

MODELOS EXPLICATIVOS DA GRAVIDADE DOS ACIDENTES RODOVIÁRIOS: O CASO PARTICULAR DOS DESPISTES EM AUTOESTRADAS

Carlos Roque¹, Filipe Moura², João Lourenço Cardoso³

¹ Laboratório Nacional de Engenharia Civil, Departamento de Transportes. Núcleo de Planeamento, Tráfego e Segurança., Av do Brasil 101, 1700-066 Lisboa, Portugal

email: croque@lnec.pt

² CESUR/DECIVIL, Instituto Superior Técnico, Universidade de Lisboa, Av. Rovisco Pais, 1049-001 Lisboa, Portugal

³ Laboratório Nacional de Engenharia Civil, Departamento de Transportes. Núcleo de Planeamento, Tráfego e Segurança, Av do Brasil 101, 1700-066 Lisboa, Portugal

Sumário

Os avanços mais recentes nas metodologias estatísticas aplicadas à informação registada sobre sinistralidade permitiram o desenvolvimento de modelos sofisticados capazes de serem usados para determinar com rigor a influência de diversos fatores nos níveis de gravidade das lesões resultantes dos acidentes rodoviários.

Neste âmbito, o estudo reportado na presente comunicação permitiu identificar um conjunto de fatores, relacionados com a envolvente rodoviária e os seus utentes, que são estatisticamente relacionáveis com a gravidade das lesões nos ocupantes de veículos que se despistam nas autoestradas portuguesas.

Na presente comunicação são apresentados os resultados obtidos no modelo logit multinomial usando a gravidade das lesões no condutor como variável de resposta.

Este estudo permite evidenciar a necessidade de introduzir o conceito de "área adjacente à faixa de rodagem tolerante" para mitigar a gravidade dos despistes em autoestradas portuguesas.

Palavras-chave: Modelos explicativos da gravidade dos acidentes; Despiste; Autoestrada; Logit multinomial.

1 INTRODUÇÃO

A análise de dados de sinistralidade rodoviária tem sido usada nas últimas décadas para aperfeiçoar a conceção e o dimensionamento de estradas e veículos, bem como para orientar políticas conducentes à melhoria da segurança rodoviária. Acresce que a redução da gravidade das lesões resultantes de acidentes rodoviários é atualmente um aspeto fundamental a considerar pelas administrações rodoviárias e fabricante de automóveis, enquadrando-se a eliminação do trauma permanente no âmbito da visão zero ou dos sistemas rodoviários seguros, que constituem bases fundamentais das atuais políticas de segurança rodoviária na União Europeia.

O conhecimento do efeito das diferentes intervenções de segurança rodoviária na redução da gravidade dessas lesões exige uma avaliação empírica detalhada das interações, reconhecidamente complexas, entre veículos, estrada e fatores humanos.

Os avanços mais recentes nas metodologias estatísticas aplicadas à informação registada sobre sinistralidade permitiram o desenvolvimento de modelos matemáticos sofisticados, capazes de serem usados para determinar com rigor a influência dos fatores do tipo acima referido nos níveis de gravidade das lesões resultantes dos acidentes rodoviários.

Existem múltiplas abordagens metodológicas possíveis para estimar a probabilidade da gravidade dos acidentes rodoviários. Uma parte significativa destas abordagens enquadra-se na categoria dos modelos paramétricos de escolha discreta. Entre outros autores, destacam-se as revisões da literatura realizadas por Savolainen et al. [1] e Mannering e Bhat [2], onde se identificaram as diversas alternativas metodológicas existentes, em que circunstâncias podem ser aplicadas e as respetivas limitações. As opções mais comuns podem ser categorizadas nos seguintes conjuntos: modelos não-ordenados (incluindo *logit multinomial*, *logit* hierárquico, modelos *probit* e *logit* mistos, entre outros); e modelos ordenados (por exemplo, modelos ordenados *probit* e *logit* e mais recentemente, modelos ordenados generalizados). A escolha do método mais apropriado depende principalmente da natureza da variável dependente a ser estimada e das restrições metodológicas associadas às características dos dados disponíveis.

Tipicamente, os modelos de escolha discreta são modelos que procuram reproduzir as condições em que os decisores exercem as suas escolhas perante um conjunto finito (geralmente pequeno) de alternativas. Baseiam-se na Teoria de Utilidade Estocástica em que cada alternativa tem uma utilidade para o decisor (neste caso, os operadores) cujo conhecimento antes da decisão é imperfeito e em que, no conjunto dos decisores, existe uma certa variedade de preferências determinadas pelas próprias idiosincrasias do decisor. A estimativa da probabilidade da gravidade dos acidentes rodoviários não se coloca num quadro de decisão racional por uma determinada alternativa em face dos respetivos atributos, mas sim na provável consequência indireta que decorre de um conjunto de opções de condução e, que se pressupõe, ser mais ou menos consciente, em função de uma série de fatores relacionados com o condutor; com os restantes ocupantes do veículo (quando existam); com as características do veículo e da infraestrutura rodoviária; e, por fim, com as condicionantes ambientais (por exemplo, condições de luminosidade). Matematicamente ambos os processos são representados da mesma forma. No entanto, no caso dos acidentes rodoviários a escolha corresponde à ocorrência de um acidente; a opção escolhida corresponde ao nível de gravidade das lesões produzidas (eventualmente nula, no caso dos acidentes sem danos corporais); e as idiosincrasias do decisor são as características dos elementos do sistema de tráfego consideradas na modelação. Já a função utilidade corresponde a uma função de propensão para determinado nível de gravidade de acidente.

Especificamente, a utilidade $u(i)$ de cada alternativa i é descrita como uma função matemática (ver equação seguinte) com um termo determinístico que é função dos seus atributos; e um termo aleatório ϵ , cuja dimensão depende do rigor da informação prévia e da variedade de preferências na população. Tal como representado na fórmula seguinte, cada um dos atributos X_m tem um parâmetro β_m que corresponde à sua importância (peso) relativamente aos outros atributos na utilidade das alternativas [3].

$$u(i) = \beta_0 + \sum_{m=1}^n \beta_m \cdot X_m + \epsilon \quad (1)$$

Com base nesta função utilidade é possível calcular a probabilidade de escolha da alternativa i ser maior que a de todas as outras alternativas. Como referido anteriormente, no quadro da sinistralidade rodoviária não nos podemos referir à utilidade das alternativas, pois não se verifica uma escolha de entre um conjunto de alternativas. Trata-se antes da estimativa do nível j da gravidade do sinistrado que é estimado de forma semelhante à equação 1, por uma combinação linear T (equação 2) para cada acidente registado i , em que o vetor X_{ij} corresponde ao conjunto de variáveis explicativas que caracterizam os fatores condicionantes das opções de conduzam referidas anteriormente, em função da disponibilidade de dados recolhidos aquando dos registos dos acidentes (Washington et al., 2011).

$$T_{ij} = \beta_j X_{ij} + \epsilon_{ij} \quad (2)$$

Estes modelos têm duas aplicações possíveis. Numa perspetiva explicativa, permitem avaliar a importância relativa das variáveis que influenciam a gravidade do acidente (nomeadamente, através do cálculo da elasticidade associada a cada parâmetro, *ceteris paribus*). Numa perspetiva preditiva, é comum a aplicação destes modelos para simular modificações das variáveis e estimar as respetivas consequências na gravidade potencial dos acidentes.

A formulação aditiva da função utilidade apresentada anteriormente corresponde a assumir que o nível de gravidade potencial dos acidentes é compensatória, isto é: os ‘fatores mitigadores’ numa das variáveis (por exemplo, experiência do condutor) podem ser compensados por ‘fatores agravantes’ noutras (por exemplo, características da infraestrutura).

Por fim, o cálculo da probabilidade P_{ij} do nível de gravidade j , face às restantes possibilidades, é feito através do modelo *Logit* multinomial cuja formulação genérica é representada pela seguinte equação.

$$P_{ij} = \frac{EXP[\beta_j X_{ij}]}{\sum_j EXP[\beta_j X_{ij}]} \quad (3)$$

O modelo LMN apresentado na equação anterior implica a verificação de dois pressupostos: 1) as variáveis explicativas são independentes e identicamente distribuídas, sendo que o termo de erro ε_{ij} segue a distribuição de Gumbel (referido como ‘*iid extreme value*’, na literatura anglo-saxónica); e 2) independência e a idêntica distribuição das componentes não observáveis das alternativas do conjunto de observações (referido como ‘*Independence of Irrelevant Alternatives*’ – IIA). A violação destes pressupostos pode originar erros na especificação das relações entre as variáveis explicativas e o nível de gravidade potencial dos acidentes. Segundo Savolainen et al. [1], os estudos empíricos revelaram que a violação da propriedade IIA depende em grande medida dos dados recolhidos. Assim, é necessário realizar o teste de hipóteses respetivo para verificar o cumprimento desta propriedade. Neste estudo, foi aplicado o teste de Hausman e McFadden [5], que permite verificar a hipótese de a matriz de variância-covariância permanecer idêntica na ausência de uma das alternativas. A hipótese nula deste teste não foi rejeitada no modelo LMN (ver Fig.1), podendo afirmar-se que, com base nos dados recolhidos, a propriedade IIA se verifica, não sendo, por isso, expectáveis erros de especificação nos modelos desenvolvidos, com um grau de confiança de 95%.

A figura seguinte apresenta a estrutura do modelo LMN especificado. Foram considerados 4 níveis de gravidade dos acidentes: fatal, ferimentos graves, ferimentos leves e só danos materiais.

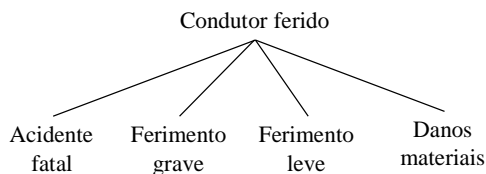


Fig. 1. Estrutura dos modelos *logit multinomial*

Por fim, é importante realçar que muitos acidentes ocorridos não são registados em bases de dados [6, 7]. Este fenómeno gera uma distorção na amostra face à distribuição real por nível de gravidade, que pode introduzir enviesamentos na calibração dos parâmetros dos modelos e, em consequência, produzir inferências erradas. Considerando que cumprem a propriedade de IIA, os modelos *logit* multinomial têm a vantagem adicional de, mesmo nestes casos, estimarem corretamente os parâmetros, com exceção da constante específica de cada nível de gravidade.

Com base neste enquadramento teórico e nos dados de sinistralidade recolhidos, foi possível calibrar o modelo apresentado na Secção 3, recorrendo ao *software* Biogeme v2.4 [8].

No desenvolvimento da análise foram estimados modelos não ordenados (*logit* multinomiais e *mixed logit*) usando a maior gravidade das lesões nos ocupantes (condutor ou passageiros) como variável de resposta. Na presente comunicação são apresentados os resultados obtidos no modelo *logit* multinomial usando a gravidade das lesões no condutor como variável de resposta. O modelo aqui descrito, assim como os restantes modelos desenvolvidos são apresentados de forma pormenorizada em [9].

Em suma, a análise reportada na presente comunicação permitiu identificar um conjunto de fatores, relacionados com a envolvente rodoviária e os utentes, que são estatisticamente relacionáveis com a gravidade das lesões nos ocupantes de veículos que se despistam nas autoestradas portuguesas.

2 DESCRIÇÃO DOS DADOS

Neste capítulo descrevem-se as características do conjunto de dados relativo a autoestradas que foi utilizado no estudo reportado na presente comunicação. São igualmente apresentadas as características dos dados referentes a despistes e a síntese das suas estatísticas descritivas.

2.1 Dados recolhidos

Em Portugal, os níveis de gravidade das lesões nas vítimas de acidentes rodoviários são registados pela polícia e classificadas em função do tempo de permanência das vítimas no hospital:

- Morto ou vítima mortal: Vítima de acidente cujo óbito ocorra no local do evento ou no seu percurso até à unidade de saúde.
- Ferido grave: Vítima de acidente cujos danos corporais obriguem a um período de hospitalização superior a 24 horas.
- Ferido leve: Vítima de acidente que não seja considerada ferido grave.

A fim de permitir a comparabilidade dos dados de sinistralidade, foi estabelecido ao nível internacional que os países deveriam contabilizar como mortos em acidentes de viação todas as vítimas que viessem a falecer no período compreendido entre o momento do acidente e os 30 dias imediatos. Apesar desta definição já ser usada em Portugal ainda não estava refletida nos dados usados no presente estudo.

Os dados existentes permitiram classificar os despistes em função do nível máximo de gravidade das lesões do condutor e dos ocupantes. A análise foi feita recorrendo a dados de acidentes rodoviários fornecidos pela Guarda Nacional Republicana (GNR). À ocorrência de um acidente corporal participado às forças policiais está necessariamente associado o preenchimento dum Participação de Acidentes de Viação (PAV), com informação necessária à eventual intervenção do Procurador-Geral da República. É ainda preenchido o Boletim Estatístico de Acidentes de Viação (BEAV), que é enviado à Autoridade Nacional de Segurança Rodoviária (ANSR), entidade responsável pela organização da base de dados de acidentes rodoviários portugueses. Uma vez que a informação constante no BEAV não se revelou suficiente para a análise a desenvolver, foi recolhida informação adicional, constante nas PAV. Esta recolha não foi, no entanto, integral, por nem tudo ser considerado relevante para o estudo. Os dados foram recolhidos sob a forma de informação alfanumérica, tendo sido registados informaticamente numa base de dados auxiliar, que contém informação referente aos impactos e a características dos ocupantes dos veículos acidentados. 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”. Esta recolha de informação constante nas PAV permitiu adicionar um conjunto de acidentes sem vítimas (apenas com danos materiais) à base de dados formada com os dados da ANSR (que apenas contempla acidentes corporais).

2.2 Formação e descrição da amostra

Na presente comunicação é analisada a gravidade das lesões sofridas pelos condutores de veículos descontrolados enquanto vítimas de despistes. Os critérios utilizados para a formação da amostra foram os seguintes:

- Foram selecionados acidentes que envolveram um único veículo;
- Foram analisados despistes ocorridos em secção corrente de autoestradas; e
- Foram excluídos os despistes ocorridos em rampas de acesso (ou dentro de um raio de 250 m dos respetivos nós desnivelados) e zonas de entrecruzamento.

Em termos globais, foram selecionados 765 acidentes dos 840 despistes registados em autoestradas, a que se teve acesso.

Neste estudo só foram incluídos despistes que envolveram obstáculos localizados na área adjacente à faixa de rodagem (AAFR). Estes obstáculos incluem, entre outros, amortecedores de choque, guarda corpos em obras de

arte, barreiras de segurança, terminais, sinais verticais, postes, lancis, valetas, taludes e árvores. Foram excluídos todos os acidentes que tenham envolvido vários veículos, bem como aqueles em que informação relevante estava em falta, o que resultou no final num conjunto de 764 despistes ocorridos ao longo de 580 quilómetros de autoestradas durante os anos de 2009 e 2010.

No Quadro 1 mostra-se a distribuição dos acidentes por categoria de lesão para a variável de resposta considerada. Apenas 0.8% de todos os acidentes em que houve lesão do condutor foram fatais, enquanto que a grande maioria dos acidentes resultou em ferimentos leves. Em 125 dos 764 despistes registados (16.4%) não se registaram ferimentos no condutor. Registou-se um único caso em que a gravidade dos ferimentos do condutor é desconhecida. A maioria dos acidentes envolveu ferimentos em pelo menos um ocupante, uma vez que, por um lado, a base de dados da ANSR contém apenas acidentes com vítimas e, por outro, no caso de acidentes sem vítimas, a polícia raramente faz um esboço quando os veículos são movidos das suas posições de imobilização antes do registo oficial.

Quadro 1 – Estatísticas descritivas da gravidade das lesões no condutor do veículo

	Fatal	Ferimento grave	Ferimento ligeiro	Apenas danos materiais	Total
Número de ocorrências	6	47	586	125	764
Percentagem	0.8%	6.1%	76.7%	16.4%	100%

O conjunto de dados analisado contém informação sobre uma série de atributos relativos aos despistes. Aqueles em que ficou demonstrada a sua relevância para explicar a gravidade das lesões são descritos nos Quadros 2 e 3, para o caso de variáveis contínuas ou categóricas, respetivamente. No caso das variáveis contínuas, incluem-se os seus valores médios e respetivos desvios-padrão (ver Quadro 2). No Quadro 3, é apresentada a proporção de observações de valores 1 ou 0 para as variáveis mudas (*dummy*).

Quadro 2 – Estatísticas descritivas das variáveis contínuas

Categoria da variável	Variável	Descrição	Média	Desvio padrão	Mínimo	Máximo
Características da AAFR	Obstáculos	Número de obstáculos* atingidos num despiste	1.508	0.708	0	4
Características da estrada	Limite de velocidade	Limite de velocidade do trecho	119.764	2.334	90	120
Informação do acidente	Pessoas envolvidas	Número de pessoas envolvidas	1.562	0.855	1	7
Informação do condutor	Idade	Idade do condutor, em anos	38.282	13.813	18	83

* Incluindo barreiras de segurança

O período de ponta da tarde foi considerado, mas não foi significativo para qualquer dos níveis de gravidade considerados. Uma explicação para tal, poderá ser o facto de o período de ponta da tarde ser muito menos concentrado e, portanto, não ocorrer qualquer período de ponta intenso.

Quadro 3 – Estatísticas descritivas das variáveis categóricas

Categoria da variável	Variável	Descrição da variável muda (<i>dummy</i>)	% Sim (D=1)	% Não (D=0)
Características sazonais	Noite	Noite	32.9	67.1
	Inverno	Inverno (dezembro, janeiro ou fevereiro)	29.5	70.5
	Hora de ponta	Período de ponta da manhã (07h30 às 10h00)	13.5	86.5
Características da AAFR	Talude	O primeiro evento perigoso é atravessar/colidir com um talude	11.8	88.2
	Barreira	O primeiro evento perigoso é colidir com uma barreira de segurança	41	59
Características da estrada	Curva à direita	Curva à direita em planta	12.3	87.7
	Reta	Alinhamento reto	74.9	25.1
Informação do acidente	Incursão direita	Saída de estrada pelo lado direito da faixa de rodagem	55.2	44.8
	Capotamento	Capotamento	36.6	63.4
	Automóvel	Envolvimento de veículo ligeiro de passageiros	75.8	24.2
Informação do condutor	Mulher	Sexo (feminino=1)	36.9	63.1

3 RESULTADOS DO MODELO

Neste capítulo é apresentado o modelo explicativo da gravidade dos acidentes (MEGA) desenvolvido para trechos unidirecionais de autoestrada da RRN.

3.1 Variáveis explicativas

Foi selecionado um conjunto de variáveis, agrupadas em cinco espécies: características sazonais (incluindo noite, inverno e hora de ponta); características da AAFR (incluindo atravessamento de taludes, colisão com barreiras de segurança e número de obstáculos envolvidos); características da estrada (incluindo direção de incursão, curvas horizontais e alinhamentos retos); informação sobre os acidentes (incluindo limite de velocidade, capotamento do veículo, tipo de veículo e número de pessoas envolvidas); e informação sobre o condutor (incluindo sexo do condutor e idade).

Foram calibrados 16 parâmetros, distribuídos pelos quatro níveis de gravidade. Através deles foi possível identificar os efeitos potenciais de diversos fatores relacionados com as espécies acima identificadas. É importante realçar que a maioria dos parâmetros foi estatisticamente significativa com valores p inferiores a 5% (ou seja, para níveis de confiança acima de 95%). Registaram-se 4 exceções em que os valores de p variaram entre 5% e 10%. Como referido acima, o presente estudo teve como objetivo identificar fatores relacionados com a “intolerância” (perigo) da AAFR através da análise estatística da máxima gravidade das lesões em ocupantes dos veículos que se despistam. Desta forma, o modelo é utilizado para fins explicativos (exclusivamente dentro do intervalo de valores observados), caso em que são aceitáveis menores valores de p [4].

Não puderam ser consideradas na análise variáveis potencialmente relevantes, tais como: largura de berma e de zona livre, número de vias, volume de tráfego e condições de iluminação. Tal facto ficou a dever-se, em alguns casos, à completa ausência de informação sobre as mesmas e, noutros, por estas características estarem ausentes da base de dados num conjunto muito significativo de observações. A variável altura do dia foi utilizada como substituta das condições de luminosidade.

No modelo final, apenas foram consideradas as variáveis explicativas estatisticamente significativas. Foi considerado como critério de inclusão um nível de confiança mínimo de 85%. Os coeficientes das variáveis foram restringidos para serem iguais em mais do que um nível de gravidade, sempre que os seus efeitos não foram significativamente diferentes de um nível para outro. A fim de minimizar o enviesamento e reduzir a variabilidade dos modelos, foi definido como nível base o nível de gravidade fatal [10]; a Constante Específica Alternativa (ASC) foi definida em conformidade.

3.2 Modelo e sua interpretação

No Quadro 4 são descritos os resultados da estimação do modelo em que a variável de resposta é a gravidade das lesões no condutor.

Quadro 4 – Coeficientes estimados.

Nível de gravidade	Variável	Coeficiente estimado	Teste <i>t</i>	valor <i>p</i>
Fatal	Hora de ponta	-1.340	-1.83	0.07
	Talude	1.760	2.06	0.04
	Reta	-2.310	-2.57	0.01
	Capotamento	0.778	2.67	0.01
	Pessoas envolvidas	0.967	8.36	<0.001
Ferimento grave	Constante (específica do ferimento grave/ligeiro)	6.530	8.53	<0.001
	Hora de ponta	-1.340	-1.83	0.07
	Limite de velocidade	-0.029	-9.39	<0.001
	Capotamento	0.778	2.67	0.01
Ferimento ligeiro	Constante (específica do ferimento grave/ligeiro)	6.530	8.53	<0.001
	Noite	-0.421	-2.11	0.04
	Curva à direita	0.628	1.93	0.05
	Idade	-0.016	-2.4	0.02
Apenas danos materiais	Constante	2.490	3.41	<0.001
	Inverno	0.600	2.55	0.01
	Barreira	0.369	1.69	0.09
	Incursão direita	-0.762	-3.45	<0.001
	Automóvel	0.465	1.63	0.10
	Pessoas envolvidas	0.967	8.36	<0.001
	Mulher	-0.884	-3.38	<0.001
Número de observações		764		
Log-verosimilhança em zero		-1059.129		
Log-verosimilhança na convergência		-463.266		
<i>Graus de Liberdade</i>		16		
ρ^2 -ajustado		0.547		
<i>Critério de Informação Bayesiano (BIC)</i>		93.940		

Nota: os termos constantes para ferimentos graves e leves são os mesmos, uma vez que a análise de covariância/correlação de pares de coeficientes estimados indica que os dois parâmetros não são significativamente diferentes sendo, por isso, tratados como genéricos [11]. A variável *Pessoas envolvidas* foi restringida a ser igual nos níveis de gravidade *Fatal* e *Apenas danos materiais*. As variáveis *Hora de ponta* e *Capotamento* foram restringidas a serem iguais nos níveis de gravidade *Fatal* e *Ferimento grave*.

No que diz respeito à interpretação do modelo, é sabido que os coeficientes estimados não são suficientes para avaliar a forma como alterações nas variáveis explicativas afetam as probabilidades dos resultados. Tal fica a dever-se ao facto de o efeito marginal de uma variável depender de todos os coeficientes do modelo, pelo que o seu efeito real não pode ser determinado diretamente a partir do valor ou sinal de qualquer coeficiente isoladamente [12].

Para avaliar o vetor de coeficientes estimados (β_j), são calculadas elasticidades, que medem a magnitude do impacto das variáveis específicas sobre as probabilidades dos diferentes níveis de gravidade. A elasticidade da estimativa dos parâmetros para variáveis contínuas é calculada para cada condutor i como [4]:

$$E_{x_{ik}}^{P_{ij}} = [1 - P_{ij}] \beta_j X_{kj}, \quad (4)$$

onde P_{ij} corresponde à probabilidade do nível de gravidade j e X_{kj} é o valor da variável k para o nível de gravidade específico j .

Contudo, as elasticidades não são aplicáveis a variáveis *dummy*. Nestes casos, a pseudo-elasticidade, $E_{x_{ik}}^{P_{ij}}$, da variável de ordem k do vetor X_i , designada X_{ik} , relativamente à probabilidade, P_{ij} , de uma pessoa (i) sofrer o nível de gravidade j pode ser calculada pela seguinte equação [13]:

$$E_{x_{ik}}^{P_{ij}} = \left[e^{\beta_{jk}} \frac{\sum_{j=1}^J e^{\beta_j' X_i}}{\sum_{j=1}^J e^{\Delta(\beta_j' X_i)}} - 1 \right] \times 100, \quad (5)$$

onde J corresponde ao número de níveis de gravidade possíveis, $\Delta(\beta_j' X_i)$ é o valor da função que determina o nível de gravidade, T_{ij} , após X_{ik} ter sido alterado de zero para um; enquanto $\beta_j' X_i$ corresponde ao valor quando $X_{ik} = 0$; X_i é um vetor de k variáveis explicativas partilhadas por todos os níveis de gravidade; β_j é um vetor dos coeficientes estimados das k variáveis para o nível de gravidade j ; e β_{jk} é o coeficiente de X_{ik} no nível de gravidade j .

Com o objetivo de avaliar corretamente o vetor dos coeficientes estimados dos parâmetros (β_j), são apresentadas no Quadro 5 as elasticidades específicas dos parâmetros (para variáveis contínuas) e as pseudo-elasticidades (no caso das variáveis categóricas). Estas permitem medir o impacto dos parâmetros individuais sobre a probabilidade dos quatro níveis de gravidade da lesão possíveis. Ao analisar os efeitos das variáveis contínuas, a variação percentual dos níveis de gravidade resultantes do despiste é comparada com uma variação de 10% da variável de estímulo (neste caso, os fatores a analisar). No caso de variáveis categóricas, uma vez que a variação dos fatores (isto é, das variáveis *dummy*) é necessariamente de 0 (condição base) para 1, a variação percentual dos resultados nos níveis de gravidade das lesões refere-se a uma variação de 100% nos regressores.

Quadro 5 – (Pseudo-)elasticidades.

Variável	MNL			
	Fatal	Ferimento grave	Ferimento ligeiro	Apenas danos materiais
Hora de ponta	-0.74	-0.72	-	-
Talude	4.69	-	-	-
Reta	-0.90	-	-	-
Capotamento	1.16	1.07	-	-
Pessoas envolvidas	1.49	-	-	1.16
Limite de velocidade	-	-3.27	-	-
Noite	-	-	-0.10	-
Curva à direita	-	-	0.14	-
Idade	-	-	-0.15	-
Inverno	-	-	-	0.34
Barreira	-	-	-	0.36
Incursão para a direita	-	-	-	-0.47
Automóvel	-	-	-	0.49
Mulher	-	-	-	-0.53

Do Quadro 5 destacam-se diversos resultados. Em primeiro lugar, os despistes que envolvem o atravessamento de taludes aumentam o risco de ferimentos fatais para o condutor para 469% (quando comparados com a situação de não atravessar taludes). Este resultado não é, pelo menos parcialmente, surpreendente. Na realidade a presença na AAFR de taludes com inclinações mais íngremes do que 3H: 1V (ou seja, onde há um aumento de 1 m de altura para cada aumento de 3 m de extensão horizontal) é muito frequente nas autoestradas portuguesas. Estes taludes são, na realidade, áreas intransponíveis para os veículos descontrolados que saem da faixa de rodagem e que invadem a AAFR, conforme mencionado nas recomendações sobre segurança rodoviária na AAFR elaboradas pelo LNEC para o IMT [14].

Em segundo lugar, é particularmente significativo o resultado obtido para a variável *reta*, referente aos casos em que os despistes ocorrem num alinhamento reto, em contraste com aqueles que ocorrem em alinhamento curvos. O parâmetro negativo (-2.82) específico para ferimentos fatais e a sua correspondente (pseudo-) elasticidade de -0.94, mostram que os alinhamentos retos têm uma probabilidade de ferimentos fatais para o condutor 94% inferior à dos alinhamentos curvos.

Em terceiro lugar, como era previsível pelos resultados de estudos anteriores e intuitivamente, o capotamento de um veículo aumenta o risco de ferimentos fatais ou graves em 120% e 114%, respetivamente, em comparação com despistes em que o capotamento não ocorre.

Finalmente, destaca-se o facto de os despistes que envolvem a colisão com barreiras de segurança metálicas tenderem a resultar em acidentes exclusivamente com danos materiais (50%) quando comparados com outros obstáculos presentes na AAFR das autoestradas portuguesas. Tal facto pode ficar a dever-se ao facto de as barreiras de segurança metálicas terem uma maior capacidade de absorção controlada de energia, daí resultando – em caso de colisão – uma redução das desacelerações nos ocupantes do veículo descontrolado.

4 CONCLUSÕES

O estudo descrito na presente comunicação demonstra a importância dos taludes críticos e do capotamento nos ferimentos fatais, e evidencia a importância de introduzir o conceito de "área adjacente à faixa de rodagem tolerante" para mitigar a gravidade das lesões associadas aos despistes nas autoestradas portuguesas. O estudo realça ainda a importância de proteger os veículos descontrolados, particularmente em curvas horizontais, uma vez que estas estão diretamente relacionadas com as lesões fatais.

Para realizar a análise, foram recolhidos dados relativos a despistes em secção corrente de autoestradas portuguesas. O modelo *logit* multinomial aqui apresentado tem como variável de resposta a gravidade das lesões do condutor dos veículos descontrolados. Foram ainda calculadas as elasticidades para complementar a análise.

Os resultados empíricos do modelo desenvolvido revelam problemas ao nível do projeto rodoviário português, em particular no que diz respeito aos critérios de dimensionamento da AAFR e de colocação das barreiras de segurança. Salienta-se a necessidade de rápida aplicação do conceito de "AAFR tolerante" – em particular em alinhamentos curvos – de acordo com as recomendações sobre segurança rodoviária na AAFR elaboradas pelo LNEC para o IMT [14].

5 AGRADECIMENTOS

Os autores manifestam a sua gratidão à Guarda Nacional Republicana pela cooperação no fornecimento dos dados pormenorizados acerca da sinistralidade e de características da AAFR utilizados nesta investigação.

6 REFERÊNCIAS

- 1 P. Savolainen, F. Mannering, D. Lord, M. Quddus, The statistical analysis of highway crash-injury severities: a review and assessment of methodological alternatives. *Accid. Anal. Prev.* 43 (5), 1666–1676, 2011.
- 2 F. Mannering, C.R. Bhat, Analytic methods in accident research: methodological frontier and future directions. *Anal. Methods Accid. Res.* 1, 1–22, 2014.
- 3 M. Ben-Akiva, S.R. Lerman, S. R. Discrete choice analysis: theory and application to travel demand (Vol. 9). *MIT press*, 1985.

- 4 S. Washington, M. Karlaftis, F. Mannering, *Statistical and Econometric Methods for Transportation Data Analysis*, 2nd ed. *Chapman and Hall/CRC*, 2011.
- 5 J. Hausman, D. McFadden, Specification tests for the multinomial logit model. *Econometrica* 52 (5), 1219–1240, 1984.
- 6 T. Yamamoto, J. Hashiji, V. Shankar, Underreporting in traffic accident data, bias in parameters and the structure of injury severity models. *Accid. Anal. Prev.* 40 (4), 1320–1329, 2008.
- 7 S. Patil, S.R. Geedipally, D. Lord, Analysis of crash severities using nested logit model—accounting for the underreporting of crashes. *Accid. Anal. Prev.* 45, 646–653, 2012.
- 8 M. Bierlaire, BIOGEME: A free package for the estimation of discrete choice models , *Proceedings of the 3rd Swiss Transportation Research Conference*, Ascona, Switzerland, 2003.
- 9 C. Roque, F. Moura, J.L. Cardoso, Investigating the relationship between run-off-the-road crash frequency and traffic flow through different functional forms, *Accid. Anal. Prev.* 80, Pages 262-273, 2015.
- 10 F. Ye, D. Lord, Investigating the effects of underreporting of crash data on three commonly used traffic crash severity models: multinomial logit, ordered probit and mixed logit models. *Transp. Res. Rec.* 2241, 51–58, 2011.
- 11 J.D. Ortuzar, L.G. Willumsen, *Modelling Transport*, 4th ed. Wiley & Sons, England, 2011.
- 12 Khorashadi, A., Niemerier, D., Shankar, V., Mannering, F.L., 2005. Differences in rural and urban driver-injury severities in accidents involving large-trucks: an exploratory analysis. *Accid. Anal. Prev.* 37 (5), 910–921.
- 13 Ulfarsson, G.F., Mannering, F.L., 2004. Differences in male and female injury severities in sport-utility vehicle, minivan, pickup and passenger car accidents. *Accident Analysis and Prevention* 36 (2), 135–147.
- 14 C. Roque, J.L. Cardoso, Área Adjacente à Faixa de Rodagem – Manual sobre Aspectos de Segurança. Disposições Normativas. *Instituto de Infraestruturas Rodoviárias, I.P.*, Lisboa, 2011.