ajuste do modelo.

As duas primeiras condições são necessárias para a verificação da correlação entre variáveis, sendo somente com a terceira condição que se estabelece a ligação causal entre as respostas observadas e as variáveis explicativas, a qual é verificável com a confirmação da quarta condição [11].

O estabelecimento de uma relação causal acerca de um fenómeno corresponde essencialmente à solução de duas questões intimamente relacionadas: como se realiza o fenómeno (como ocorreu o acidente, ou se geraram os danos); e porque ocorre o fenómeno (porque ocorreu o acidente, ou os ferimentos). Para responder a estas questões é necessário recorrer à linguagem matemática, através de números, equações e gráficos [11].

A terceira condição corresponde à possibilidade de compreender a hipótese de terem ocorrido características diferentes das efetivamente verificadas. No caso de estimativas de valores futuros das variáveis explicativas, trata-se de previsões sobre o desempenho dos itens modelados.

Para Cardoso [11], a componente social é muito relevante no domínio da segurança rodoviária, pelo que a identificação dos mecanismos não depende inteiramente de métodos ou procedimentos estatísticos. O contributo da estatística para o estabelecimento da causalidade está sobretudo ligado a uma eventual demonstração de

que não é razoável supor que o efeito de causalidade seja o oposto do adotado, o que corresponderia a que a variável de resposta fosse na realidade uma variável explicativa do fenómeno.

Idealmente, no desenvolvimento de modelos de estimativa de frequência de acidentes a seleção das variáveis potencialmente relevantes deveria ser baseada num modelo causal, possivelmente apoiado num diagrama estruturante das relações entre as diversas variáveis e separando as endógenas das exógenas [11].

Para Reurings *et al.* [83] as variáveis explicativas devem incluir variáveis que:

1. Tenham demonstrado, em anteriores estudos, afetar a variável de resposta;
2. Sejam suscetíveis de medição válida e confiável;
3. Não sejam excessivamente correlacionadas entre si.

Na prática, a escolha é fortemente condicionada pela quantidade e qualidade dos dados disponíveis, sendo raros os casos em que a fundamentação teórica de tal seleção é explicitada. Este condicionamento é especialmente evidente no caso dos modelos de séries temporais<sup>9</sup> em que é grande o recuo histórico utilizado; contudo, também se verifica em modelos transversais<sup>10</sup>, cujos períodos de tempo analisado oscilam entre três e cinco anos, já que nem sempre são desenvolvidos esforços no sentido de suplementar os dados existentes com outros sobre variáveis explicativas potencialmente relevantes [11].

### **3.5.14 Notas finais**

Tal como referido por Hauer [44], é importante não esquecer que a engenharia de segurança rodoviária não é desenvolvida com base em ensaios de laboratório, sendo impossível o controlo de todos os fatores causais relevantes pela alteração voluntária de

---

<sup>9</sup> Os modelos de séries temporais (modelos de base temporal) envolvem várias observações da mesma entidade rodoviária ao longo do tempo. A unidade de observação é um período de tempo (hora, dia, mês, ano, etc.) [11].

<sup>10</sup> Os modelos transversais, ou de dados de contagem, permitem representar a variação entre variáveis que caracterizam a sinistralidade que se verifica em diferentes entidades rodoviárias, para um mesmo instante. São modelos de base espacial que exploram a variação entre a sinistralidade em diferentes entidades rodoviárias no mesmo período de tempo, relacionando os valores das diferentes contagens de acidentes com a variação de características das entidades [11].

um único fator. Não está, por isso, ao alcance da engenharia de segurança rodoviária o desenvolvimento de normas de confirmação ou refutação com o rigor que se verifica, por exemplo, na física ou na química. Também não é possível ambicionar a aproximação aos padrões de investigação da medicina ou da biotecnologia, uma vez que em engenharia de segurança rodoviária muito dificilmente se podem realizar experiências estatísticas aleatórias. Não obstante, mediante o recurso a grupos de controlo, a métodos corretivos dos fatores de enviesamento amostral e à melhoria das ferramentas matemáticas empregues, tem sido possível aperfeiçoar o conhecimento na área da segurança rodoviária.

## 4 MODELOS DE ESTIMATIVA DE FREQUÊNCIA DE ACIDENTES PARA A REDE RODOVIÁRIA NACIONAL

### 4.1 Introdução

Neste capítulo são apresentados os modelos de estimativa de frequência de acidentes (MEFA) desenvolvidos para um conjunto selecionado de trechos da Rede Rodoviária Nacional (RRN).

O *software* utilizado no desenvolvimento dos MEFA foi o R (versão 2.15.0) [78], tendo sido utilizadas as aplicações “MASS” [111] e “*car*” [35].

### 4.2 Dados recolhidos

Foi necessário recorrer a dados com um recuo histórico considerável, tendo em vista a obtenção de um conjunto de ocorrências utilizável estatisticamente.

Quando esta tarefa foi realizada datavam de 2010 os elementos mais recentes sobre sinistralidade (na base de dados do LNEC) e os relativos à infraestrutura disponíveis informaticamente, razão pela qual se limitou superiormente a análise a 2010. No entanto, no que diz respeito às estradas de faixa de rodagem única, a maioria dos dados referentes ao tráfego mais recentes datavam de 2005 pelo que se optou por diferenciar a recolha de dados em função do tipo de faixa de rodagem.

No que se refere aos dados recolhidos na base de dados de acidentes do LNEC, o conjunto de critérios de seleção de acidentes utilizado para acidentes por saída da faixa de rodagem foi o seguinte:

- Acidentes envolvendo um único veículo (no caso do atual “Boletim Estatístico de Acidentes de Viação” correspondentes a “Despistes”);
- Nenhum peão envolvido no acidente;
- Acidentes fora de cruzamentos;
- Acidentes no período compreendido entre 2002 e 2005 no caso de estradas de faixa de rodagem única e 2007 a 2010 no caso de estradas de dupla faixa de rodagem;

- Acidentes com mortos, feridos graves e feridos ligeiros;

No caso do total de acidentes excluíram-se os três primeiros critérios da lista anterior. No que diz respeito a estradas de dupla faixa de rodagem limitou-se a análise a trechos de autoestrada.

Assim, para efeitos de modelação da sinistralidade na RRN, os dados analisados neste estudo foram recolhidos a partir de 1938 trechos de estrada (1142 trechos bidirecionais em estradas de faixa de rodagem única e 796 trechos unidirecionais em estradas de dupla faixa de rodagem). Os acidentes sem vítimas não foram considerados neste relatório, por não serem registados nas estatísticas rodoviárias oficiais. Assim, neste capítulo, os acidentes com vítimas são simplesmente referidos como acidentes.

Tal como referido no relatório referente à tarefa WP2 – Análise de Dados De Sinistralidade e Modelação de Despistes [87] – importa, mais uma vez, salientar que as limitações associadas à utilização de dados históricos sobre a sinistralidade para o diagnóstico da insegurança rodoviária, são neste caso maiores do que o habitual, uma vez que os dados existentes em Portugal acerca da área adjacente à faixa de rodagem são, exclusivamente, relativos às bermas (e mesmo estes não constam de forma desagregada do “Boletim Estatístico de Acidentes de Viação”), não havendo, por exemplo, informação acerca da largura da zona livre ou a descrição do objeto com o qual o veículo colidiu.

Ainda assim, o conjunto de dados utilizado neste estudo inclui informação relativa às características da estrada, tais como o volume de tráfego e, na medida do possível, da geometria da estrada e da AAFR, bem como o número total de acidentes que ocorreu em cada trecho da RRN.

Para cada trecho de estrada, e para estradas de faixa de rodagem única ou dupla, foi registada a seguinte informação:

- **N\_Trecho:** identificação do trecho de estrada;
- **TMDA:** somatório do tráfego médio diário anual durante o período considerado (4 anos);
- **Extensão:** Comprimento do trecho de estrada (entre cruzamentos) em quilómetros;

- **N\_Acid**: número de acidentes corporais, fora da zona de cruzamentos.
- **N\_Desp**: número de acidentes corporais por saída da faixa de rodagem, fora da zona de cruzamentos.

A incorporação de dados de exposição ao risco é fundamental na modelação estatística de acidentes. Verifica-se que a capacidade de estimar o tráfego rodoviário é uma necessidade básica no domínio da modelação estatística de acidentes, uma vez que esta variável possui uma influência muito significativa na frequência de ocorrência de acidentes [10]. Assim, o tráfego médio diário anual (TMDA) corresponde a uma quantificação do número de veículos que todos os dias utilizam uma determinada estrada e, por via indireta, do volume de ensaios (ou eventos) suscetíveis de produzirem acidentes (ver 3.3.1).

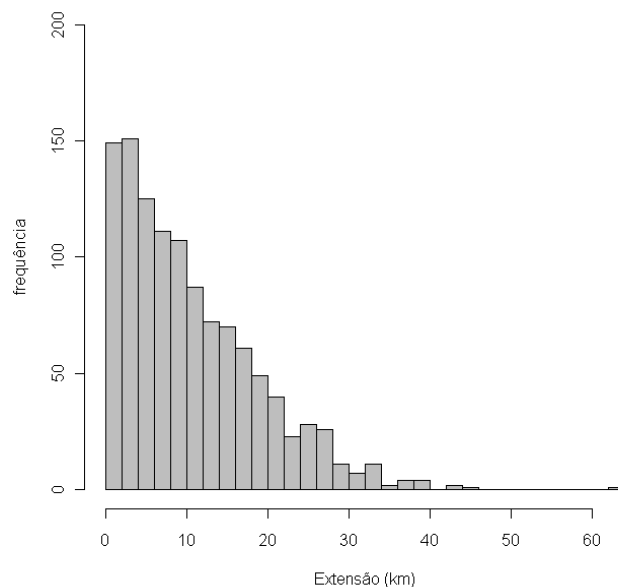
Caso a rede de estradas não seja dividida em trechos de comprimento idêntico, interessa, igualmente, obter modelos que dependam da extensão do trecho para o qual se vai estimar a frequência de acidentes. Assim, no presente estudo, a variável relativa à extensão do trecho foi definida como variável explicativa, à qual está associado um coeficiente representativo da sua relação com a ocorrência de acidentes e de despistes.

Segundo alguns autores, não é recomendada a consideração desta característica como uma variável explicativa. Para Lord *et al.* [64] a extensão de um trecho de estrada é uma medida de exposição, pelo que não explicará o risco de acidente e o correspondente coeficiente pode ser forçado a ter o valor unitário (ou seja, a probabilidade de ocorrência de acidentes tende a diminuir e a aumentar linearmente, consoante os segmentos são curtos ou longos). Contudo foi constatada por alguns autores a não linearidade entre esta relação, contradizendo o pressuposto anterior [112]. Esta não linearidade pode ser devida à interferência de atividades marginais à faixa de rodagem, tais como acessos de terrenos marginais ou atravessamentos de peões fora dos locais considerados para o efeito; também pode ser devida à não desagregação dos acidentes ocorridos em intersecções ou nós desnivelados. Num estudo português sobre a deteção de zonas de acumulação de acidentes na Rede Rodoviária Nacional [12] foi igualmente concluído que a relação entre a ocorrência de acidentes e o comprimento do segmento não é linear. A criteriosa seleção da amostra de acidentes (ou vítimas) a considerar na variável de resposta permite mitigar os problemas referidos.

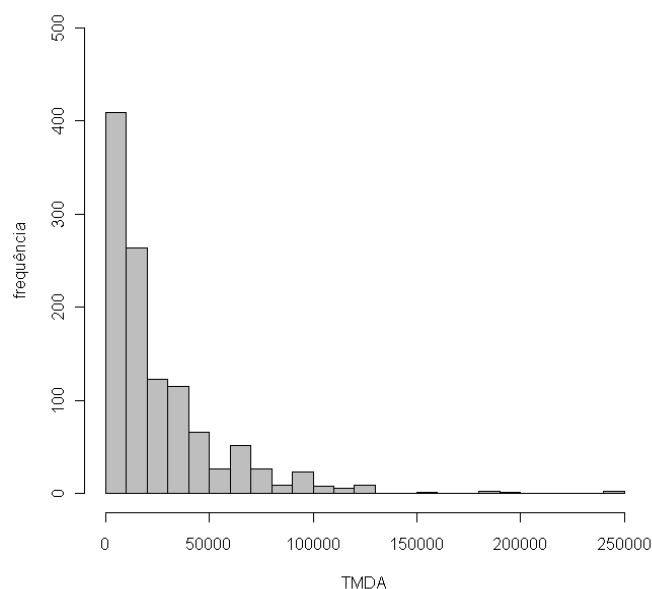
### 4.3 Características gerais das variáveis mais relevantes

A fim de ilustrar características genéricas dos dados que se apresentam seguidamente, foram produzidos alguns resumos gráficos.

A Figura 19 e a Figura 20 representam, respetivamente os histogramas da extensão e do TMDA dos trechos em análise em estradas de faixa de rodagem única.



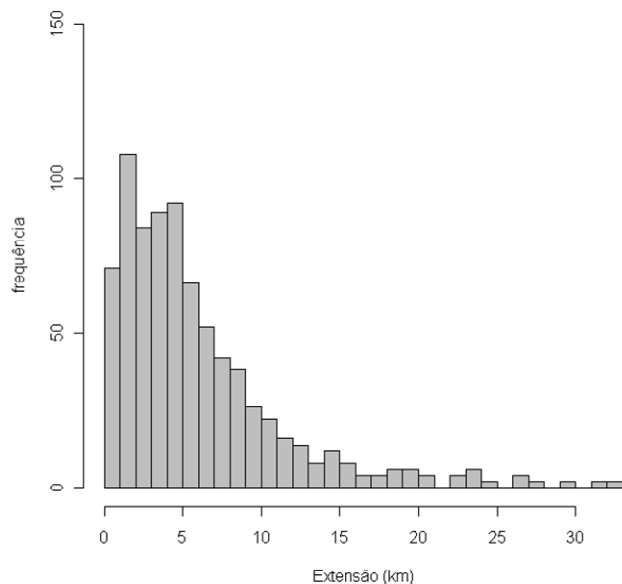
**Figura 19** – Histograma da extensão dos trechos para estradas de faixa de rodagem única



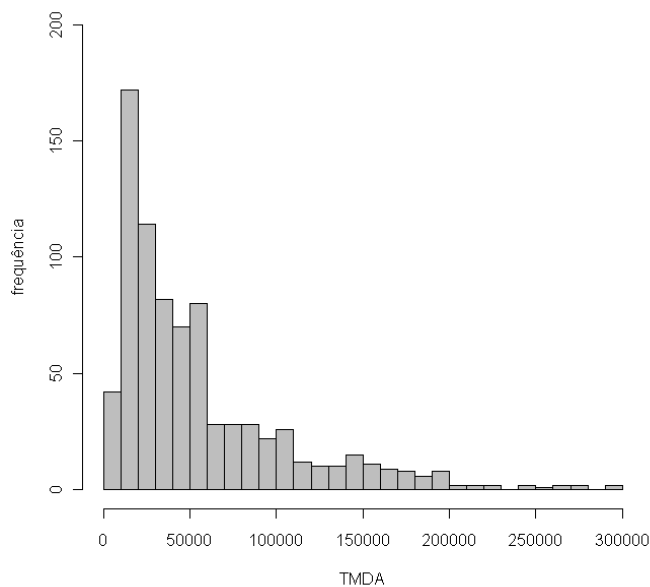
**Figura 20** – Histograma do TMDA para estradas de faixa de rodagem única

Verifica-se maior frequência de ocorrência de trechos cujo TMDA não é superior a 20 000 veículos e cuja extensão se situa entre 0 e 4 km.

Na Figura 21 e na Figura 22 encontram-se representados, respetivamente, os histogramas da extensão e do TMDA dos trechos em estradas de dupla faixa de rodagem.



**Figura 21** – Histograma da extensão dos trechos para estradas de dupla faixa de rodagem

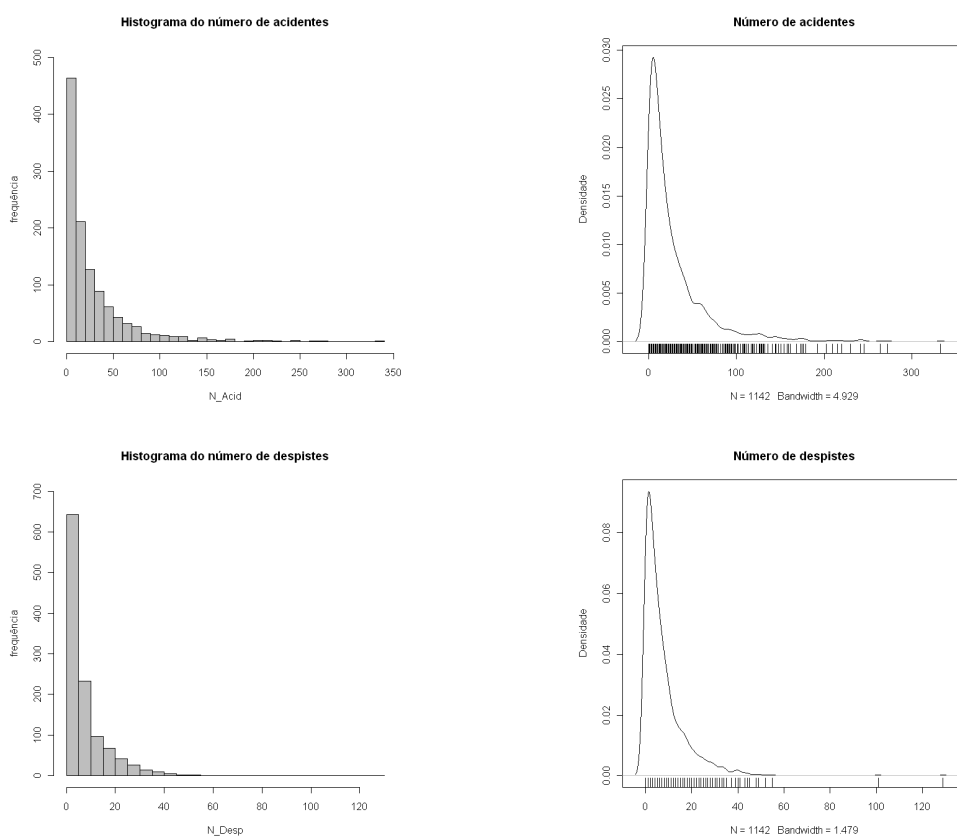


**Figura 22** – Histograma do TMDA para estradas de dupla faixa de rodagem

Tal como acontece nos trechos de estradas de faixa de rodagem única, verifica-se que a maioria dos trechos apresenta pequena extensão, neste caso não superior a 5 km. Os valores do TMDA situam-se, maioritariamente abaixo de 70 000 veículos.

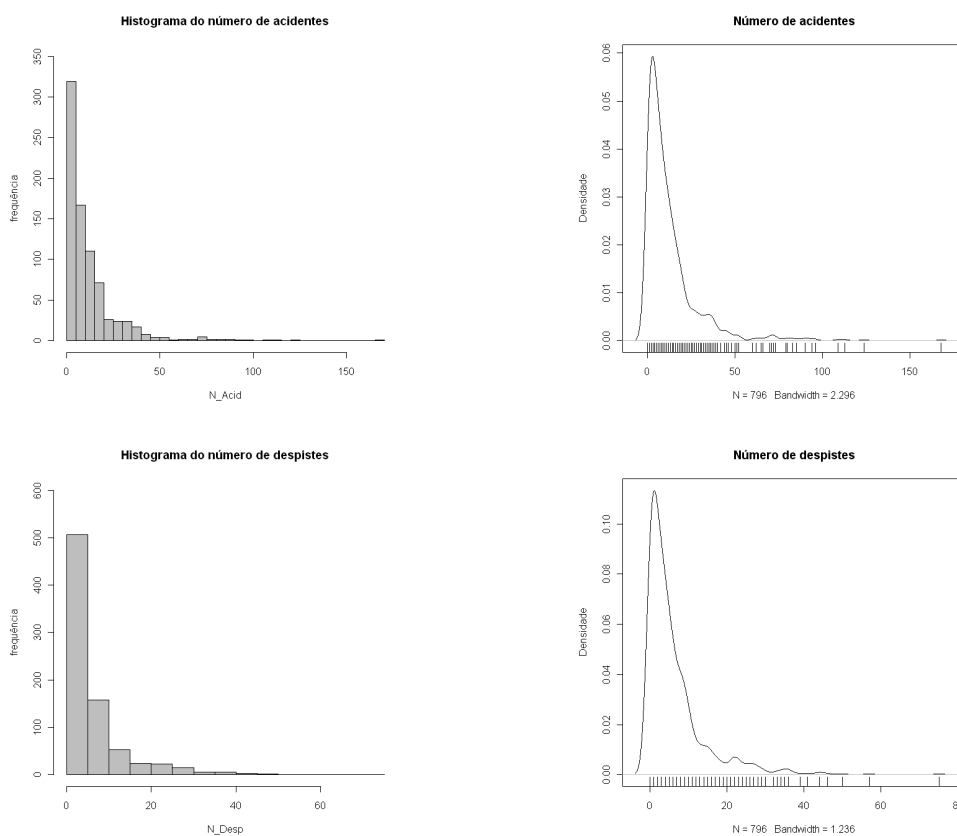


A Figura 23 apresenta os histogramas (do lado esquerdo) bem como os estimadores de densidade pelo método do núcleo da densidade das variáveis N\_Acid e N\_Desp (do lado direito). A inclusão na figura de estimadores de densidade de cada variável pelo método do núcleo permite complementar os histogramas através de uma representação mais satisfatória da distribuição das variáveis. Verifica-se que o número de acidentes mais frequente varia entre 0 e 50, o que significa que na maioria das secções em estradas de faixa de rodagem única ocorrem entre 0 e 50 acidentes. A maioria destes trechos apresenta entre 0 e 20 despistes. No trecho indexado como 141 (identificado como sendo um trecho do IC2 situado no distrito de Leiria) ocorreram 332 acidentes. Já no que diz respeito aos despistes, o valor máximo foi registado no trecho 435 (identificado como sendo um trecho do IP4 situado no distrito do Porto) onde ocorreram 129 despistes. Em termos globais, pode observar-se que as distribuições das duas variáveis são enviesadas para a direita, produzindo caudas longas.



**Figura 23** – Histogramas (do lado esquerdo) e estimadores de densidade (no lado direito) do número de acidentes e de despistes em estradas de faixa de rodagem única (2002 a 2005).

A Figura 24 apresenta os histogramas e estimadores de  $N\_Acid$  e  $N\_Desp$ , para estradas de dupla faixa de rodagem. Verifica-se que na maioria das secções nestas estradas ocorrem entre 0 e 20 acidentes e de 0 a 5 despistes. No trecho indexado como 308D (identificado como sendo um trecho da A2 situado no distrito de Setúbal) ocorreram 168 acidentes e no trecho 288E (identificado como sendo um trecho do A1 situado no distrito de Lisboa) ocorreram 75 despistes. Em termos globais, pode observar-se que, tal como se verifica para trechos de estradas de faixa de rodagem única, as distribuições das duas variáveis são enviesadas para a direita, produzindo, contudo, caudas não tão longas quanto as anteriores.



**Figura 24** – Histogramas, do lado esquerdo, e estimadores de densidade, no lado direito, do número de acidentes e despistes em estradas de dupla faixa de rodagem medidos entre 2007 e 2010.

Foram ajustados MEFA a duas variáveis explicativas: o número total de acidentes ( $N\_Acid$ ) e o número de despistes ( $N\_Desp$ ).

Os dados foram agrupados de acordo com diversos critérios, nomeadamente, a exclusão de trechos e variáveis com valores em falta. Este critério foi utilizado para excluir trechos de autoestrada abertos ao tráfego após 2006 e aqueles para os quais não havia informações acerca da respetiva data de abertura.

No Quadro 15 apresenta-se um resumo com o número de trechos, soma das suas extensões, volume de tráfego e soma do número de acidentes e despistes recolhidos durante o período considerado (quatro anos) para cada tipo de faixa de rodagem.

**Quadro 15** – Estatísticas selecionadas das redes analisadas.

Tipo de faixa de rodagem	Número de trechos	Soma das extensões (km)	Circulação rodoviária (10 <sup>6</sup> veículos x km)	Número de acidentes	Número de despistes
Única	1142	12 095.94	355 514	32 429	8 639
Dupla	796	4 806.18	212 691	10 021	4 970

#### 4.4 Método

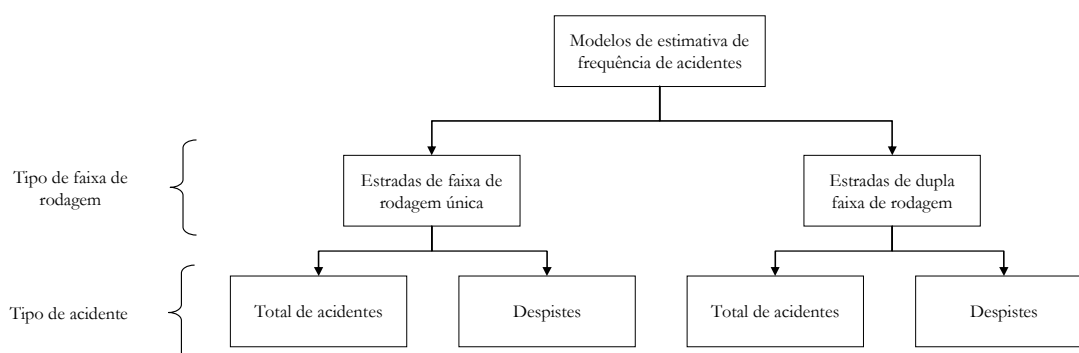
O desenvolvimento dos MEFA foi efetuado através da utilização das técnicas de Modelação Linear Generalizada (aplicando o método da máxima verosimilhança), mais concretamente através do Modelo de Binomial Negativa (ver 3.3.3). A adoção deste tipo de modelo ficou a dever-se ao facto de todas as amostras apresentarem sobre-dispersão.

Tal como referido nas conclusões do Capítulo 2, foi considerada uma desagregação por tipo de faixa de rodagem: estradas de faixa de rodagem única e estradas de dupla faixa de rodagem.

O procedimento de avaliação das alternativas de intervenção na AAFR a desenvolver no âmbito da tarefa WP8 – Arquitetura do Sistema de Avaliação das Alternativas – assenta numa lista de intervenções corretivas pertinentes, cujos efeitos são uma componente fundamental para a estimativa dos benefícios no âmbito da análise custo-benefício (ACB) prevista na referida tarefa. Os resultados dos estudos de avaliação dos efeitos da realização de intervenções corretivas sobre a frequência esperada de acidentes nem sempre referem o tipo de acidente afetado por essas intervenções. No caso das

intervenções corretivas envolvendo a AAFR, os referidos estudos exprimem os resultados em termos da totalidade dos acidentes ou cingindo-os unicamente aos acidentes diretamente associados à AAFR (ou seja, despistes). Assim, na presente tarefa, foram desenvolvidos MEFA para duas tipologias de acidentes: total de acidentes (MEFA) e despistes (MEFD).

O esquema das desagregações consideradas é apresentado na Figura 25.



**Figura 25** – Esquema das desagregações consideradas nos modelos desenvolvidos.

A seleção das variáveis explicativas a incluir nos modelos foi realizada recorrendo aos métodos de regressão passo a passo<sup>11</sup> (*stepwise regression*). O nível de significância escolhido foi de 5%.

As variáveis explicativas TMDA e Extensão (por não terem valores nulos) foram transformadas para a escala logarítmica. Estas transformações permitem reduzir os desvios e minimizar a heterocedasticidade entre variáveis [42].

As estatísticas de ajuste utilizadas para avaliar a qualidade obtida na modelação foram:

- Critério de Informação de Akaike (AIC).

<sup>11</sup> A regressão passo a passo é um procedimento que se baseia num o critério estatístico definido, como por exemplo o  $R_p^2$ , para seleccionar o "melhor" modelo entre os diversos modelos concorrentes gerados pelo procedimento. A regressão passo a passo pode ser regressiva ou progressiva. No caso do método regressivo, a selecção de variáveis explicativas inicia-se com todas as variáveis independentes no modelo e a remoção das mesmas é feita individualmente, sempre que estas não cumpram o critério estatístico definido. Por oposição no método progressivo, a selecção de variáveis explicativas inicia-se com um modelo sem variáveis independentes, ao qual vão sendo adicionadas variáveis, uma de cada vez, desde que cumpram o critério estatístico definido [113].

- Somatório dos desvios do modelo ( $G^2$ );
- Desvio médio do modelo (MAD)
- $R_p^2$ ;
- Índice de Elvik.

Tendo em vista a identificação de observações influentes nos coeficientes da regressão, recorreu-se às distâncias de Cook. 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 pode igualmente 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. Optou-se pela exclusão de observações atípicas, no caso de serem, cumulativamente, identificadas como influentes pelas distâncias de Cook e serem consideradas atípicas nos gráficos anteriormente referidos.

#### **4.5 MEFA para estradas de faixa de rodagem única**

Neste subcapítulo são apresentados em detalhe os modelos de estimativa de frequência de acidentes e despistes desenvolvidos para estradas de faixa de rodagem única.

##### **4.5.1 Acidentes totais**

Neste modelo foram realizadas análises tendo em conta todos os valores de TMDA e de Extensão. A variável de resposta foi o número total de acidentes ( $N\_Acid$ ).

No Quadro 16 é apresentado um conjunto selecionado de estatísticas para o modelo obtido após seleção das variáveis explicativas de acordo com os critérios previamente estabelecidos.

**Quadro 16** – Estatísticas do MEFA em estradas de faixa de rodagem única

	Estimativas			
	Coefficiente	Desvio padrão	z-value	Pr(>  z )
Constante	-6.869	0.275	-24.98	<2x10 <sup>-16</sup>
log(TMDA)	0.826	0.026	32.21	<2x10 <sup>-16</sup>
log(Extensão)	0.905	0.028	32.90	<2x10 <sup>-16</sup>
Parâmetro de sobre-dispersão, $\alpha$	0.602			
Número de observações	1142			
AIC	8844.175			
G <sup>2</sup>	14779.529			
MAD	14.471			
Índice de Elvik	0.664			
R <sub>p</sub> <sup>2</sup>	0.705			

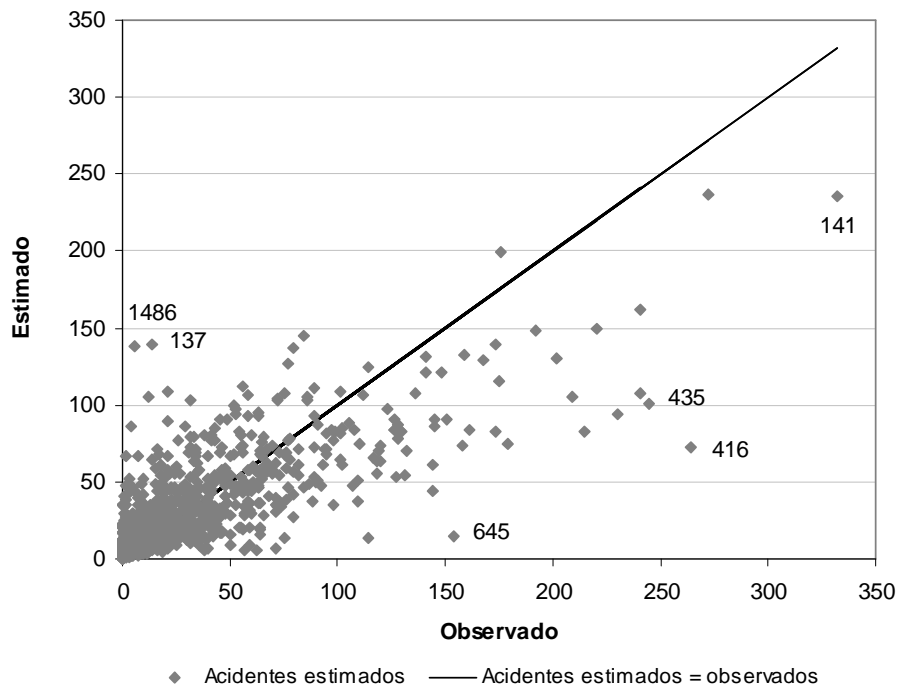
O MEFA assim ajustado dá o número esperado de acidentes,  $\lambda_i$ , para um período de quatro anos e para um trecho de estrada bidirecional de faixa de rodagem única  $i$ , de acordo com a seguinte expressão:

$$\lambda_i = 1.040 \times 10^{-4} \times TMDA_i^{0.826} \times Extensão_i^{0.905} \quad (4-1)$$

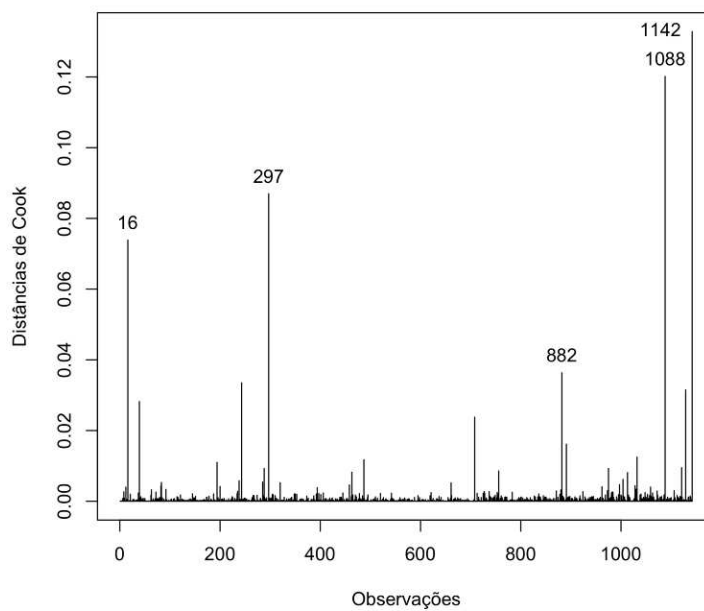
Onde *TMDA* corresponde ao tráfego médio diário anual durante o período de tempo considerado (quatro anos) e *Extensão* à extensão do trecho  $i$  em quilómetros.

Este modelo apresenta um valor de MAD de 14.471; o índice de Elvik é de 0.664, ou seja o modelo explica cerca de 66% da variação sistemática observada no número de acidentes; a confiança neste valor é reforçada pela semelhança com o valor do R<sup>2</sup> ajustado (0.705).

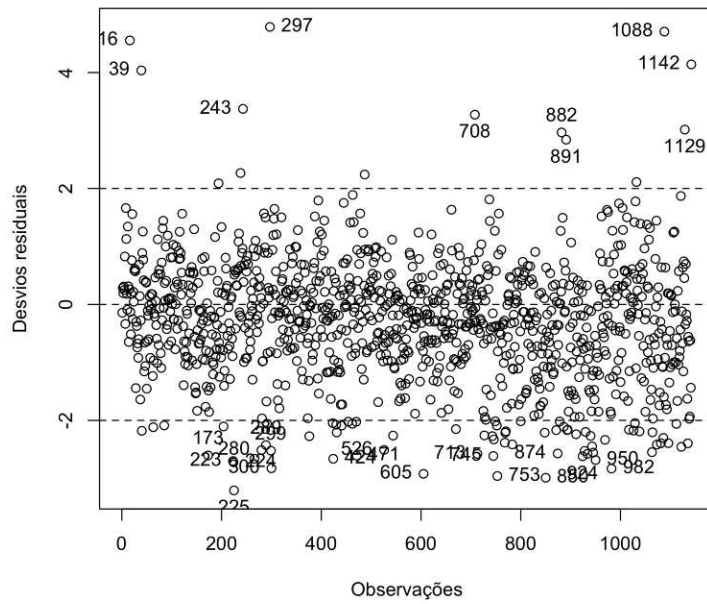
Na Figura 26 é apresentada a comparação entre os números de acidentes observados e os números de acidentes estimados com a equação anterior. As observações 141, 416, 435 e 654 são aquelas para as quais se verificaram maiores diferenças entre os valores observados e os estimados. Foi efetuada a análise detalhada para averiguar se tais trechos, ou outros, são influentes e atípicos, através das distâncias de Cook e dos gráficos relativos aos desvios residuais e aos pontos de influência (ver Figura 27, Figura 28 e Figura 29).



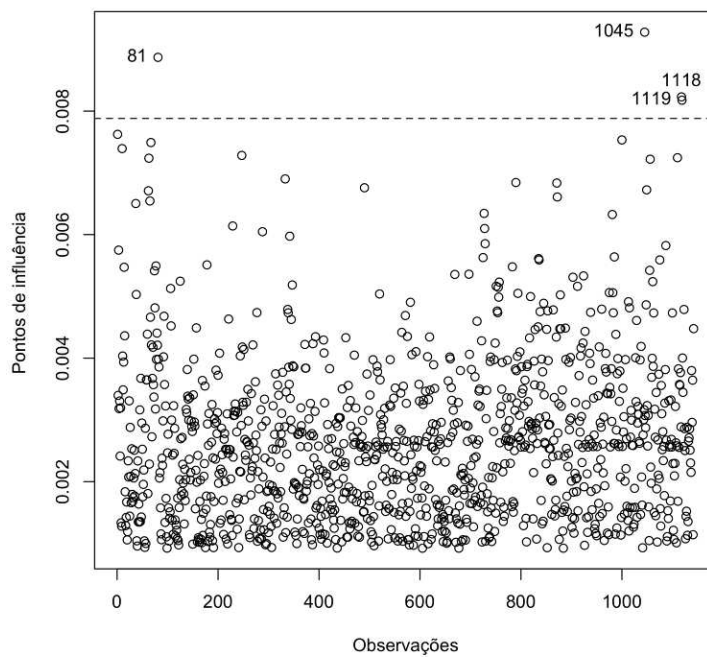
**Figura 26** – Acidentes estimados e observados com o MEFA para estradas de faixa de rodagem única.



**Figura 27** – Distâncias de Cook obtidas para o MEFA para estradas de faixa de rodagem única.



**Figura 28** – Desvios residuais em função das observações, obtidos com o MEFA para estradas de faixa de rodagem única.



**Figura 29** – Pontos de influência em função das observações, obtidos com o MEFA para estradas de faixa de rodagem única.

Da análise da Figura 27 constata-se que as observações 16, 297, 1088 e 1142 são as mais influentes, ainda que as distâncias de Cook não permitam classificá-las como pontos



influentes, uma vez que essa influência só é considerada elevada quando a distância de Cook excede “1”, o que não acontece neste caso.

Esta análise pode ser complementada com a leitura dos gráficos dos desvios residuais (Figura 28) e dos pontos de influência (Figura 29). Do primeiro gráfico é possível observar que várias observações excedem o limite de “2” e “-2”, considerados como a fronteira para a classificação de “valores atípicos”, nomeadamente as observações 16, 297, 1088 e 1142

Assim foram removidas da amostra inicial as observações 16, 297, 1088 e 1142 (ver Quadro 17) e testado um novo modelo.

**Quadro 17** – Estatísticas das variáveis independentes e potenciais observações influentes

Variável	Média	Mediana	Observações			
			16	297	1088	1142
TMDA	25736.55	16010.16	7550	5912	3775	37751
Extensão	10.59	8.47	4.74	13.58	7.11	0.99

Os parâmetros do novo modelo são apresentados no Quadro 18. Verifica-se uma melhoria sensível na qualidade de ajuste, salientando-se que o índice de Elvik subiu de 0.664 para 0.693 e o  $R_p^2$  de 0.705 para 0.733.

**Quadro 18** – Estatísticas do MEFA em estradas de faixa de rodagem única sem observações influentes

	Estimativas			
	Coefficiente	Desvio padrão	z-value	Pr(>  z )
Constante	-7.23953	0.26795	-27.02	<2x10 <sup>-16</sup>
log(TMDA)	0.85522	0.02488	34.37	<2x10 <sup>-16</sup>
log(Extensão)	0.93048	0.02691	34.57	<2x10 <sup>-16</sup>
Parâmetro de sobre-dispersão, $\alpha$		0.553		
Número de observações		1138		
AIC		8714.262		
G <sup>2</sup>		13551.256		
MAD		14.131		
Índice de Elvik		0.693		
$R_p^2$		0.733		

O MEFA assim ajustado dá o número esperado de acidentes,  $\lambda_i$ , para um período de quatro anos e para um trecho de estrada bidirecional de faixa de rodagem única  $i$ , de acordo com a seguinte expressão:

$$\lambda_i = 7.176 \times 10^{-4} \times TMDA_i^{0.855} \times Extens\tilde{a}o_i^{0.930} \quad (4-2)$$

Onde *TMDA* corresponde ao tráfego médio diário anual durante o período de tempo considerado (quatro anos) e *Extens\tilde{a}o* à extensão do trecho *i* em quilómetros.

#### 4.5.2 Despistes

Neste modelo foram realizadas análises tendo em conta todos os valores de *TMDA* e de *Extens\tilde{a}o*. A variável de resposta foi o número de despistes (*N\_Desp*).

No Quadro 19 é apresentado um conjunto selecionado de estatísticas para o modelo obtido após seleção das variáveis explicativas de acordo com os critérios previamente estabelecidos.

**Quadro 19** – Estatísticas do MEFD em estradas de faixa de rodagem única

	Estimativas			
	Coefficiente	Desvio padrão	z-value	Pr(>  z )
Constante	-5.779	0.290	-19.91	<2x10 <sup>-16</sup>
log( <i>TMDA</i> )	0.557	0.026	21.19	<2x10 <sup>-16</sup>
log( <i>Extens\tilde{a}o</i> )	1.024	0.032	32.30	<2x10 <sup>-16</sup>
Parâmetro de sobre-dispersão, $\alpha$	0.485			
Número de observações	1142			
AIC	6144.790			
G <sup>2</sup>	4766.648			
MAD	4.148			
Índice de Elvik	0.684			
R <sub>p</sub> <sup>2</sup>	0.612			

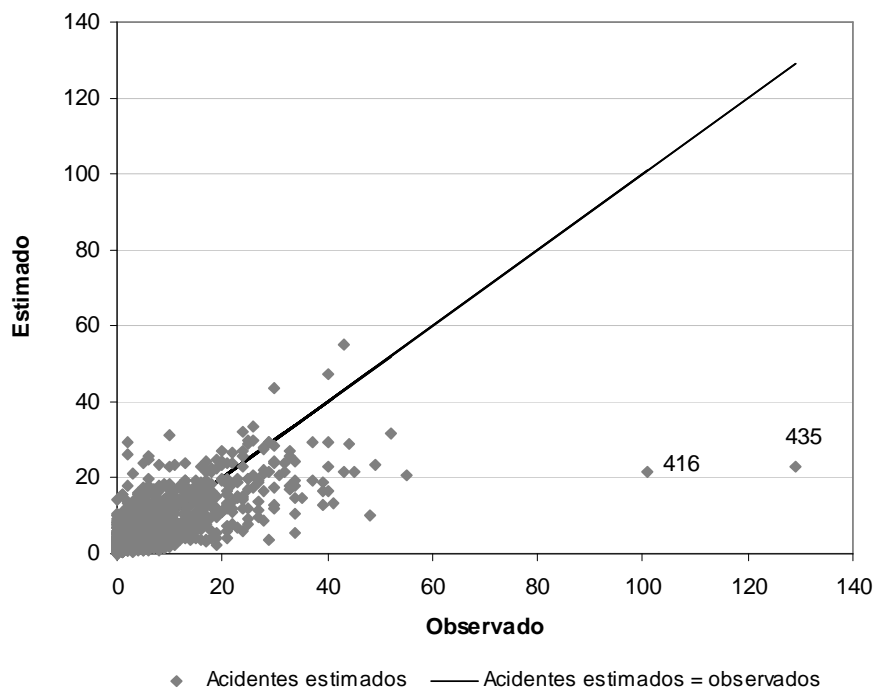
O MEFD assim ajustado dá o número esperado de despistes,  $\lambda_i$ , para um período de quatro anos e para um trecho de estrada bidirecional de faixa de rodagem única *i*, de acordo com a seguinte expressão:

$$\lambda_i = 3.092 \times 10^{-3} \times TMDA_i^{0.557} \times Extens\tilde{a}o_i^{1.024} \quad (4-3)$$

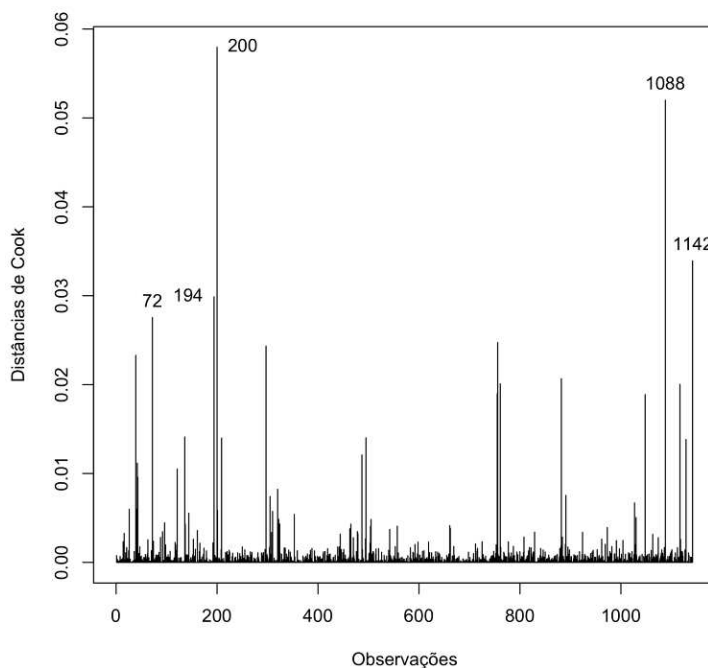
Onde *TMDA* corresponde ao tráfego médio diário anual durante o período de tempo considerado (quatro anos) e *Extens\tilde{a}o* à extensão do trecho *i* em quilómetros.

Na Figura 30 é apresentada a comparação entre os números de despistes observados e os números de despistes estimados com a equação anterior. As observações 416 e 435 são aquelas para as quais se verificaram maiores diferenças entre os valores observados e os estimados. Tal como no caso do total de acidentes, foi efetuada a análise detalhada para

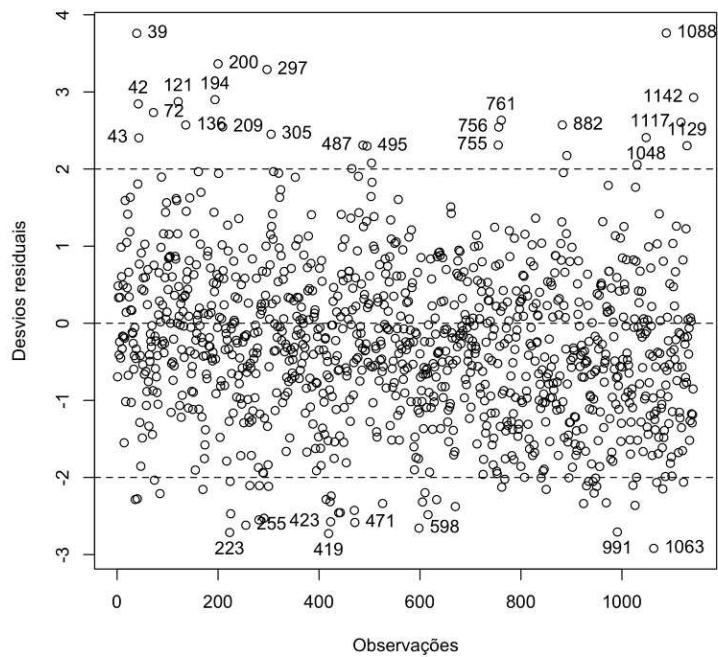
averiguar se tais trechos, ou outros, são influentes e atípicos, através das distâncias de Cook e dos gráficos relativos aos desvios residuais e aos pontos de influência (ver Figura 31, Figura 32 e Figura 33).



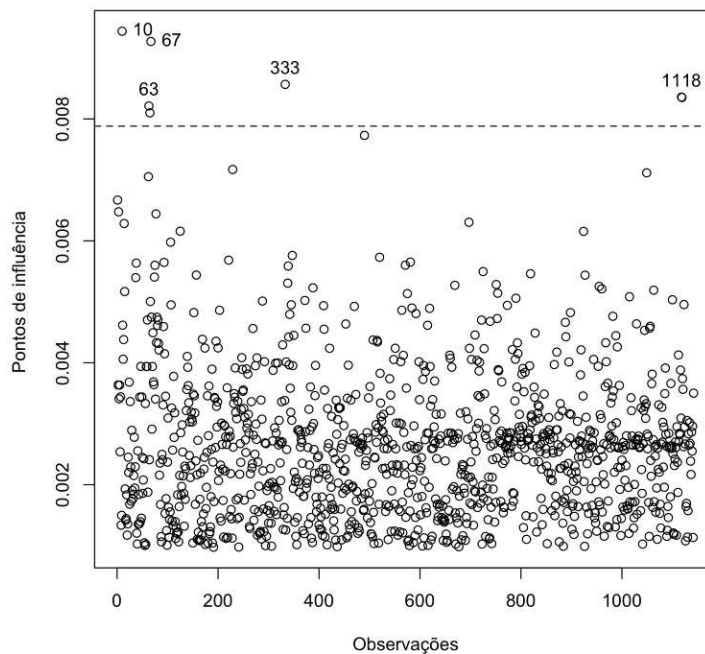
**Figura 30** – Acidentes estimados e observados com o MEFD para estradas de faixa de rodagem única.



**Figura 31** – Distâncias de Cook obtidas para o MEFD para estradas de faixa de rodagem única.



**Figura 32** – Desvios residuais em função das observações, obtidos com o MEFD para estradas de faixa de rodagem única.



**Figura 33** – Pontos de influência em função das observações, obtidos com o MEFD para estradas de faixa de rodagem única.

Da análise das figuras anteriores constata-se que as observações 200, 1088 e 1142 (ver Quadro 20) são consideradas atípicas, no entanto as distâncias de Cook não permitiram classificá-las como pontos influentes. Ainda assim foram removidas da amostra inicial e testado um novo modelo.

**Quadro 20** – Estatísticas das variáveis independentes e potenciais observações influentes

Variável	Média	Mediana	Observações		
			200	1088	1142
TMDA	25736.55	16010.16	49877	3775	37751
Extensão	10.59	8.47	16.73	7.11	0.99

Verificou-se uma degradação na qualidade de ajuste do modelo, pelo que as observações foram mantidas na amostra de dados a modelar.

#### 4.6 Estradas de dupla faixa de rodagem

Neste sub-capítulo são apresentados em detalhe os modelos de estimativa de frequência de acidentes e despistes desenvolvidos para estradas de dupla faixa de rodagem.

##### 4.6.1 Modelo de estimativa de frequência de acidentes

Neste modelo foram realizadas análises tendo em conta todos os valores de TMDA e de Extensão. A variável de resposta foi o número total de acidentes (N\_Acid).

No Quadro 21 é apresentado um conjunto selecionado de estatísticas para o modelo obtido após seleção das variáveis explicativas de acordo com os critérios previamente estabelecidos.

**Quadro 21** – Estatísticas do MEFA em estradas de faixa de rodagem única

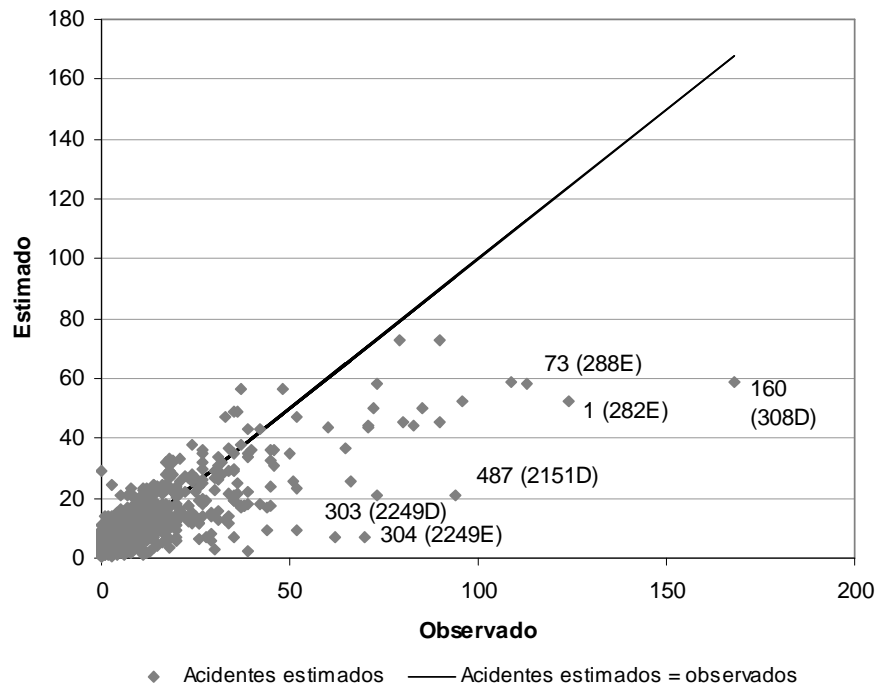
	Estimativas			
	Coefficiente	Desvio padrão	z-value	Pr(>  z )
Constante	-8.541	0.428	-19.94	<2x10 <sup>-16</sup>
log(TMDA)	0.913	0.038	24.31	<2x10 <sup>-16</sup>
log(Extensão)	0.773	0.035	21.88	<2x10 <sup>-16</sup>
Parâmetro de sobre-dispersão, $\alpha$	0.499			
Número de observações	796			
AIC	5096.045			
G <sup>2</sup>	5429.381			
MAD	6.153			
Índice de Elvik	0.703			
R <sub>p</sub> <sup>2</sup>	0.629			

O MEFA assim ajustado dá o número esperado de acidentes,  $\lambda_i$ , para um período de quatro anos e para um trecho de estrada unidirecional de dupla faixa de rodagem  $i$ , de acordo com a seguinte expressão:

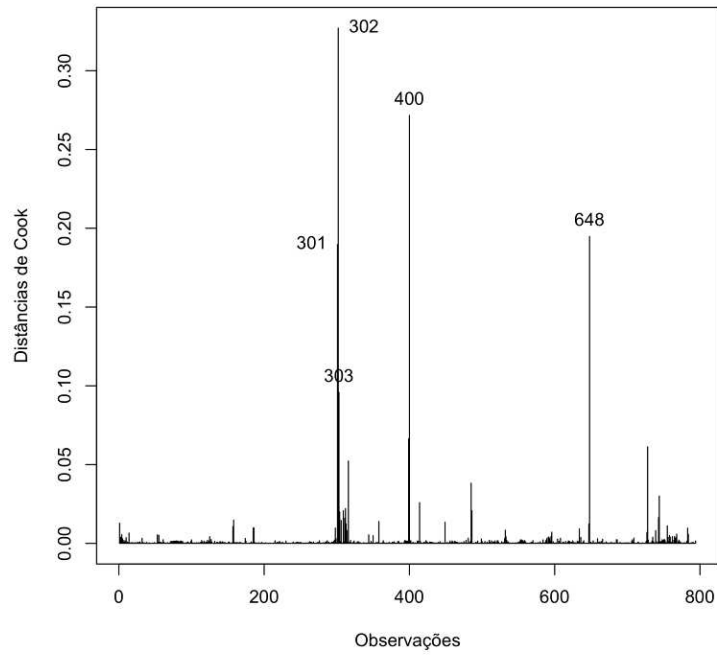
$$\lambda_i = 1.953 \times 10^{-4} \times TMDA_i^{0.913} \times Extensão_i^{0.773} \quad (4-4)$$

Onde  $TMDA$  corresponde ao tráfego médio diário anual durante o período de tempo considerado (quatro anos) e  $Extensão$  à extensão do trecho  $i$  em quilómetros.

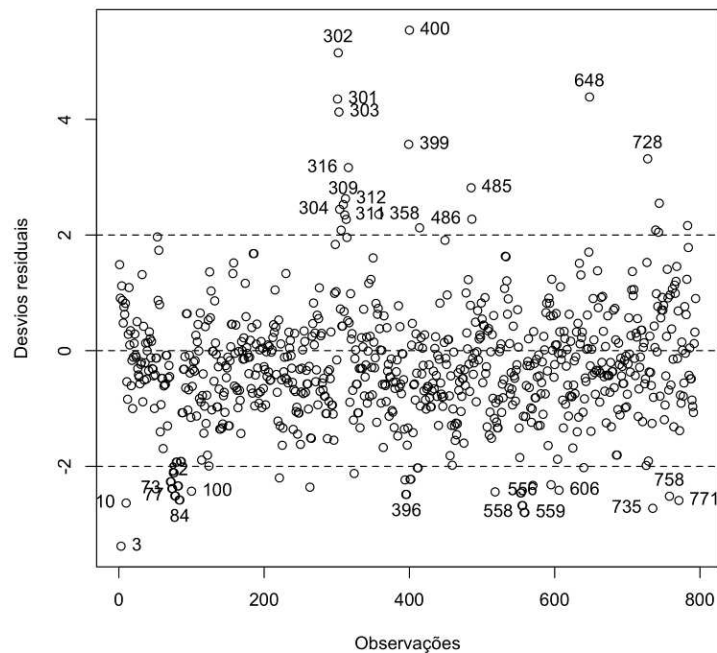
Na Figura 34 é apresentada a comparação entre os números de acidentes observados e os números de acidentes estimados com a equação anterior. As observações 1, 160, 304, e 487 são aquelas para as quais se verificaram maiores diferenças entre os valores observados e os estimados. Foi efetuada a análise detalhada para averiguar se tais trechos, ou outros, são influentes e atípicos, através das distâncias de Cook e dos gráficos relativos aos desvios residuais e aos pontos de influência (ver Figura 35, Figura 36 e Figura 37).



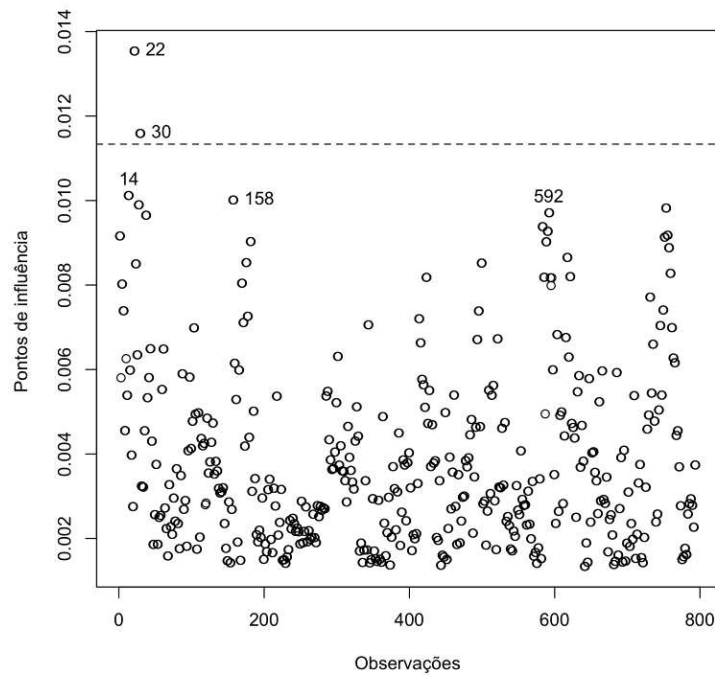
**Figura 34** – Acidentes estimados e observados com o MEFA para estradas de dupla faixa de rodagem.



**Figura 35** – Distâncias de Cook obtidas para o MEFA para estradas de dupla faixa de rodagem.



**Figura 36** – Desvios residuais em função das observações, obtidos com o MEFA para estradas de dupla faixa de rodagem.



**Figura 37** – Pontos de influência em função das observações, obtidos com o MEFA para estradas de dupla faixa de rodagem.

Da análise das figuras anteriores constata-se que as observações 301, 302, 400 e 648 são consideradas atípicas, no entanto as distâncias de Cook não permitiram classificá-las como pontos influentes. Ainda assim foram removidas da amostra inicial e testado um novo modelo.

Face à manutenção da qualidade de ajuste do modelo foram mantidas na amostra de dados a modelar as observações constantes do Quadro 22.

**Quadro 22** – Estatísticas das variáveis independentes e potenciais observações influentes

Variável	Média	Mediana	Observações			
			301	302	400	648
TMDA	55595.22	37749.50	9575	9575	16873	33765
Extensão	6.04	4.52	1.6	1.6	13.7	3.99

#### 4.6.2 Modelo de estimativa de frequência de despistes

Neste modelo foram realizadas análises tendo em conta todos os valores de TMDA e de Extensão. A variável de resposta foi o número de despistes ( $N_{\text{Desp}}$ ).



No Quadro 23 é apresentado um conjunto selecionado de estatísticas para o modelo obtido após seleção das variáveis explicativas de acordo com os critérios previamente estabelecidos.

**Quadro 23** – Estatísticas do MEFD em estradas de dupla faixa de rodagem

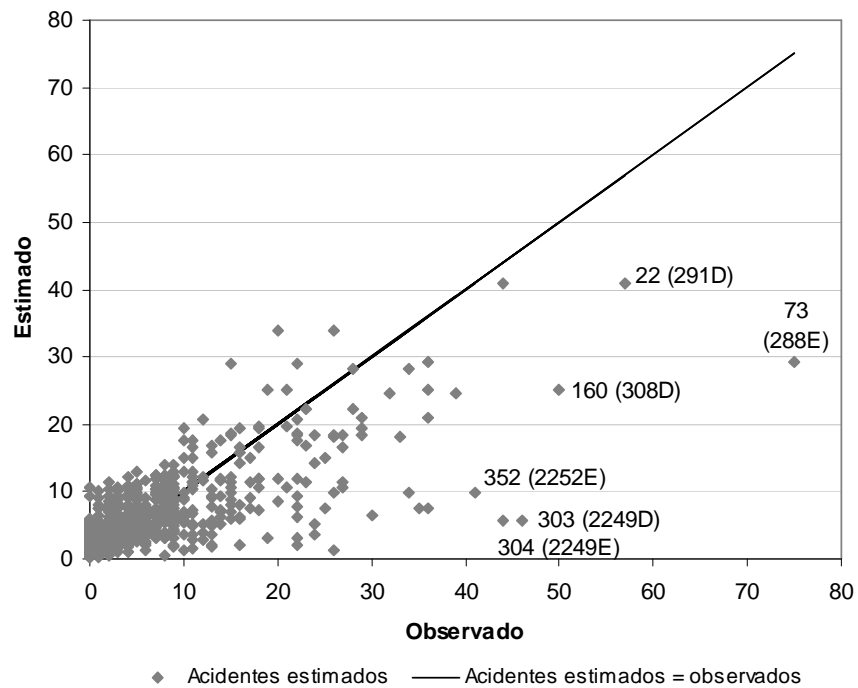
	Estimativas			
	Coefficiente	Desvio padrão	z-value	Pr(>  z )
Constante	-7.291	0.487	-14.96	<2x10 <sup>-16</sup>
log(TMDA)	0.713	0.043	16.75	<2x10 <sup>-16</sup>
log(Extensão)	0.904	0.041	21.90	<2x10 <sup>-16</sup>
Parâmetro de sobre-dispersão, $\alpha$	0.564			
Número de observações	796			
AIC	4161.783			
G <sup>2</sup>	3249.453			
MAD	3.423			
Índice de Elvik	0.635			
R <sub>p</sub> <sup>2</sup>	0.479			

O MEFA assim ajustado dá o número esperado de despistes,  $\lambda_i$ , para um período de quatro anos e para um trecho de estrada unidirecional de dupla faixa de rodagem  $i$ , de acordo com a seguinte expressão:

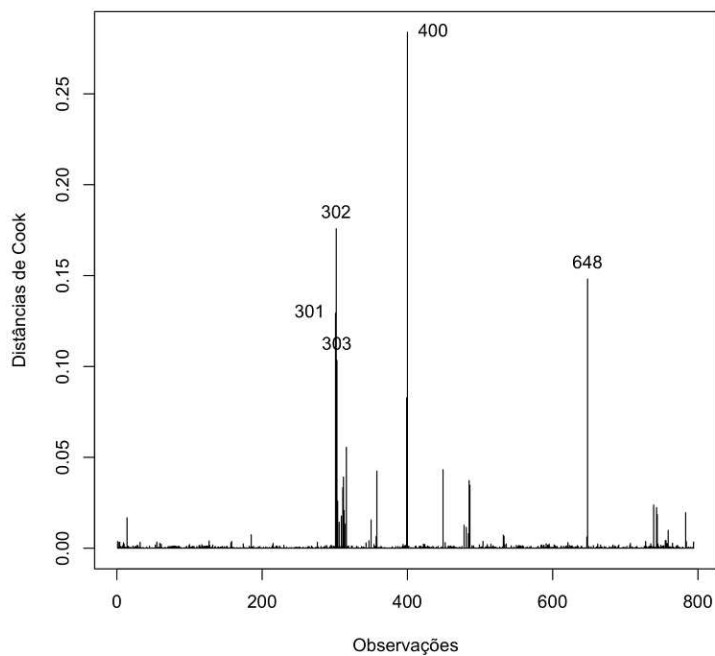
$$\lambda_i = 6.816 \times 10^{-4} \times TMDA_i^{0.713} \times Extensão_i^{0.904} \quad (4-5)$$

Onde *TMDA* corresponde ao tráfego médio diário anual durante o período de tempo considerado (quatro anos) e *Extensão* à extensão do trecho  $i$  em quilómetros.

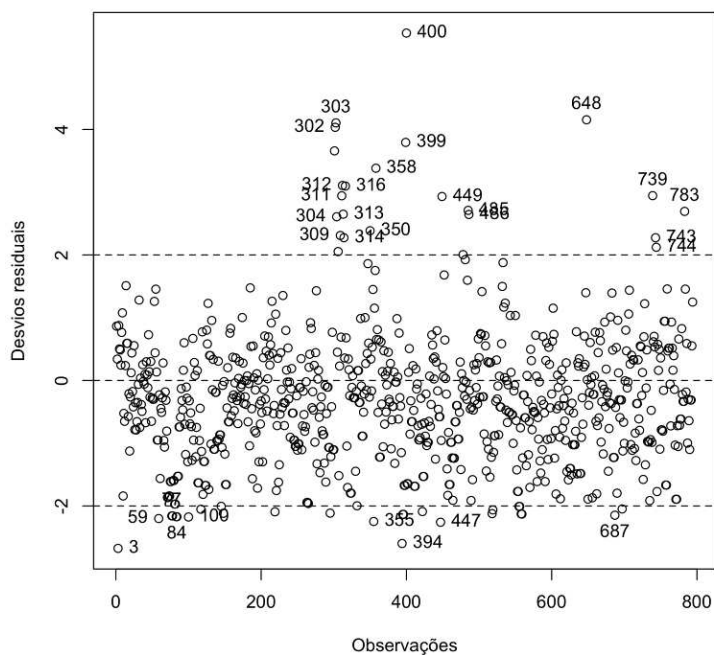
Na Figura 38 é apresentada a comparação entre os números de despistes observados e os números de despistes estimados com a equação anterior. As observações 416 e 435 são aquelas para as quais se verificaram maiores diferenças entre os valores observados e os estimados. Tal como no caso do total de acidentes, foi efetuada a análise detalhada para averiguar se tais trechos, ou outros, são influentes e atípicos, através das distâncias de Cook e dos gráficos relativos aos desvios residuais e aos pontos de influência (ver Figura 39, Figura 40 e Figura 41).



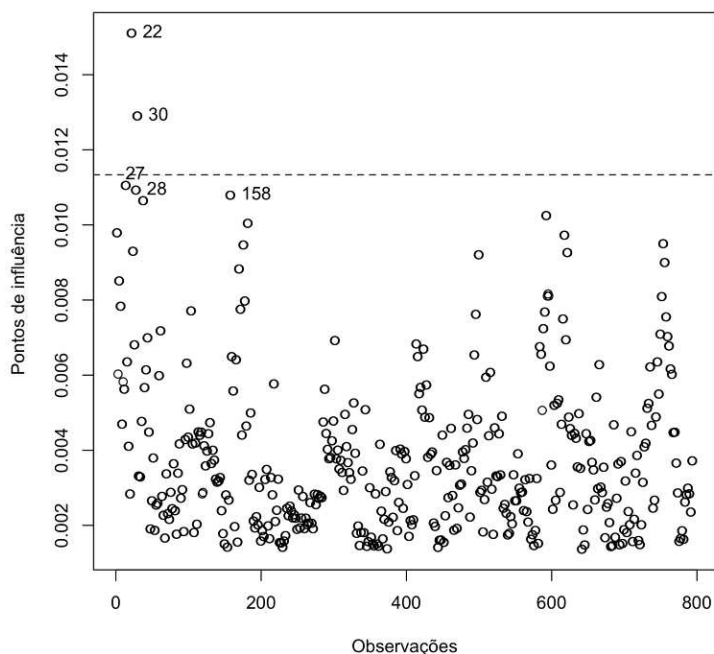
**Figura 38** – Acidentes estimados e observados com o MEFD para estradas de dupla faixa de rodagem.



**Figura 39** – Distâncias de Cook obtidas para o MEFD para estradas de dupla faixa de rodagem.



**Figura 40** – Desvios residuais em função das observações, obtidos com o MEFD para estradas de dupla faixa de rodagem.



**Figura 41** – Pontos de influência em função das observações, obtidos com o MEFD para estradas de dupla faixa de rodagem.

Da análise das figuras anteriores constata-se que, tal como para o total de acidentes, as observações 301, 302, 400 e 648 são consideradas atípicas, mas não pontos influentes. Ainda assim foram removidas da amostra inicial e testado um novo modelo.

Face à manutenção da qualidade de ajuste do modelo foram mantidas na amostra de dados a modelar as observações constantes do Quadro 24.

**Quadro 24** – Estatísticas das variáveis independentes e potenciais observações influentes

Variável	Média	Mediana	Observações			
			301	302	400	648
TMDA	55595.22	37749.50	9575	9575	16873	33765
Extensão	6.04	4.52	1.6	1.6	13.7	3.99

## 5 CONCLUSÕES

No presente documento definem-se cenários tipo para acidentes envolvendo a área adjacente à faixa de rodagem e desenvolvem-se modelos de estimativa de frequência de acidentes (MEFA) para os cenários definidos. Apresenta-se ainda o estado da arte em matéria da modelação de acidentes, incluindo acidentes por saída da faixa de rodagem, com particular atenção aos aspetos metodológicos a ter em conta relacionados com dados de acidentes.

Nos MEFA apresentados neste relatório foram utilizadas as técnicas de modelação linear generalizada, recorrendo para esse efeito ao modelo de binomial negativa.

A diversidade das características dos despistes nas estradas de faixa de rodagem única e nas de dupla faixa de rodagem, bem como as diferenças existentes em termos das características técnicas e operacionais das mesmas, levaram à consideração de dois cenários tipo, em função do tipo de faixa de rodagem: estradas de faixa de rodagem única e estradas de dupla faixa de rodagem. Assim, foram desenvolvidos modelos segundo diversas desagregações:

- por tipo de faixa de rodagem: estradas de faixa de rodagem única e estradas de dupla faixa de rodagem;
- por tipo de acidentes: total de acidentes e despistes.

Os dados sobre acidentes usados neste estudo referem-se a dois períodos quadrienais: 2002 a 2005 no caso de estradas de faixa de rodagem única, e 2007 a 2010 no caso de estradas de dupla faixa de rodagem.

Nos modelos utilizados neste relatório foi empregue a equação base:

$$\ln \lambda_i = \beta_0 + \beta_1 X_{i1} + \dots + \beta_n X_{in} \quad \text{correspondendo na forma exponencial a:}$$
$$\lambda_i = e^{\beta_0 + \beta_1 X_{i1} + \dots + \beta_n X_{in}} = e^{\beta_0} \times e^{\beta_1 X_{i1} + \dots + \beta_n X_{in}}$$

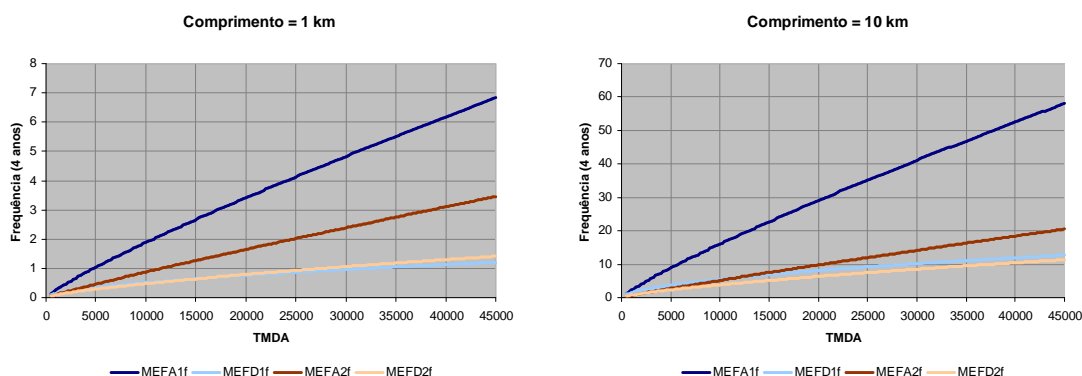
No Quadro 25 é apresentado o resumo dos MEFA desenvolvidos.

**Quadro 25** – Estatísticas das variáveis independentes e potenciais observações influentes

Tipo de faixa de rodagem	Tipo de acidentes	Equação	Índice de Elvik	Parâmetro de sobre-dispersão, $\alpha$
Estradas de faixa de rodagem única	Total de acidentes	$\lambda_i = 7.176 \times 10^{-4} \times TMDA_i^{0.855} \times Extens\tilde{a}o_i^{0.930}$	0.693	0.553
	Despistes	$\lambda_i = 3.092 \times 10^{-3} \times TMDA_i^{0.557} \times Extens\tilde{a}o_i^{1.024}$	0.684	0.485
Estradas de dupla faixa de rodagem	Total de acidentes	$\lambda_i = 1.953 \times 10^{-4} \times TMDA_i^{0.913} \times Extens\tilde{a}o_i^{0.773}$	0.703	0.499
	Despistes	$\lambda_i = 6.816 \times 10^{-4} \times TMDA_i^{0.713} \times Extens\tilde{a}o_i^{0.904}$	0.635	0.564

Os MEFA desenvolvidos para os vários elementos rodoviários apresentam uma qualidade de ajuste bastante razoável. Atendendo a que as variáveis explicativas utilizadas estão relacionadas unicamente com fatores de exposição da infraestrutura e que os acidentes rodoviários têm múltiplas causas será ainda possível, com mais informação, uma melhoria da qualidade do ajuste dos referidos MEFA.

Na Figura 42 é apresentada a comparação entre os vários modelos desenvolvidos, aplicáveis a trechos de faixa de rodagem única (1f) e dupla (2f), relacionando os acidentes e despistes esperados com a variação no TMDA para dois comprimentos de trecho.

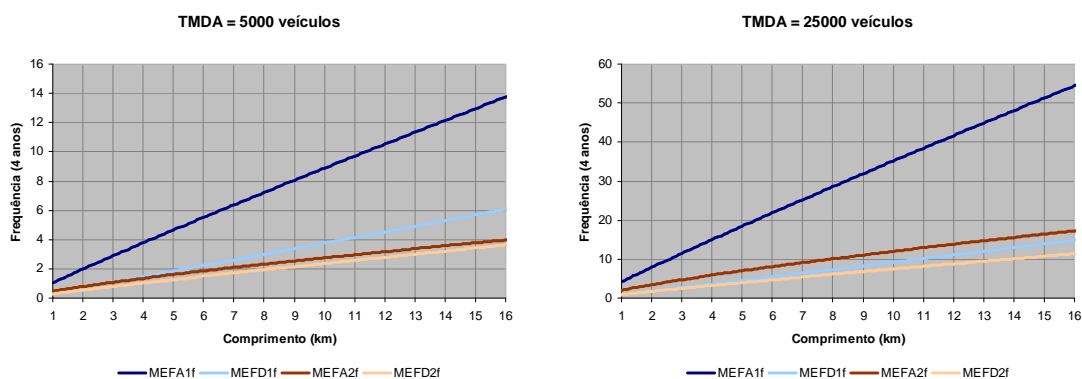


**Figura 42** – Comparação entre os vários modelos desenvolvidos aplicáveis a trechos de faixa de rodagem única (1f) e dupla (2f) para duas extensões dos trechos.

Constata-se que as estradas de faixa de rodagem única apresentam valores esperados de acidentes mais elevados. No caso da extensão do trecho ser elevada, os valores estimados para os despistes em estradas de dupla faixa de rodagem única ultrapassam os dos despistes para estradas de faixa de rodagem única. Em qualquer dos casos, os valores esperados de despistes são muito semelhantes em estradas de dupla faixa de rodagem ou faixa de rodagem única. Refira-se que a diferença registada ao nível do total de acidentes em função do tipo de faixa de rodagem pode justificar-se, pelo menos parcialmente, pelo período considerado para estradas de dupla faixa de rodagem ser mais recente (2007 a 2010) do que o das estradas de faixa de rodagem única (2002 a 2005) e, consequentemente, corresponder a níveis de sinistralidade globalmente inferiores.

Por outro lado, verifica-se, para as duas extensões dos trechos considerados, um aumento da diferença entre os valores esperados de acidentes e de despistes à medida que aumenta o TMDA.

Na Figura 43 é apresentada a comparação entre os vários modelos desenvolvidos, aplicáveis a trechos de faixa de rodagem única (1f) e dupla (2f), relacionando os acidentes e despistes esperados com a variação da extensão do trecho para dois níveis de TMDA.



**Figura 43** – Comparação entre os vários modelos desenvolvidos aplicáveis a trechos de faixa de rodagem única e dupla para dois níveis de TMDA.

Para o nível mais baixo de TMDA considerado (5000 veículos), verifica-se que as estradas de faixa de rodagem única apresentam valores esperados de despistes superiores aos valores esperados para o total de acidentes em estradas de dupla faixa de rodagem. Por outro lado, independentemente do TMDA do trecho, os valores estimados para os

despistes em estradas de faixa de rodagem única ultrapassam os valores estimados para a mesma tipologia de acidentes em estradas de dupla faixa de rodagem.

Refira-se, por último, que os modelos desenvolvidos serão utilizados no procedimento de avaliação das alternativas de intervenção na AAFR e de seleção de sistemas de retenção de veículos, a desenvolver no âmbito da tarefa WP8 designada “Arquitetura do Sistema de Avaliação das Alternativas”.

Lisboa, LNEC, março de 2013

VISTOS

Eng.º António Lemonde de Macedo  
Investigador Coordenador  
Diretor do Departamento de Transportes

AUTORIAS

Eng.º Carlos Roque  
Estagiário de Doutoramento

Eng.º João Lourenço Cardoso  
Investigador Principal com Habilitação  
Chefe do Núcleo de Planeamento Tráfego e Segurança



## **BIBLIOGRAFIA**

- 1 Al-Ghamdi, A. S.(2002). Using Logistic Regression to Estimate the Influence of Accident Factors on Accident Severity. *Accident Analysis and Prevention*. Volume 34, Issue 6, November 2002, Pages 729-741.
- 2 Amaral Turkman M. A.; Silva G. (2000). *Modelos Lineares Generalizados - da Teoria à Prática*, Edições SPE. Sociedade Portuguesa de Estatística, Lisboa.
- 3 American Association of State Highway and Transportation Officials (2002). *Roadside Design Guide*.
- 4 Anastasopoulos, P.C., Mannering, F.L., (2009). A note on modeling vehicle accident frequencies with random-parameters count models. *Accident Analysis and Prevention* 41 (1), 153–159.
- 5 Arsenio, E. (2005). *Participação do LNEC na Rede Temática Europeia ROSEBUD – Road Safety and Environmental Benefit-Cost and Cost-Effectiveness Analysis for Use in Decision Making*. LNEC, Lisboa.
- 6 Arsénio, E.; Cardoso, J. L.; Macedo, A. L. (2004). *Análise Custo-Benefício de Medidas de Segurança Rodoviária e dos Seus Impactes Ambientais*. 3º Congresso Rodoviário Português. CRP, Lisboa.
- 7 Autoridade Nacional de Segurança Rodoviária (2000). *Observatório de Segurança Rodoviária. Ano de 2000 – Sinistralidade Rodoviária*.
- 8 Autoridade Nacional de Segurança Rodoviária (2008). *Observatório de Segurança Rodoviária. Ano de 2007 – Sinistralidade Rodoviária*.
- 9 Bristow, A. L.; Nellthorp, J. (2000). *Transport project appraisal in the European Union*. *Transport Policy* 7, 51-60.

10 Cardoso, João L. (1996). Estudo das Relações entre as Características da Estrada, a Velocidade e os Acidentes Rodoviários. Aplicação a Estradas de Duas Vias e Dois Sentidos, Universidade Técnica de Lisboa, Instituto Superior Técnico.

11 Cardoso, João L. (2007). Métodos Racionais de Apoio à Intervenção da Engenharia em Segurança Rodoviária. Programa de Investigação apresentado para a obtenção do título de “Habilitado para o exercício de funções de Coordenação de Investigação Científica”, LNEC.

12 Cardoso, J. L. (2007). Detecção de zonas de acumulação de acidentes na Rede Rodoviária Nacional. Relatório 88/2007 – Núcleo de Planeamento Tráfego e Segurança – Departamento de Transportes – Laboratório Nacional de Engenharia Civil.

13 CEDR - Conference of European Directors of Roads (2008). Best practice for cost-effective road safety infrastructure investments. Full Report prepared by the Conference of European Directors of Roads. CEDR report 2008/03.

14 CEDR - Conference of European Directors of Roads (2008). Best practice for cost-effective road safety infrastructure investments. Full Report prepared by the Conference of European Directors of Roads.

15 Comissão das Comunidades Europeias (2000). Comunicação da comissão ao conselho, ao Parlamento Europeu, ao Comité Económico e Social e ao Comité das Regiões. Prioridades na Segurança Rodoviária na UE. Relatório de progresso e classificação de acções. Bruxelas, 17.03.2000. COM (2000) 125 final.

16 Comissão Europeia (2003). Manual de Análise de Custos e Benefícios de Projectos de Investimento – DG Política Regional.

17 Comissão Europeia (2006). Orientações sobre a metodologia para a realização de análises custo-benefício. Documento de Trabalho 4. Documentos de trabalho sobre a metodologia. DG-Política Regional..

18 Coon, B. A., Sicking, D.L., Mak, K. K. (2006). Guardrail Run-Out Length Design Procedures Revisited. Transportation Research Record 1984 Transportation Research Board, Washington, D.C, pp. 14-20.

19 COST 331 (1994). Socio-economic cost of road accidents; Final Report, Transport Research, EC.

20 Council, F.; Zaloshnja, E.; Miller,T.; Persaud, B. (2005). Crash cost estimates by maximum police-reported injury severity within selected crash geometries. FHWA-HRT-05-051. Office of Safety Research and Development, FHWA.

21 Council, Forrest M., and J. Richard Stewart. Attempt to Define Relationship between Forces to Crash-Test Vehicles and Occupant Injury in Similar Real-World Crashes. In Transportation Research Record 1419, TRB, National Research Council, Washington, D.C., 1993, pp 78-85.

22 CSIR Transportek (2001). Geometric Design Guidelines. Council for Scientific and Industrial Research. South African National Road Agency Limited

23 Davis, G.A., Morris, P.M (2006). Reanalysis of Hutchinson and Kennedy's Encroachment Frequency Data. Transportation Research Record 1953, Transportation Research Board, Washington, D.C, pp 65-70.

24 Department for Transport (2006). Economic assessment of road schemes. The COBA manual. Part 0 - The application of the COBA manual (updated June 2006), 2002. DMRB 13.1. Design manual for roads and bridges.

25 Duarte, A. P. (2001). Paridade do Poder de Compra e das Taxas de Juro: Um Estudo Aplicado a Três Países da UEM. Faculdade de Economia da Universidade de Coimbra. Grupo de Estudos Monetários e Financeiros (GEMF). Coimbra, Portugal.

26 Elvik, R. (2002). How would setting policy priority according to cost-benefit analyses affect the provision of road safety ? Accident Analysis and Prevention, 868, 1:14.

- 27 Elvik, R.; Høye, A.; Vaa, T.; Sørensen, M. (2009). *The Handbook of Road Safety Measures*. Second Edition. Elsevier Science, Oxford.
- 28 Elvik, Rune (2001). Cost–benefit analysis of road safety measures: applicability and controversies. *Accident Analysis and Prevention* 33 (2001) 9–17.
- 29 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. Norway.
- 30 ETSC (2003). *Cost effective EU Transport Safety Measures*. European Transport Safety Council, Brussels 2003. ISBN: 90-76024-16-2.
- 31 European Commission (2008), *Guide to Cost-Benefit Analysis of investment projects, Structural Funds, Cohesion Fund and Instrument for Pre-Accession – Final Report*, Directorate General Regional Policy.
- 32 European Road Safety Observatory (2006). *Cost-benefit analysis*, retrieved January 31, 2011 from [www.erso.eu](http://www.erso.eu)
- 33 FHWA (1992). *Safety Effectiveness of Highway Design Features (Vol. I-VI)*, Publication N°. FHWA-RD-91-044 to 049, Federal Highway Administration, Washington, D.C.
- 34 Fleury, D, Brenac, T. (2001). Accident prototypical scenarios, a tool for road safety research and diagnostic studies. *Accident Analysis and Prevention* 33, 267–276.
- 35 Fox, J.; Weisberg, S. (2011). *An {R} Companion to Applied Regression*, Second Edition. Thousand Oaks CA: Sage. URL:  
<http://socserv.socsci.mcmaster.ca/jfox/Books/Companion>
- 36 Gabauer, D., Thomson, R. Correlation of vehicle and roadside crash test injury criteria. 19th International Technical Conference on the Enhanced Safety of Vehicles (ESV) - Washington D.C. June 6-9, 2005. Paper Number 05-0283.

- 37 Geedipally, S.R., Lord, D. (2010). Investigating the effect of modeling single-vehicle and multi-vehicle crashes separately on confidence intervals of Poisson-gamma models. *Accident Analysis and Prevention* 42, 1273–1282.
- 38 Glennon J.C., (1974). Roadside Safety Improvements. Programs on Freeways. A Cost-effectiveness Priority Approach. National Cooperative Highway Research Program Report 148, Transportation Research Board.
- 39 Graham, J. D., Vaupel, J. W. (1981). Value of a Life: What Difference Does It Make? *Risk Analysis*. Volume 1 Issue 1, Pages 89 – 95.
- 40 Grant-Muller, S. M.; Mackie, P.; Nellthorp, J.; Pearman, A. (2001). Economic appraisal of European transport projects: the state-of-the-art revisited. *Transport Reviews*, 21: 2, 237 — 261.
- 41 Guimarães, R. C.; Sarsfield Cabral, J. A. (1997). *Estatística*. McGraw-Hill. ISBN: 972-8298-45-5.
- 42 Gujarati, D.N., (2000). *Econometria Básica*. Terceira Edição. Pearson Education, São Paulo.
- 43 Hartung, J.; Knapp, G.; Sinha B. K. (2008). *Statistical Meta-Analysis with Applications*. John Wiley & Sons, Inc., Hoboken, New Jersey.
- 44 Hauer, E. (1997). *Observational Before-After Studies in Road Safety*. Pergamon. ISBN: 0-08-043 053 8.
- 45 Hauer, E.; Bamfo, J. (1997). Two tools for finding what function links the dependent variable to the explanatory variables. *Proceedings of the ICTCT 1997 Conference*, Lund, Sweden
- 46 Hayes E.; Ross, Jr. (1995). Evolution of Roadside Safety, in *Roadside Safety Issues*, Transportation Research Circular n°435, Transportation Research Board.

47 HEATCO D5 (2006), Developing Harmonised European Approaches for Transport Costing and Project Assessment, Deliverable 5 - Proposal for Harmonised Guidelines, February.

48 American Association of State Highway and Transportation Officials. (2010). Highway Safety Manual 1st Edition, AASHTO, Washington, DC. ISBN: 978-1-56051-477-0.

49 <http://www.euroncap.com/> acedido em 03.07.2012

50 Hutchinson J. W., Kennedy T. W. (1966). Medians of Divided Highways - Frequency and Nature of Vehicle Encroachments. Engineering Experiment Station Bulletin 487, University of Illinois.

51 ICF Consulting (2003). Cost-benefit analysis of road safety improvements. ICF Consulting, London.

52 Ivan, J., (2004). New approach for including traffic volumes in crash rate analysis and forecasting. Transportation Research Record 1897, 134–141.

53 Kim, K., Lawrence, N., Richardson, J., Li, L. (1995). Personal and behavioral predictors of automobile crash and injury severity. Accident Analysis and Prevention 27 4 (1995), pp. 469–481.

54 King K. (1995). Methods for analyzing the Cost-Effectiveness of Roadside Safety Features, Texas A&M University, Roadside Safety Issues, Transportation Research Circular n° 435.

55 KPMG II (2008).. Estudo de Impacto Económico Global. Subconcessão Douro Interior KPMG II – Consultores de Negócios, S.A..Novembro de 2008.

56 Lee, J., Mannering, F., (2002). Impact of roadside features on the frequency and severity of run-off-roadway accidents: an empirical analysis. Accident Analysis and Prevention 34, 149–161.

57 LNEC (1999). Participação do LNEC nos Estudos Sobre Imputação dos Encargos pela Utilização de Infraestruturas - Primeiro Relatório, Relatório 60/99 - NTSR, Laboratório Nacional de Engenharia Civil.

58 LNEC (2000). Participação do LNEC nos Estudos Sobre Imputação dos Encargos pela Utilização de Infraestruturas - Segundo Relatório, Relatório 59/00 - NTSR, Laboratório Nacional de Engenharia Civil.

59 LNEC (2008) Estudo para análise técnica comparada das alternativas de localização do Novo Aeroporto de Lisboa na zona da Ota e na zona do campo de tiro de Alcochete 2ª Fase - Avaliação comparada das duas localizações. Estudo realizado para o Ministério das Obras Públicas, Transportes e Comunicações. RELATÓRIO 2/2008 – DT. LNEC, Lisboa.

60 Lopes, S.A.; Cardoso, J. L., (2009). Accident prediction models for Bidirectional Data on Portuguese Motorways. Coleção: Informação Científicas e Técnicas. Série: INCVC 4. LNEC. ISBN 978- 972-49-2166-2.

61 Lord, D., Washington, S.P., Ivan, J.N. (2005). Poisson, Poisson-gamma and zero inflated regression models of motor vehicle crashes: balancing statistical fit and theory. *Accident Analysis and Prevention* 37 (1), pp. 35–46.

62 Lord, D., Mannering, F. (2010) The statistical analysis of crash-frequency data: a review and assessment of methodological alternatives, *Transportation Research Part A* 44 (2010), pp. 291–305.

63 Lynam D.A., Kennedy J.V. (2005). The Travel of Errant Vehicles after Leaving the Carriageway. PUBLISHED PROJECT REPORT PPR298. Version: 1. Prepared for: Project Record: 3/372/R14 Travel of Errant Vehicles after Leaving the Carriageway. TRL Limited May 2005.

64 Lord, D.; Manar, A.; Vizioli, A. (2005) – Modeling crash-flow-density and crash-flow-V/C ratio relationships for rural and urban freeway segments. *Em Accident Analysis and Prevention*, 37 (1), pp. 185-199.

65 Macário, R.; Carmona, M.; Caiado, G.; Rodrigues, A.; Martins, P.; Link, H.; Stewart, L.; Bickel, P.; Doll, C. (2003). UNITE (UNification of accounts and marginal costs for Transport Efficiency) Working Funded by 5th Framework RTD Programme. ITS, University of Leeds, Leeds.

66 Mak, K. K., Sicking, D. L. , Zimmerman, K. (1998). Roadside Safety Analysis Program. A Cost-Effectiveness Analysis Procedure. Transportation Research Record 1647. Paper No. 98-0626, pp 67-74.

67 Mak K.K., Sicking D.L. (2003). Roadside Safety Analysis Program (RSAP) - Engineer's Manual. NCHRP REPORT 492. Washington D C, USA.

68 McGee, H. W.; Hughes, W.E.; Daily, K. (1995). Effect of Highway Standards on Safety, NCHRP Report 374, Transportation Research Board.

69 McGinnis, R.G. (1999). Reexamination of roadside encroachment data (with discussion and closure). Transportation Research Record No. 1690, Paper No. 99-11380.

70 Montella, A. (2000). Benefit/Cost Analysis for the selection of roadside safety alternatives, Road Safety on three Continents, Pretoria.

71 Montella, A. (2001). Selection of Roadside Safety Barrier Containment Level According to European Union Standards. Transportation Research Record 1743, Paper No. 01-2102, 104–110.

72 NCHRP (1994). Severity Indices for Roadside Features – A Synthesis of Highway Practice, NCHRP Synthesis 202, National Research Council, Transportation Research Board.

73 OCDE (1997). Road safety principles and models: Review of descriptive, predictive, risk and accident consequence models.

74 Paula, G.A., (2010) Modelos de Regressão com apoio computacional. Instituto de Matemática e Estatística, Universidade de São Paulo, Brasil.



75 Pardillo-Mayora, J. M., Domínguez-Lira, C. A., Jurado-Piña, R. (2010). Empirical calibration of a roadside hazardousness index for Spanish two-lane rural roads. *Accident Analysis & Prevention* Volume 42, Issue 6, November 2010, Pages 2018-2023

76 Pestana, D.D., Velosa, F.P (2008). *Introdução à Probabilidade e à Estatística*. Volume I. 3ª edição. Fundação Calouste Gulbenkian. ISBN: 978-972-31-1248-1

77 Quintero, A. (2010) Balanço geral da melhoria verificada – Impacte na actividade seguradora.. Mesa redonda sobre segurança rodoviária melhorias nos últimos 20 anos e perspectivas futuras. 6º Congresso Rodoviário Português. Centro de Congressos de Lisboa.

78 R Development Core Team (2011). *R: A language and environment for statistical computing*. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. ISBN 3-900051-07-0, URL <http://www.R-project.org/>.

79 Ramos, G. Perandones, J. M. ,Alonso, M., Plaza, J., Vega H. (2008). Final Report. D0.2 from EU Project named Ranking for European Road Safety (RANKERS) Specific Targeted Research or Innovation Project TREN-04-FP6TR-S07.36996/001678. European Community R&TD Project, 6th Framework Programm.

80 Ray, M. H.; Weir, J.A. (2001). Unreported Collisions with Post-and-Beam Guardrails in Connecticut, Iowa, and North Carolina. *Transportation Research Record* 1743, Paper Nº. 01-2426,111-119.

81 Reis, J., P. Godinho, E. Barata e L. Cruz (2008). *Estudo Integrado dos Impactes Económicos Globais associados às Concessões da AE Transmontana, Túnel do Marão e Douro Interior*, FEUC, Coimbra.

82 Reis, J., P. Godinho, E. Barata e L. Cruz (2009). *Estudo Integrado dos Impactes Económicos Globais associados às Concessões do Algarve Litoral e Baixo Alentejo (Versão intermédia)*, FEUC, Coimbra.

83 Reurings, M., Janssen, T., Eenink, R., Elvik, R.,Cardoso, J.,Stefan, C. (2005). *Accident*

Prediction Models and Road safety Impact Assessment: a state-of-the-art. Road Infrastructure Safety Protection – Core-Research and Development for Road Safety in Europe; Increasing safety and reliability of secondary roads for a sustainable Surface Transport. European Community R&TD Project, 6th Framework Priority 1.6, Project "RIPCORDER – ISEREST".

84 RISER (2005). D06: European Best Practice for Roadside Design: Guidelines for Roadside Infrastructure on New and Existing Roads. European Community R&TD Project, 5th Framework Programme "Growth", Project "RISER" GRD2/2001/50088.

85 Rodrigues, M. J. (2007). Avaliação económica de projectos rodoviários em Portugal: Estimação de Custos e Benefícios para os utentes. Dissertação para obtenção do Grau de Mestre em Engenharia do Território. Instituto Superior Técnico. Universidade Técnica de Lisboa.

86 Roque, C.A.; Cardoso, J.L. (2010). Sistemas de retenção rodoviários de veículos. Recomendações para selecção e colocação. Estudo realizado por solicitação do Instituto de Infra-estruturas Rodoviárias, I.P. Relatório LNEC 382/2010, Lisboa.

87 Roque, C.; Cardoso, J.L. (2010). Análise de Dados de Sinistralidade e Modelação de Despistes. 2º Relatório Safeside - Sinistralidade Envolvendo a Área Adjacente à Faixa de Rodagem. Fundação para a Ciência e Tecnologia, Laboratório Nacional de Engenharia Civil, Lisboa.

88 ROSEBUD (2004). WP3: The Use of Efficiency Assessment Tools: Solutions to Barriers. European Community R&TD Project, 5th Framework Programme "Competitive and Sustainable Growth", Project "ROSEBUD" Road Safety and Environmental Benefit-Cost and Cost-Effectiveness Analysis for Use in Decision-Making. GTC2/2000/33020.

89 ROSEBUD (2005). WP1: Screening of efficiency assessment experiences. Report "State of the art". European Community R&TD Project, 5th Framework Programme "Competitive and Sustainable Growth", Project "ROSEBUD" Road Safety and Environmental Benefit-Cost and Cost-Effectiveness Analysis for Use in Decision-

Making. GTC2/2000/33020.

90 ROSEBUD (2005). WP4: Testing the efficiency assessment tools on selected road safety measures. European Community R&TD Project, 5th Framework Programme “Competitive and Sustainable Growth”, Project "ROSEBUD" Road Safety and Environmental Benefit-Cost and Cost-Effectiveness Analysis for Use in Decision-Making. GTC2/2000/33020.

91 ROSEBUD (2005). WP5: Recommendations. European Community R&TD Project, 5th Framework Programme “Competitive and Sustainable Growth”, Project "ROSEBUD" Road Safety and Environmental Benefit-Cost and Cost-Effectiveness Analysis for Use in Decision-Making. GTC2/2000/33020.

92 Sælensminde, K. (2001). Verdsetting av trafikksikkerhet i ulike lands nyttekostnadsanalyser. Arbeidsdokument SM/1342. Transportøkonomisk institutt, Oslo.

93 SAFESTAR (1998) Safety Standards for Road Design and Redesign – SAFESTAR Final Report, European Commission Under the Transport RTD Programme of the Fourth Framework Programme.

94 Shojaati, M. (2003). Correlation between injury risk and impact severity index ASI, Proceedings of the 3rd Swiss Transport Research Conference Monte Verita/Ascona, March 19–21 (2003).

95 Shojaati, M. (2003). Correlation between injury risk and impact severity index ASI, Proceedings of the 3rd Swiss Transport Research Conference Monte Verita/Ascona, March 19–21 (2003).

96 Sicking D L , Ross H.E. (1986). Benefit-cost analysis of roadside safety alternatives. Transportation Research Record 1065, pp 98-105. Washington D C, USA.

97 Sicking D L , Ross H.E. (1986). Benefit-cost analysis of roadside safety alternatives. Transportation Research Record 1065, pp 98-105. Washington D C, USA.

- 98 Sicking, D. L., Lechtenberg, K. A., Peterson S. (2009). Guidelines for Guardrail Implementation NCHRP REPORT 638. Project 22-12(02). National Cooperative Highway Research Program. Transportation Research Board. ISBN: 978-0-309-11781-4
- 99 Sicking, D. L., Ross, H. E., Jr., (1986). Benefit-Cost Analysis of Roadside Safety Alternatives. Transportation Research Record 1065, Transportation Research Board, Washington, D.C, pp. 99-105.
- 100 Sicking, D. L., K. K. Mak, and K. Zimmerman (1998). Roadside Safety Analysis Program (RSAP): Engineer's Manual. In NCHRP Project 22-9. Improved Procedures for Cost-Effectiveness Analysis of Roadside Safety Features. TRB, National Research Council, Washington, D.C..
- 101 Swedish National Road and Transport Research Institute (1990). Strategic Highway Research Program (SHRP) and Traffic Safety on Two Continents.
- 102 Swedish National Road and Transport Research Institute (1997). Traffic Safety on two Continents – Roadside design.
- 103 SWOV (2007). Road crash costs. SWOV Fact sheet, March 2007. SWOV, Leidschendam.
- 104 SWOV (2007). The valuation of human costs of road deaths. SWOV Fact sheet, January 2007. SWOV, Leidschendam.
- 105 SWOV (2008). Cost-benefit analysis of road safety measures. SWOV Fact sheet, June 2008. SWOV, Leidschendam.
- 106 TIS (2008), Actualização do Estudo de Impactes Globais Económicos da Subconcessão da AE Transmontana, versão de 21/11/2008.
- 107 TIS (2009), Actualização do Estudo de Impactes Globais Económicos da Subconcessão do Baixo Alentejo, versão de 27/01/2009.

108 Transportation Research Board (1987). Designing safer roads. Special Report SR 214, TRB, National Research Council, Washington D.C.

109 TRL (2001). Cost-benefit analysis of measures for vulnerable road users. Final report of workpackage 5 in EU project PROMISING. Transport Research Laboratory, Crowthorne.

110 Vägverket (2006). SAFE TRAFFIC Vision Zero on the move. Swedish Road Administration. SE-781 87 Borlänge, Sweden.

111 Venables W. N., Ripley, B. D. (2002). Modern Applied Statistics with S. Fourth Edition, Springer-Verlag, Nova Iorque.

112 Vieira Gomes, S. (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 Tecnologia da Universidade de Coimbra.

113 Washington, M. Karlaftis and F.L. Mannering, (2010). Statistical and Econometric Methods for Transportation Data Analysis. Second Edition, Chapman and Hall. ISBN 978-1-4200-8285-2.

114 Wolford, D., Sicking D. L. (1996). Guardrail Runout Lengths Revisited. Transportation Research Record 1528, TRB, National Research Council, Washington, D.C., pp. 78–86.

115 Zaloshnja, E., Miller, T., Romano, E., Spicer, R., 2004. Crash costs by body part injured, fracture involvement, and threat to life severity, United States, 2000. *Accid. Anal. Prev.* 36 (3), 415–427.

116 Zaloshnja, E.; Miller, T.; Council, F.; Persaud, B. (2006). Crash costs in the United States by crash geometry. *Accident Analysis and Prevention* 38, 644–651.

117 Zegeer, C.V.; Cynecki, M.J (1984). Determination of Cost-Effective Roadway

Treatments for Utility Pole Accidents, Safety Appurtenances and Utility Accommodation,  
Transportation Research Record n°970, Transportation Research Board.

## **ANEXOS**

---





## ANEXO I – Participação de Acidentes de Viação (PAV)

---





## PARTICIPAÇÃO DE ACIDENTE DE VIAÇÃO

Exmo. Sr. Director- Geral de Viação  
Exmo. Sr. Delegado do Procurador da República na Comarca

de \_\_\_\_\_

ENTIDADE PARTICIPANTE				
LOCAL DO ACIDENTE		CONCELHO	DISTRITO	
DATA DO ACIDENTE: ANO	MÊS	DIA	HORA	MINUTO

### IDENTIFICAÇÃO DOS VEÍCULOS VEÍCULO N.º 1

N.º DE MATRÍCULA	CLASSE E TIPO	SERVIÇO
TEM SEGURO - SIM <input type="checkbox"/> NÃO <input type="checkbox"/> APÓLICE N.º	COMPANHIA	
COM SEDE EM	O LIVRETE FOI APREENDIDO - SIM <input type="checkbox"/> NÃO <input type="checkbox"/>	
PROPRIETÁRIO	POR FALTA DE SEGURO <input type="checkbox"/> PARA INSPECÇÃO <input type="checkbox"/>	
RESIDÊNCIA		

### VEÍCULO N.º 2

N.º DE MATRÍCULA	CLASSE E TIPO	SERVIÇO
TEM SEGURO - SIM <input type="checkbox"/> NÃO <input type="checkbox"/> APÓLICE N.º	COMPANHIA	
COM SEDE EM	O LIVRETE FOI APREENDIDO - SIM <input type="checkbox"/> NÃO <input type="checkbox"/>	
PROPRIETÁRIO	POR FALTA DE SEGURO <input type="checkbox"/> PARA INSPECÇÃO <input type="checkbox"/>	
RESIDÊNCIA		

### IDENTIFICAÇÃO DOS CONDUTORES A - CONDUTOR DO VEÍCULO N.º 1

NOME		
NATURALIDADE	ESTADO CIVIL	PROFISSÃO
DATA DE NASCIMENTO	LOCAL DE TRABALHO	
N.º BILHETE DE IDENTIDADE	ARQ. IDENTIFICAÇÃO	DATA
FILIAÇÃO		
RESIDÊNCIA		
TEM LICENÇA DE CONDUÇÃO - SIM <input type="checkbox"/> NÃO <input type="checkbox"/> A LICENÇA FOI APREENDIDA - SIM <input type="checkbox"/> NÃO <input type="checkbox"/> PASSADA GUIA - SIM <input type="checkbox"/> NÃO <input type="checkbox"/>		
N.º DA LICENÇA	PASSADA PELA	DATA
CATEGORIA DA LICENÇA DE CONDUÇÃO: VELOCÍPEDE S/MOTOR <input type="checkbox"/> DATA		C/MOTOR <input type="checkbox"/> DATA
MOTOCICLO <input type="checkbox"/> PROFISSIONAL <input type="checkbox"/> DATA	LIGEIRO <input type="checkbox"/> PROFISSIONAL <input type="checkbox"/> DATA	
PESADO <input type="checkbox"/> PROFISSIONAL <input type="checkbox"/> DATA	S. PÚBLICO <input type="checkbox"/> DATA	TRACTOR <input type="checkbox"/> DATA

### B - CONDUTOR DO VEÍCULO N.º 2

NOME		
NATURALIDADE	ESTADO CIVIL	PROFISSÃO
DATA DE NASCIMENTO	LOCAL DE TRABALHO	
N.º BILHETE DE IDENTIDADE	ARQ. IDENTIFICAÇÃO	DATA
FILIAÇÃO		
RESIDÊNCIA		
TEM LICENÇA DE CONDUÇÃO - SIM <input type="checkbox"/> NÃO <input type="checkbox"/> A LICENÇA FOI APREENDIDA - SIM <input type="checkbox"/> NÃO <input type="checkbox"/> PASSADA GUIA - SIM <input type="checkbox"/> NÃO <input type="checkbox"/>		
N.º DA LICENÇA	PASSADA PELA	DATA
CATEGORIA DA LICENÇA DE CONDUÇÃO: VELOCÍPEDE S/MOTOR <input type="checkbox"/> DATA		C/MOTOR <input type="checkbox"/> DATA
MOTOCICLO <input type="checkbox"/> PROFISSIONAL <input type="checkbox"/> DATA	LIGEIRO <input type="checkbox"/> PROFISSIONAL <input type="checkbox"/> DATA	
PESADO <input type="checkbox"/> PROFISSIONAL <input type="checkbox"/> DATA	S. PÚBLICO <input type="checkbox"/> DATA	TRACTOR <input type="checkbox"/> DATA

SEGRAFI/IGNR n.º 334







## ANEXO II – Boletim Estatístico de Acidentes de Viação (BEAV)

---





Reservado ao conteúdo do acidente



**DIREÇÃO-GERAL DE VIAÇÃO**  
Ministério da Administração Interna  
BOLETIM ESTATÍSTICO DE ACIDENTES DE VIAÇÃO

Nº Boletim

Entidade Fiscalizadora

Instrumento de notação registado no I.N.E., sob o nº 2018, válido até 31/12/2024

**A - a preencher em todos os acidentes      B e seguintes - a preencher apenas em acidentes com vítimas**

### A - IDENTIFICAÇÃO DO ACIDENTE

**A1 DATA/HORA**  
Año Mês Dia Hora Min.

**A2 LOCALIZAÇÃO**  
1  Fora das localidades  
 Dentro das localidades  
2 Distrito \_\_\_\_\_  
Concelho \_\_\_\_\_  
Freguesia \_\_\_\_\_  
Povoação (se a mais próxima) \_\_\_\_\_  
Coordenadas GPS \_\_\_\_\_

**A3 Designação de via** \_\_\_\_\_  
Km \_\_\_\_\_  
Arruamento \_\_\_\_\_ n.º \_\_\_\_\_

**A4 Se ao aver separador central indique em que sentido**  
1  Crescente  
2  Decrescente

**A5 TIPO DE ACIDENTE**  
1  Acidente só com danos materiais  
2  Acidente com vítimas  
Mortos \_\_\_\_\_  
Feridos graves \_\_\_\_\_  
Feridos leves \_\_\_\_\_

**A6 NATUREZA DO ACIDENTE**  
1  Despiste  
2  Colisão  
3  Atropelamento

**A7 NÚMERO DE VEÍCULOS INTERVENIENTES**  
Ciclomotor e motociclo \_\_\_\_\_  
Veículo ligeiro \_\_\_\_\_  
Veículo pesado \_\_\_\_\_  
Outros \_\_\_\_\_

**A8 CONDUTORES INTERVENIENTES**  
**A8.1 SEXO**  
A B C  
1    Masculino  
2    Feminino  
**A8.2 DATA DE NASCIMENTO**  
Año Mês Dia Año Mês Dia  
A \_\_\_\_\_ B \_\_\_\_\_  
C \_\_\_\_\_

**B1 CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS DA VIA**  
1  Estrada, com separador  
2  Estrada, sem separador - nº de vias no sentido  
3  Via de trânsito  
4  Esquerda  
5  Direita  
6  Central

**B2 TRAÇADO DA VIA**  
1  Em planície  
2  Em curva  
3  Em lomba

**B3 1**  Sem berno ou impraticável  
2  Borno não pavimentado  
3  Borno pavimentado

**B4 SITUAÇÃO DO ACIDENTE**  
1  Em plena via  
2  Na berna  
3  No passeio  
4  Em via de pista reservada  
5  Em parque de estacionamento

**B5 INTERSECÇÃO DE VIAS**  
1  Fora da intersecção  
**Em intersecção de nível**  
2  Em cruzamento  
3  Em entroncamento  
4  Em rotunda  
5  Em passagem de nível  
**Em intersecção desnívelada**  
6  Em via de aceleração  
7  Em via de desaceleração  
8  Em ramo de ligação - entrada  
9  Em ramo de ligação - saída

**B6 ACIDENTE EM OBRAS DE ARTE**  
1  Túnel  
2  Viaduto/Ponte  
3  Passagem estreita

**B7 REGIME DE CIRCULAÇÃO**  
1  FAIXA DE RODAGEM COM:  
1  Sentido único  
2  Dois sentidos  
3  Reversível

**B8 VELOCIDADE PERMITIDA NO LANÇO**  
Limite geral \_\_\_\_\_ Km/h  
Limite local \_\_\_\_\_ Km/h

**B9 PAVIMENTO**  
**B9.1 TIPO DE PISO**  
1  Terra batida  
2  Betuminoso  
3  Betão de cimento  
4  Calçada

**B9.2 ESTADO DE CONSERVAÇÃO**  
1  Em bom estado  
2  Em estado regular  
3  Em mau estado

**B10 OBSTÁCULOS OU OBRAS**  
1  Inexistentes  
2  Não sinalizados  
3  Insuficientemente sinalizados  
4  Corretamente sinalizados

**B11 CONDIÇÕES DE ADERÊNCIA**  
1  Seco e limpo  
2  Húmido  
3  Molhado  
4  Com água acumulada na faixa de rodagem  
5  Com gelo, geada ou neve  
6  Com lama  
7  Com gravilha ou areia  
8  Com óleo

**B12 SINALIZAÇÃO**  
**B12.1 MARCAS NO PAVIMENTO**  
1  Sem marcas indeléveis ou pouco visíveis  
2  Com as marcas - separadoras de sentido de trânsito  
3  Com marcas - separadoras de sentido e de vias de trânsito

**B12.2 SINALIZAÇÃO LUMINOSA**  
1  Inexistente  
2  A funcionar normalmente  
3  Intermitente  
4  Desligada

**B12.3 SINAIS**  
1  Stop  
2  Ceilândia de passagem  
3  Proibição de ultrapassagem  
4  Passagem de peões  
5  Outros \_\_\_\_\_

**B6 LUMINOSIDADE**  
1  Em pleno dia  
2  Sol encoberto  
3  Aurora ou crepúsculo  
4  Noite, sem iluminação  
5  Noite, com iluminação

**B7 FACTORES ATMOSFÉRICOS**  
1  Bom tempo  
2  Chuva  
3  Névoa forte  
4  Névoa  
5  Neve  
6  Nuvem de fumo  
7  Granizo

**C - NATUREZA DO ACIDENTE**  
DESPISTE  
1  Despiste simples  
Com transposição do separador central  
2  Com dispositivo de retenção  
3  Sem dispositivo de retenção  
4  Com transposição do dispositivo de retenção lateral  
5  Com capotamento  
6  Com colisão com veículo imobilizado ou obstáculo  
7  Com fuga  
8  Frontal  
9  Trazeira com outro veículo em movimento  
10  Lateral com outro veículo em movimento  
11  Com veículo ou obstáculo na faixa de rodagem  
12  Choque em cascata  
13  Com fuga  
14  Outras situações

ATROPELAMENTO  
15  De peões  
16  De animais  
17  Com fuga

Incluído posterior: A B C  
   A preencher no caso de se verificar

**D - VEÍCULOS INTERVENIENTES**  
**D1 CATEGORIA/CLASSE**  
**D1.1 VEÍCULOS A, B e C**  
A B C  
1    Velocipede  
2    Velocipede com motor  
3    Ciclomotor  
4    Motociclo cilindrada ≤ 50 cc  
5    Motociclo cilindrada > 50 cc  
6    Motociclo cilindrada > 50 cc > 25 kW potência / peso > 0,16 kW/kg  
7    Automóvel ligeiro  
8    Automóvel pesado  
9    Veículo agrícola  
10    Máquina industrial  
11    Veículo sobre carris  
12    Veículo de tração animal  
13    Desconhecido

**D1.2 Se o veículo for ciclomotor ou motociclo, especificar no caso de ser:**  
A B C  
1    Triciclo  
2    Quadriciclo

**D2 Se for automóvel ligeiro ou pesado, indicar o tipo:**  
A B C  
1    Passageiros  
2    Mercadorias  
3    Misto  
4    Tractor  
5    Veículo especial - Qual? \_\_\_\_\_

- 4.1 A B C**  
 1    Sem semi-reboque/reboque  
 2    Com semi-reboque/reboque

- D2 TIPO DE SERVIÇO**  
**A B C**  
 1    Particular  
 2    Público

- D3 ANO DE MATRÍCULA**  
 A   B   C

- D4 INSPEÇÃO PERIÓDICA**  
**A B C**  
 1    Não obrigatória  
 2    Válida  
 3    Sem validade

- D5 CERTIFICADO ADR**  
 1.1 Preencher apenas no caso de transporte de mercadorias perigosas  
**A B C**  
 1    Válido  
 2    Sem validade  
 3    Inexistente

- 2. MATÉRIA/OBJECTO PERIGOSO TRANSPORTADO**
- D6 CARGA/LOTAÇÃO/PNEUS**  
 1.1 CARGA/LOTAÇÃO  
**A B C**  
 1    Sem carga  
 2    Com excesso de carga  
 3    Carga bem acondicionada  
 4    Carga mal acondicionada  
 5    Com lotação excedida

- 2. PNEUS**  
**A B C**  
 1    Sem deficiência  
 2    Com deficiência
- 3. TACÓGRAFO**  
**A B C**  
 1    Sem tacógrafo ou desactivado  
 2    Com tacógrafo

- D7 SEGURO**  
**A B C**  
 1    Com seguro  
 2    Sem seguro  
 3    Isento

**E - CONDUTORES INTERVENIENTES**

**E1 CARACTERÍSTICAS DA HABILITAÇÃO DE CONDUÇÃO**

- 1. LICENÇA/CARTA DE CONDUÇÃO**  
**A B C**  
 1    Com licença/carta adequada ao veículo  
 2    Com licença/carta não adequada ao veículo  
 3    Em situação de instrução/exame  
 4    Caducada/suspensa  
 5    Sem licença/carta  
 6    Não necessária ao veículo que conduz

- 2. PAÍS DE EMISSÃO**  
**A B C**  
 1    Portugal  
 2    Outro(s) A  B  C

- 3. ANO DA HABILITAÇÃO**  
 Relativamente ao veículo que conduzia  
 A   B   C

- 4. CERTIFICADO ADR**  
**A B C**  
 1    Válido  
 2    Sem validade  
 3    Inexistente

- E2 CONDIÇÕES PSÍCO/FÍSICAS**  
**1.1 CONTROLO DO NÍVEL DE ALCOOLEMIA**  
**A B C**  
 1    Submetido ao teste de alcoolemia  
 Não submetido por  
 2    Doença  
 3    Lesão ou morte decorrente do acidente  
 4    Condutor não contactado na altura do acidente  
 5    Fuga  
 6    Recusa  
 7    Outra

- 2. TAXA DE ALCOOLEMIA**  
 A   B   C

- 3. OUTROS FACTORES**  
**A B C**  
 1    Normal  
 2    Droga por despistagem  
 3    Sono/soneolência  
 4    Distracção  
 5    Doença súbita  
 6    Fadiga

- 4. TEMPO DE CONDUÇÃO CONTINUADA**  
**A B C**  
 1    Menos de 1 hora  
 2    De 1 a 3 horas  
 3    De 3 a 5 horas  
 4    Mais de 5 horas  
 5    Ignorada

**E3 ACÇÕES E MANOBRAS ANTES DO ACIDENTE**

- 1.1 A B C**  
 1    Início de marcha  
 2    Saída de parqueamento ou rua particular  
 3    Em marcha normal  
 4    Ultrapassagem pela esquerda  
 5    Ultrapassagem pela direita  
 6    Mudança de direcção para a esquerda  
 7    Mudança de direcção para a direita  
 8    Marcha atrás  
 9    Circulação em sentido oposto ao estabelecido  
 10    Travagem brusca  
 11    Parado ou estacionado  
 12    Inversão do sentido de marcha  
 13    Trânsito em filas paralelas  
 14    Mudança de via de trânsito para a esquerda  
 15    Mudança de via de trânsito para a direita  
 16    Desvio brusco/saída de fila de trânsito  
 17    Atravessando a via

- 2. Esquema**

**E4 INFORMAÇÃO COMPLEMENTAR A ACÇÕES E MANOBRAS**

- A B C**  
 1    Desrespeito da sinalização vertical  
 2    Desrespeito das marcas rodoviárias  
 3    Desrespeito da sinalização semafórica  
 4    Manobra irregular  
 5    Velocidade excessiva para as condições existentes  
 6    Não sinalização da manobra  
 7    Desrespeito das distâncias de segurança  
 8    Circulação afastada da bermã ou passeio  
 9    Rebentamento pneumático  
 10    Queda de carga ou objecto  
 11    Falha mecânica do veículo  
 12    Ausência de luzes quando obrigatórias  
 13    Obstáculo imprevisto na faixa de rodagem  
 14    Abertura de porta  
 15    Encandeamento

**E5 ACESSÓRIOS DE SEGURANÇA**

- A B C**  
 1    Capacete  
 2    Cinto de segurança  
 3    Sem uso de cinto/capacete  
 4    Isento

**F - CONSEQUÊNCIAS DO ACIDENTE**

**F1 CONDUTORES VÍTIMAS**

- 1.1 GRAU DE GRAVIDADE DAS LESÕES**  
**A B C**  
 1    Morto  
 2    Ferido grave  
 3    Ferido leve

**F2 PASSAGEIROS VÍTIMAS**

- Veículo A Veículo B Veículo C**  
**1.1 SEXO**  
 a b c d | i j l m | r s t u  
 1       Masculino  
 2       Feminino

- 2. IDADE**  
 a b | i j | r s  
 c d | l m | t u

- 3. POSIÇÃO NO VEÍCULO**  
 a b c d | i j l m | r s t u  
 1       À frente  
 2       À rearguarda  
 3       Desconhecido

- 4. USO DE ACESSÓRIOS DE SEGURANÇA**  
 a b c d | i j l m | r s t u  
 1       C/ capacete/cinto segurança  
 2       C/ sistema retenção de crianças  
 3       S/ uso capacete/cinto segurança  
 4       S/ sistema retenção de crianças

- 5. GRAU DE GRAVIDADE DAS LESÕES**  
 a b c d | i j l m | r s t u  
 1       Morto  
 2       Ferido grave  
 3       Ferido leve  
 4       Ileso

**F3 PEÕES VÍTIMAS**

- 1.1 SEXO**  
 a b c d  
 1     Masculino  
 2     Feminino
- 2. a b c d**  
 1     Peão isolado  
 2     Peões em grupo  
 3     Conduzindo à mão velocípedes, carros de crianças ou de deficientes físicos  
 4     Deslocando-se sobre patins, trinetes ou outros

- 3. IDADE**  
 a b | c d

- 4. CONDIÇÕES PSÍCO-FÍSICAS**  
 a b c d  
 1     Sem restrições  
 2     Com visão deficiente  
 3     Com audição deficiente  
 4     Com deficiência motora  
 Influenciada pelo álcool  
 a b | c d

- 5. ACÇÕES**  
 a b c d

- 1     A sair ou entrar num veículo  
 2     Surgindo inesperadamente na faixa de rodagem de trás de um obstáculo  
 3     Em plena faixa de rodagem  
 4     Em trabalhos na via  
 5     Atravessando fora da passagem de peões, a menos de 50 m de uma passagem  
 6     Atravessando fora da passagem de peões a mais de 50 m de uma passagem ou quando não exista passagem  
 7     Atravessando em passagem sinalizada  
 8     Atravessando em passagem sinalizada com desrespeito da sinalização semafórica  
 9     Em ilhéu ou refúgio na via  
 10     Transitando pela direita da faixa de rodagem  
 11     Transitando pela esquerda da faixa de rodagem  
 12     Transitando pela bermã ou passeio

**6. UTILIZAÇÃO DE MATERIAL REFLECTOR**

- a b c d  
 1     Sim  
 2     Não

- 7. GRAVIDADE DAS LESÕES**  
 a b c d  
 1     Morto  
 2     Ferido grave  
 3     Ferido leve

DATA  /  /

Número de boletins utilizados neste acidente

Nome

(Posto)

ESQUEMAS

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0			
A											Outras	Ultrapassagem	
B											Outras		
C											Outras		
D											Col. Frontal Curva Outras	Col. Frontal Recta Outras	Colisão Frontal
E											Outras	Colisão Retaguarda	
F											Outras		
G											Col. Lateral Curva Outras	Col. Lateral Recta Outras	Colisão Lateral Cruzamento Veículos Sentido Contrário
H											Outras	Colisão Lateral Veículos mesmo sentido	
I											Outras		Colisão c/ Veículo parado, acidentado, obstáculo ou animal
J											Ignorado	Mudança Via de Trânsito	
K											Outras Recta Curva		Despiste
L											Outras	Despiste com colisão em veículos	
M											Outras		Mudança de Direcção
N											Outras		
O											Outras	Regras da Prioridade	
P											Outras		
Q											Outras	Outras Manobras	
R											Outras		
S											Outras	Peões	
T											Outras		
U											Outras	Sinalização Luminosa e Vertical	
V											Outras		Diversos

\* Sinalização luminosa verde   \* Sinalização luminosa vermelha   HMM Despiste   - - - - - Marcha atrás

