

# ESTUDO SOBRE A INFLUÊNCIA DOS POSTES TOLERANTES COM ELEVADA ABSORÇÃO DE ENERGIA NA GRAVIDADE DOS DESPISTES

Carlos Roque

LNEC, Núcleo de Planeamento, Tráfego e Segurança, Av. do Brasil 101, Portugal, E-mail: [croque@lnec.pt](mailto:croque@lnec.pt)

João Lourenço Cardoso

Laboratório Nacional de Engenharia Civil, Departamento de Transportes, Lisboa, Portugal, E-mail: [jpcardoso@lnec.pt](mailto:jpcardoso@lnec.pt)

Heike Martensen

SWOV Institute for Road Safety Research [heike.martensen@swov.nl](mailto:heike.martensen@swov.nl)

Quentin Lequeux

Vias institute [quentin.lequeux@vias.be](mailto:quentin.lequeux@vias.be)

**RESUMO:** O presente estudo visou investigar o efeito dos postes tolerantes na gravidade dos despistes ocorridos na região belga da Flandres. Foram recolhidos dados sobre despistes, ocorridos nos anos de 2015 a 2020, em trechos de estradas na Flandres e estimados modelos logit multinomiais e mistos utilizando a gravidade das lesões no condutor e no ocupante mais gravemente ferido como variáveis de resposta.

Nesta comunicação, são apresentados os resultados que demonstram que os postes tolerantes com elevada absorção de energia (classificação conforme a norma CEN 12767 HE) estão associados a uma maior incidência de ferimentos ligeiros, indo ao encontro da atual política flamenga para instalação de postes de iluminação e do conceito de "área adjacente à faixa de rodagem tolerante", para mitigar a gravidade dos despistes nas estradas belgas. O estudo demonstra ainda a importância de proteger os veículos descontrolados dos postes tradicionais, que se confirmou estarem associados a ferimentos graves. A qualidade e disponibilidade dos dados têm constituído limitação fundamental nas tentativas de estudar os efeitos dos obstáculos na área adjacente à faixa de rodagem nas consequências dos acidentes, particularmente quando estes resultam em ferimentos ligeiros ou apenas em danos materiais. Devido a esta limitação os resultados devem ser interpretados com cautela. Por outro lado, para ajustar modelos estatísticos mais flexíveis e robustos, devem ser recolhidos mais dados sobre os acidentes com postes tolerantes envolvendo apenas danos materiais.

**PALAVRAS-CHAVE:** Poste tolerante; Área adjacente à faixa de rodagem; Modelo explicativo da gravidade dos acidentes; Despiste; Logit multinomial; Logit misto

## 1. Introdução

As lesões causadas por acidentes rodoviários constituem um encargo significativo para as sociedades modernas em todo o mundo. Os despistes estão entre os tipos de acidentes mais letais. De acordo com o Observatório Europeu da Segurança Rodoviária (ERSO, 2018), os acidentes com um único veículo representaram cerca de um terço do número total de vítimas mortais de acidentes registados na União Europeia entre 2007 e 2016. Durante este período, cerca de 95 000 pessoas morreram em acidentes com

um único veículo nos Estados-Membros da União Europeia. Na Bélgica, os acidentes com um único veículo causaram mais de 3400 vítimas mortais entre 2007 e 2016, representando aproximadamente 40% de todas as vítimas mortais.

As colisões com objetos estreitos ocorrem normalmente após a perda de controlo do veículo, a guinada para fora da estrada e o impacto em objetos fixos, como postes, árvores e taludes. São pouco frequentes, mas podem causar ferimentos graves. Nos Estados Unidos da América (EUA), em 2020, cerca de 20% das mortes em veículos motorizados envolveram objetos fixos (NHTSA 2022, Stewart 2022). Destes, 46% foram impactos com árvores e 11% foram colisões com postes de eletricidade. As mortes de ocupantes devido a colisões com postes e árvores foram frequentemente associadas a iluminação deficiente, consumo de álcool e a condutores jovens do sexo masculino.

Os choques de veículos com estruturas fixas na área adjacente à faixa de rodagem (AAFR), como postes, podem resultar em lesões semelhantes ou mais graves do que as colisões com outros veículos. Devido à reduzida área de contacto do poste, em comparação com outro veículo ou uma barreira, as estruturas de esmagamento do veículo em impacto não são frequentemente totalmente ativadas, o que pode resultar numa carga muito mais agressiva para a zona de impacto do veículo e do ocupante (Lockhart et al., 2012).

A aplicação de postes tolerantes tem por objetivo reduzir a gravidade dos acidentes com postes. A natureza não tolerante de um poste tradicional contribui para a gravidade do acidente, fazendo com que os veículos desacelerem bruscamente. Os postes separáveis (“breakaway”) permitem que os veículos passem através do poste e, por conseguinte, não exigem que o veículo absorva tanta energia - são o equivalente americano aos postes CEN NE. Uma alternativa aos postes separáveis são os postes tolerantes com absorção de energia. Os postes com absorção de energia (postes CEN LE e HE) achatam-se com o impacto, mas não se partem. Estes postes são concebidos para “capturar” o veículo e pará-lo com suavidade suficiente para que a mudança de velocidade e a desaceleração não excedam os requisitos estabelecidos para a segurança dos ocupantes do veículo (Wilken et al., 2001; Lacy et al., 2004).

Ao longo dos últimos anos, um número considerável de estudos identificou fatores que contribuem para os acidentes e lesões envolvendo postes, com base em múltiplos métodos de recolha e análise de dados (Good et al., 1987; Lee and Mannering, 2002; Holdridge et al., 2005; Gabler et al., 2007; Pintar et al., 2007; Daniello and Gabler, 2011, Xie, et al., 2012; El Esawey and Sayed, 2012; Roque and Jalayer, 2018 e Albuquerque and Awadalla, 2019).

Apesar de vários estudos indicarem que os embates contra postes de segurança passivos raramente têm consequências graves, não foram encontradas análises estatísticas sólidas sobre a eficácia da utilização destas estruturas de apoio na redução da gravidade das colisões. Tanto quanto é do nosso conhecimento, a análise reportada na presente comunicação é a primeira a abordar o efeito mitigador dos postes tolerantes com absorção de energia na gravidade dos despistes. Para este efeito, foram analisados os despistes que resultaram em colisões com objetos fixos na Flandres.

Os resultados aqui descritos são apresentados de forma pormenorizada em (Roque et al., 2024).

## **2. Descrição dos dados**

No presente estudo, são utilizados dados de acidentes na Flandres, obtidos a partir de três fontes diferentes: (1) Base de dados de acidentes belga (2) Lista geocodificada de postes tolerantes e (3) Dados sobre danos causados ao equipamento rodoviário da base de dados de gestão de ativos.

### **2.1 Dados de acidentes**

Os dados nacionais sobre acidentes incluem informações sobre o acidente, o veículo, o ocupante e a estrada. Neste estudo, apenas foram utilizados os despistes que envolviam obstáculos presentes na

AAFR. As características da AAFR a considerar no estudo incluem árvores, vedações, valas, muros, postes (de iluminação e outros) e outros objetos fixos. Dado o foco deste estudo, apenas os despistes que resultaram em colisões com objetos fixos foram considerados para análise posterior.

Na Bélgica, 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:

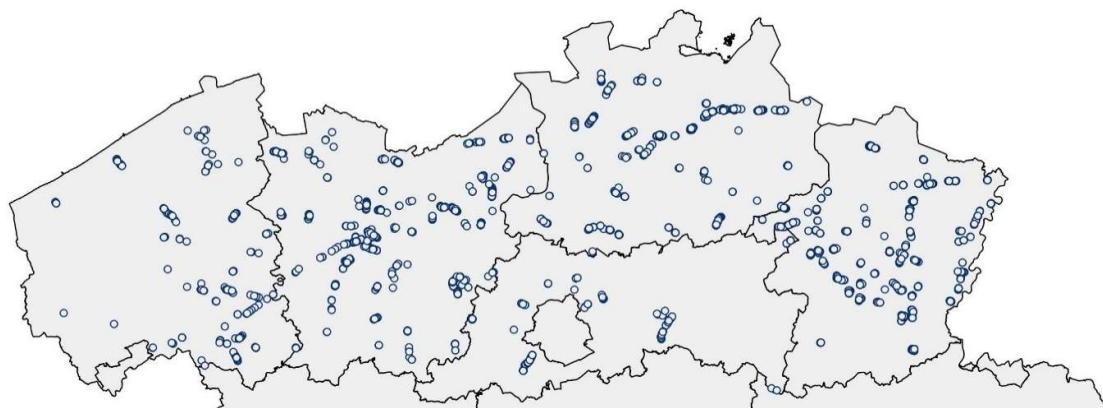
- Sem ferimentos é uma pessoa envolvida no acidente mas que não é uma das vítimas feridas.
- Ferido leve: Vítima de acidente cujos danos corporais obriguem a um período de hospitalização não ultrapasse 24 horas.
- Ferido grave: Vítima de acidente cujos danos corporais obriguem a um período de hospitalização superior a um dia.
- Morto ou vítima mortal: Vítima de acidente cujo óbito ocorra no local do evento ou até 30 dias após a ocorrência do acidente

Os dados existentes permitiram classificar os despistes em função do nível máximo de gravidade das lesões do condutor e dos ocupantes.

A gravidade do ocupante mais gravemente ferido foi classificada de acordo com a escala de gravidade das lesões acima mencionada, em que “sem ferimentos” só se pode aplicar a acidentes envolvendo apenas danos materiais que tenham sido adicionados com base nos dados sobre danos causados ao equipamento rodoviário da base de dados de gestão de ativos

## 2.2 Lista de postes tolerantes HE

Para identificar o tipo de poste atingido (tradicional ou tolerante com elevada absorção de energia HE), os dados dos acidentes foram associados a uma lista geocodificada de mais de 5800 postes de iluminação tolerante com elevada absorção de energia HE instalados na Flandres (ver Figura 1), incluindo as coordenadas GPS e a data de instalação.



**Figura 1 – Localização dos postes tolerantes HE**

## 2.3 Dados sobre danos causados ao equipamento rodoviário

Os dados de acidentes consistem apenas em acidentes com vítimas. Tal limitação complica a análise da gravidade das lesões, dado que uma categoria importante de acidentes (aqueles em que ninguém ficou ferido) não é registada. Ao incidir sobre as lesões nos condutores é possível incluir a classe dos condutores sem ferimentos na análise (ver, por exemplo, Wu et al. 2014 e Islam et al., 2023). No entanto,

numa base de dados de acidentes com feridos, os despistes com um condutor sem ferimentos têm de envolver um passageiro ferido (o que acontece apenas numa minoria dos acidentes com vítimas na Bélgica).

Para incluir os acidentes em que ninguém ficou ferido, foram incluídos os dados sobre danos causados ao equipamento rodoviário da base de dados de gestão de ativos da Agência Flamenga de Viação e Trânsito (AWV). Exceto no caso das tempestades, esses danos foram considerados como resultantes de um acidente, sempre que os inspetores da AWV não registaram o contrário. Para cada objeto danificado que não tinha um registo correspondente na base de dados de acidentes, partiu-se do princípio de que se tratava de um acidente apenas com danos materiais (“PDO”).

#### **2.4 Formação e descrição das amostras**

Dado o objetivo do presente estudo, que consiste em analisar o efeito mitigador dos postes tolerantes com elevada absorção de energia nos despistes, os postes de iluminação e os postes de sinalização rodoviária foram diferenciados nos dados de acidentes e nos dados de danos (ou seja, em termos de acidentes apenas com danos materiais), uma vez que os postes tolerantes são utilizados apenas para iluminação. O facto de os postes de iluminação serem postes tolerantes foi definido de acordo com os seguintes critérios

- Correspondência de localização: o acidente ocorreu a menos de 20 m de um poste danificado;
- Correspondência temporal: o acidente ou os danos ocorreram após a instalação de um poste de segurança passiva;
- Correspondência de tipo: o acidente ou dano envolveu uma coluna de iluminação e não um poste de sinalização rodoviária.

Os postes de iluminação também foram classificados como:

- “Certamente tolerante HE” se o poste estiver localizado perto do acidente com vítimas (com obstáculo codificado como “poste” pela polícia) ou perto de uma infraestrutura danificada relacionada com o acidente (codificada como “coluna de iluminação rodoviária”) e a data de instalação do poste tolerante HE for anterior à data do acidente;
- “Possivelmente tolerante HE” se o poste estiver localizado perto do acidente com vítimas (com obstáculo codificado como “poste” pela polícia) ou perto de uma infraestrutura danificada relacionada com o acidente (codificada como “coluna de iluminação rodoviária”) e a data de instalação do poste tolerante HE for desconhecida;
- “Tradicional” se o poste estiver localizado próximo do acidente com feridos (com obstáculo codificado como “poste” pela polícia) ou próximo de uma infraestrutura danificada relacionada com o acidente (codificada como “coluna de iluminação rodoviária”) e a data de instalação do poste de segurança passiva HE for posterior à data do acidente.

Com base nestas categorizações, foram criadas duas bases de dados. A primeira inclui informações sobre os despistes, os veículos, ocupantes e estrada, sendo designada a seguir por Base de dados de acidentes com vítimas. Esta base de dados utiliza dois conjuntos de dados: os dados de acidentes (1) e a lista geocodificada de postes tolerantes HE (2).

A segunda base de dados acrescenta os dados sobre os danos causados ao equipamento rodoviário (3). Deste modo, alarga-se a amostra utilizando dados fornecidos pela Agência Flamenga de Viação e Trânsito (AWV) sobre objetos fixos, incluindo postes danificados. No entanto, neste conjunto não estão disponíveis outras informações para além do objeto fixo envolvido (ou seja, informações sobre o acidente, o veículo, os ocupantes e a estrada). Este conjunto de dados é designado por Base de dados de acidentes com vítimas e danos materiais.

Numa base de dados que inclui acidentes apenas com danos materiais, há observações em que não houve feridos. Por outro lado, na base de dados de acidentes com vítimas, todos os acidentes envolvem feridos. Para poder comparar os modelos baseados nestes dois conjuntos de dados, foram consideradas duas variáveis de resposta: a gravidade dos ferimentos do condutor do veículo errante e a gravidade dos ferimentos do ocupante mais gravemente ferido. Deste modo, todos os modelos incluem as quatro categorias de lesão (fatal, ferimento grave, ferimento ligeiro e sem ferimentos).

Foram seleccionados de 12327 acidentes na Base de dados de acidentes com vítimas e 27866 na Base de dados de acidentes com vítimas e danos materiais. Ambas as bases incluem duas variáveis relacionadas com os postes tolerantes: “Certamente tolerante HE” e ‘Possivelmente tolerante HE’. Ao dispor não só dos postes que são efetivamente tolerantes HE, mas também dos postes que são possivelmente tolerantes HE, foi possível aumentar o número de acidentes envolvendo este tipo de postes, viabilizando estatisticamente a análise dos mesmos. No entanto, a sua inclusão aumenta a incerteza relacionada com a natureza do poste (tradicional versus tolerante). Comparando os resultados dos modelos que incluem a variável “Certamente tolerante HE” com os modelos que incluem a variável “Possivelmente tolerante HE”, é possível mitigar esta incerteza.

Na Base de dados de acidentes com vítimas, foram identificados 346 (2,8%) mortos, 1586 (12,9%) feridos graves, 9559 (77,5%) feridos ligeiros e 836 (6,8%) condutores sem ferimentos. Este conjunto de dados consiste em 12327 acidentes com objetos fixos ocorridos entre 2015 e 2020 na Flandres.

Por outro lado, foram identificadas 391 (1,4%) mortos, 1758 (6,3%) feridos graves, 10157 (36,4%) feridos ligeiros e 15560 (55,8%) ocupantes sem ferimentos na Base de dados de acidentes com vítimas e danos materiais. Esta segunda base de dados introduziu os acidentes apenas com danos materiais.

As bases de dados contêm informações sobre vários atributos relacionados com os acidentes em estudo. Os atributos que se revelaram relevantes para explicar a gravidade dos acidentes estão descritos nos Quadros 1 e 2, consoante as variáveis estejam relacionadas com a Base de dados de acidentes com vítimas ou com a Base de dados de acidentes com vítimas e danos materiais, respetivamente.

Quadro 1 – Estatísticas descritivas das variáveis independentes seleccionadas (Base de dados de acidentes com vítimas)

Variável (X)	Descrição da variável muda ( <i>dummy</i> )	Percentagem (X=1/ X=0)	Frequência (X=1/ X=0)
Características sazonais			
Chuva	1= se o despiste ocorreu enquanto chovia 0 = caso contrário	11.2% / 88.8%	1384 / 10943
Características da estrada			
Interseção	1= se o despiste ocorreu numa interseção / 0 = caso contrário	12.6% /87.4%	1555 / 10772
Limite de velocidade 50	1= se o despiste ocorreu num trecho com limite de velocidade de 50 km/h / 0 = caso contrário	32.9% / 67.1%	4057 / 8270
Limite de velocidade 70	1= se o despiste num trecho com limite de velocidade de 70 km/h / 0 = caso contrário	36.9% / 63.1%	4554 / 7773
Informação do acidente			
Valeta	1= Se o evento perigoso é atravessar/colidir com uma valeta / 0 = caso contrário	11.1% / 88.9%	1364 / 10963
Poste certamente tolerante HE	1= Se o evento perigoso é colidir com um poste “Certamente tolerante HE” / 0 = caso contrário	0.0% / 100.0%	7 / 12320

Poste possivelmente tolerante HE	1= Se o evento perigoso é colidir com um poste “Possivelmente tolerante HE” / 0 = caso contrário	0.2% / 99.8%	23 / 12297
Poste tradicional	1= Se o evento perigoso é colidir com um poste tradicional / 0 = caso contrário	25.7% / 74.3%	3170 / 9157
Árvore	1= Se o evento perigoso é colidir com uma árvore / 0 = caso contrário	22.6% / 77.4%	2792 / 9535
<b>Informação do veículo</b>			
Automóvel	1= Envolvimento de um veículo ligeiro de passageiros / 0 = caso contrário	78.6% / 21.4%	9693 / 2634
Ciclomotor	1= Envolvimento de um ciclomotor / 0 = caso contrário	3.1% / 96.9%	385 / 11942
<b>Informação do condutor</b>			
Alcool	1= Se o condutor estiver alcoolizado / 0 = caso contrário	21.6% / 78.4%	3009 / 9318
Homem	1= Se o condutor for homem / 0 = caso contrário	68.8% / 31.2%	8482 / 3845

Quadro 2 – Estatísticas descritivas das variáveis independentes selecionadas (Base de dados de acidentes com vítimas e danos materiais)

Variável (X)	Descrição da variável muda ( <i>dummy</i> )	Porcentagem (X=1/ X=0)	Frequência (X=1/ X=0)
<b>Características da estrada</b>			
Interseção	1= se o despiste ocorreu numa interseção / 0 = caso contrário	5.6% / 94.4%	1555 / 26311
Limite de velocidade 30	1= se o despiste ocorreu num trecho com limite de velocidade de 30 km/h / 0 = caso contrário	1.9% / 98.1%	528 / 27338
Limite de velocidade 50	1= se o despiste ocorreu num trecho com limite de velocidade de 50 km/h / 0 = caso contrário	21.9% / 78.1%	6091 / 21775
Limite de velocidade 70	1= se o despiste num trecho com limite de velocidade de 70 km/h / 0 = caso contrário	31.2% / 68.8%	8686/19180
<b>Informação do acidente</b>			
Valeta	1= Se o evento perigoso é atravessar/colidir com uma valeta / 0 = caso contrário	4.9% / 95.1%	1370 / 26496
Poste certamente tolerante HE	1= Se o evento perigoso é colidir com um poste “Certamente tolerante HE” / 0 = caso contrário	0.0% / 100.0%	8 / 27858
Possivelmente tolerante HE	1= Se o evento perigoso é colidir com um poste “Possivelmente tolerante HE” / 0 = caso contrário	0.1% / 99.9%	30 / 27828
Poste tradicional	1= Se o evento perigoso é colidir com um poste tradicional / 0 = caso contrário	11.8% / 88.2%	3279 / 24587
Árvore	1= Se o evento perigoso é colidir com uma árvore / 0 = caso contrário	11.6% / 88.4%	3220 / 24646

### 3. Metodologia

Foram aplicados modelos de resultado discreto às duas bases de dados anteriormente criadas (Base de dados de acidentes com vítimas e Base de dados de acidentes com vítimas e danos materiais).

Tipicamente, os modelos de resultado discreto 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 idiossincrasias 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 idiossincrasias 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  $\varepsilon$ , 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  $\beta_m$  que corresponde à sua importância (peso) relativamente aos outros atributos na utilidade das alternativas (Washington et al., 2020).

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

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 condução referidas anteriormente, em função da disponibilidade de dados recolhidos aquando dos registos dos acidentes (Washington et al., 2020).

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

Assim, foram testados dois modelos de resultado discreto para cada base de dados: um com a variável “Poste certamente tolerante HE” e outro com a variável “Poste certamente + possivelmente tolerante HE” (adicionando os postes possivelmente tolerantes HE aos postes certamente tolerantes HE). Todos os modelos incluíam igualmente a variável “Poste tradicional”.

A variável “Poste certamente tolerante HE” não foi significativa para o modelo baseado na base de dados dos acidentes com vítimas. Assim, foi desenvolvido apenas um modelo logit misto para esta base de dados, doravante designado por modelo “Vítimas”. Este modelo inclui a variável “Poste certamente + possivelmente tolerante HE”.

Foram desenvolvidos dois modelos logit multinomial com base na Base de dados de acidentes com vítimas e danos materiais. O modelo 1, a seguir designado por modelo “Vítimas e danos materiais”, inclui a variável “Poste certamente tolerante HE”. O modelo 2, doravante designado por “Vítimas e danos materiais”, substitui esta variável por “Poste certamente + possivelmente tolerante HE” (adicionando os postes possivelmente tolerantes HE aos postes certamente tolerantes HE) para aumentar o número de observações (de 8 no modelo Vítimas e danos materiais 1 para 38 no modelo Vítimas e danos materiais 2).

Tal como descrito na secção 2.4, são consideradas duas variáveis de resposta: a gravidade dos ferimentos do condutor do veículo errante, que é utilizada no modelo “Vítimas”; e a gravidade dos ferimentos do ocupante mais gravemente ferido, que é utilizada nos modelos “Vítimas e danos materiais” (ver secção 4.1).

Os modelos aqui descritos são apresentados de forma pormenorizada em (Roque et al., 2024).

## **4. Resultados**

### **4.1 Variáveis explicativas**

Foi selecionado um conjunto de variáveis, agrupadas em cinco espécies: características sazonais, características da estrada, informação sobre os acidentes e informação sobre o condutor.

Foram calibrados 38 parâmetros em três modelos, distribuídos pelos quatro níveis de gravidade. Através deles foi possível identificar os efeitos potenciais de diversos fatores relacionados com os fatores acima identificados. 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 apenas uma exceção em que o valor de  $p$  variou entre 5% e 10% (variável “Poste certamente tolerante HE” no modelo vítimas e danos materiais 1).

O presente estudo teve como objetivo identificar fatores que contribuem para a gravidade dos despistes e que estão relacionados com os obstáculos presentes na AAFR através da análise estatística da 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  $p$  (Washington et al. 2020).

Nos modelos finais, apenas foram consideradas as variáveis explicativas estatisticamente significativas. Foi considerado como critério de inclusão um nível de confiança mínimo de 90%.

Conforme referido anteriormente, todos os modelos incluem as quatro categorias de lesão (fatal, ferimento grave, ferimento ligeiro e sem ferimentos).

A fim de minimizar o enviesamento e reduzir a variabilidade dos modelos, foi definido como nível base o nível de gravidade fatal; a Constante Específica Alternativa (ASC) foi definida em conformidade.

### **4.2 Modelo e sua interpretação**

No Quadro 3 são descritos os resultados da estimação dos três modelos desenvolvidos.

Quadro 3 – Coeficientes estimados.

Nível de gravidade	Variável	Modelo vítimas			Modelos vítimas e danos materiais					
					Modelo 1			Modelo 2		
		Coeficiente estimado	Teste <i>t</i>	Valor <i>p</i>	Coeficiente estimado	Teste <i>t</i>	Valor <i>p</i>	Coeficiente estimado	Teste <i>t</i>	Valor <i>p</i>
Fatal	Limite de velocidade 70	0.398	3.58	<0.001	0.603	5.85	<0.001	0.603	5.85	<0.001
	Homem	1.120	7.15	<0.001	-	-	-	-	-	-
Ferimento grave	Constante (específica do ferimento grave)	3.050	18.60	<0.001	1.610	21.90	<0.001	1.610	21.90	<0.001
	Automóvel	-0.683	-10.50	<0.001	-	-	-	-	-	-
	Ciclomotor	0.330	2.46	0.01	-	-	-	-	-	-
	Poste tradicional	-	-	-	0.681	11.10	<0.001	0.684	11.10	<0.001
Ferimento ligeiro	Constante (específica do ferimento ligeiro)	4.200	27.10	<0.001	3.340	48.40	<0.001	3.340	48.40	<0.001
	Limite de velocidade 30	-	-	-	1.710	16.80	<0.001	1.710	16.90	<0.001
	Valeta	0.207	2.72	0.01	2.690	35.00	<0.001	2.690	35.00	<0.001
	Álcool	1.370	1.81	0.07	-	-	-	-	-	-
	<i>Desvio padrão do parâmetro (Álcool)</i>	1.780	-1.75	0.08	-	-	-	-	-	-
	Chuva	0.154	2.07	0.04	-	-	-	-	-	-
	Poste certamente tolerante HE	-	-	-	1.650	1.84	0.07	-	-	-
	Poste certamente + possivelmente tolerante HE	1.200	1.91	0.06	-	-	-	1.650	4.34	<0.001
Sem ferimentos	Constante (específica de sem ferimentos)	1.970	12.00	<0.001	4.570	65.70	<0.001	4.570	65.70	<0.001
	Limite de velocidade 50	0.179	2.31	0.02	-1.160	-34.20	<0.001	-1.160	-34.20	<0.001
	Árvore	-0.476	-4.78	<0.001	-2.560	-46.6	<0.001	-2.560	-46.70	<0.001
	Interseção	0.427	4.26	0.001	-5.720	-14.00	<0.001	-5.720	-14.00	<0.001
	Poste tradicional	-0.292	-3.24	<0.001	-	-	-	-	-	-
Número de observações		12327			27866			27866		
Log-verossimilhança em zero		-17088.85			-38630.48			-38630.48		
Log-verossimilhança na convergência		-8970.335			-21504.43			-21495.73		
<i>P</i> <sup>2</sup> ajustado		0.474			0.443			0.443		

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 vector de coeficientes estimados ( $\beta_j$ ), são calculadas elasticidades, que medem a magnitude do impacto das variáveis específicas sobre as probabilidades dos diferentes níveis de gravidade.

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:

$$E_{x_{ik}}^{P_{ij}} = \left[ e^{\beta_{jk}} \frac{\sum_{j=1}^J e^{\beta'_{j} X_i}}{\sum_{j=1}^J e^{\Delta(\beta'_{j} X_i)}} - 1 \right] \times 100, \quad (3)$$

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;  $\beta_j$  é um vetor dos coeficientes estimados das  $k$  variáveis para o nível de gravidade  $j$ ; e  $\beta_{jk}$  é o coeficiente de  $X_{ik}$  no nível de gravidade  $j$ .

Com o objetivo de avaliar corretamente o vetor dos coeficientes estimados dos parâmetros ( $\beta_j$ ), são apresentadas no Quadro 4 as pseudo-elasticidades específicas dos parâmetros. 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 categóricas, e 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 4 – (Pseudo-)elasticidades.

Variável	Modelo vítimas				Modelos vítimas e danos materiais							
					Modelo 1				Modelo 2			
	Fatal	Ferimento grave	Ferimento ligeiro	Sem ferimentos	Fatal	Ferimento grave	Ferimento ligeiro	Sem ferimentos	Fatal	Ferimento grave	Ferimento ligeiro	Sem ferimentos
Limite de velocidade 70	0.47				0.81				0.81			
Homem	2.01											
Automóvel		-0.45										
Ciclomotor		0.33										
Poste tradicional				-0.24		0.87				0.88		
Limite de velocidade 30							1.34				1.34	
Valeta			0.04				2.05				2.05	
Álcool			0.23									
Chuva			0.03									
Poste certamente tolerante HE							1.28					
Poste certamente + possivelmente tolerante HE			0.17								1.28	
Limite de velocidade 50				0.18				-0.43				-0.53
Árvore				-0.36				-0.80				-0.80
Interseção				0.49				-0.99				-0.99

Do Quadro 4 destacam-se diversos resultados. Em primeiro lugar, os despistes que envolvem colisões com postes tradicionais aumentam o risco de ferimentos graves em quase 90%, em comparação com a situação de referência de não colidir com esses postes. Além disso, os postes tradicionais têm 24% menor probabilidade de não causar ferimentos ao condutor.

Por outro lado, os postes tolerantes HE aumentam o risco de ferimentos ligeiros em 128% (em ambos os modelos vítimas e danos materiais). É importante notar que estes resultados não mostram qualquer diferença entre as variáveis “Poste certamente tolerante HE” e “Poste certamente + possivelmente tolerante HE” nos modelos vítimas e danos materiais 1 e 2.

Estes resultados eram, pelo menos parcialmente, expectáveis, uma vez que a aplicação de postes tolerantes HE tem por objetivo reduzir a gravidade dos acidentes com postes. Tal como referido anteriormente, os postes tolerantes HE são concebidos para “capturar” o veículo e pará-lo com suavidade suficiente para que a mudança de velocidade e a desaceleração não excedam os requisitos estabelecidos para a segurança dos ocupantes de um veículo.

## 5. Conclusões

Este estudo investigou os dados de acidentes na Flandres durante cinco anos (2015-2020) para analisar o efeito dos postes tolerantes na gravidade dos despistes. Para realizar a análise, foram recolhidos dados de despistes em secções de estradas na região belga na Flandres. Os modelos foram então estimados utilizando duas abordagens metodológicas (modelos logit multinomiais e mistos) e duas variáveis de resposta distintas (a gravidade das lesões dos condutores de veículos errantes e o ocupante mais gravemente ferido). Foram também calculadas as elasticidades para complementar a análise.

A comparação dos resultados da calibração dos modelos logit multinomial e misto permite concluir que não existem grandes diferenças. No entanto, a qualidade do ajuste do modelo logit misto foi superior; resultando, embora de forma limitada, num ganho na qualidade do modelo obtido. Para além disso, os parâmetros aleatórios calibrados para o Modelo de vítimas permitem uma interpretação probabilística dos condutores influenciados pelo consumo de álcool nos despistes. Pode concluir-se que a probabilidade de os coeficientes correspondentes mudarem de sinal (ou seja, de positivo para negativo ou vice-versa, respetivamente) é relativamente baixa (22%). Este facto sugere que, apesar de existirem diferentes propensões dos níveis de gravidade para os acidentes aqui analisados, estes mantêm o tipo de efeito (i.e., positivo ou negativo) quando se varia estes atributos.

Os resultados acima referidos fornecem indicações positivas para reduzir a gravidade dos despistes que envolvam postes. No entanto, este estudo apresenta algumas limitações que se recomenda que sejam abordadas em investigações futuras.

A qualidade dos dados é uma limitação central nas tentativas de estudar os efeitos dos obstáculos na AAFR, especialmente quando estes resultam em ferimentos ligeiros ou apenas em danos materiais. Ao contrário dos acidentes com vítimas mortais, em que a ausência de registo é quase inexistente, os acidentes com ferimentos ligeiros e, em especial, os acidentes sem ferimentos são altamente subregistados, uma vez que os indivíduos envolvidos em acidentes com estes resultados evitam comunicá-los para evitar possíveis multas de trânsito e o envolvimento das companhias de seguros, que poderá aumentar os custos dos prémios de seguro (Patil et al., 2012).

Neste estudo, tal como descrito na Secção 2, foi utilizado uma base de dados para mitigar esta limitação. Os dados de acidentes e a lista geocodificada de quase 5800 postes tolerantes HE de iluminação instalados na Flandres foram associados a dados sobre objetos danificados na AAFR (incluindo postes) fornecidos pela Agência Flamenga de Viação e Trânsito (AWV). Comparando estes dados de danos com os acidentes com vítimas registados pela polícia, foram acrescentados mais de 14000 acidentes apenas com danos materiais aos registados pela polícia, incluindo 8 acidentes apenas com danos materiais envolvendo postes tolerantes HE. Ainda assim, esta base de dados apresenta algumas limitações (por exemplo, a não existência de informações sobre o tipo de acidente ou o condutor envolvido).

Os resultados deste estudo demonstram que os postes tradicionais contribuem fortemente para os ferimentos graves e que os postes tolerantes HE contribuem para os ferimentos ligeiros, e para uma “AAFR tolerante”, atenuando a gravidade dos despistes. O estudo também mostra a importância de proteger os veículos errantes das árvores, especialmente nas zonas interurbanas.

Novos desenvolvimentos nos sistemas de inventário rodoviário devem fornecer dados adicionais e melhorados sobre as características da AAFR e os acidentes (incluindo diferentes tipos de postes tolerantes, como os tipos NE e LE, o motivo da substituição e aspetos relacionados com o estado do poste antes da substituição, como o facto de a base do poste estar ou não cortada, ou o grau de deformação do poste que pode fornecer informações sobre as forças de colisão), criando assim a base para uma investigação mais aprofundada que conduza a conclusões mais precisas sobre a forma de aumentar a segurança na AAFR da forma mais eficaz. Devem ser recolhidos mais dados sobre despistes envolvendo postes tolerantes para desenvolver especificações de modelos mais flexíveis e robustas, que permitam ter em conta diferentes tipos de postes passivos, correlações temporais em características não observadas no mesmo trecho e flexibilizar o pressuposto relacionado com a homogeneidade dos efeitos dos fatores, presumivelmente independentes das características não observadas do acidente.

## REFERÊNCIAS

- AWV, 2010. Dienstorder MOW/AWV/2010/6. Agentschap Wegen en Verkeer. Flanders, Belgium.
- AWV, 2014. Handboek vergevingsgezinde wegen. Expertise Verkeer en Telematica. Agentschap Wegen en Verkeer. Flanders, Belgium.
- AWV, 2020. Vademecum vergevingsgezinde wegen (VVW), deel gemotoriseerd verkeer. Agentschap Wegen en Verkeer (AWV).
- Al-Bdairi, N.S.S.; Hernandez, S., 2020. Comparison of contributing factors for injury severity of large truck drivers in run-off-road crashes on rural and urban roadways: accounting for unobserved heterogeneity. *International Journal of Transportation Science and Technology* 9, 2, 116-127.
- Albuquerque, F.D.B.; Awadalla, D.M., 2019. Roadside design assessment in an urban, low-density environment in the gulf cooperation council region. *Traffic Injury and Prevention* 20, 436–441.
- Albuquerque, F. D. B. D.; Awadalla, D. M., 2020. Roadside Fixed-Object Collisions, Barrier Performance, and Fatal Injuries in Single-Vehicle, Run-Off-Road Crashes. *Safety*, 6(2), 27.
- Ayati, E.; Pirayesh-Neghab, M.A.; Sadeghi, A.A.; Mohammadzadeh-Moghadam, A., 2012. Introducing roadside hazard severity indicator based on evidential reasoning approach. *Safety Science* 50, 1618–1626.
- Anastasopoulos, P.; Mannering, F., 2011. An empirical assessment of fixed and random parameter logit models using crash- and non-crash-specific injury data. *Accident Analysis and Prevention*, 43 (3), 1140-1147.
- Baranowski, P.; Damaziak, K., 2021. Numerical Simulation of Vehicle–Lighting Pole Crash Tests: Parametric Study of Factors Influencing Predicted Occupant Safety Levels. *Materials* 14, 2822.
- Bierlaire, M., 2020. A Short Introduction to PandasBiogeme. Technical Report, Ecole Polytechnique Federale de Lausanne, URL: <http://transp-or.epfl.ch/documents/technicalReports/Bier20.pdf>.
- Boyd, J.; Mellman, J., 1980. The effect of fuel economy standards on the US automotive market: a hedonic demand analysis. *Transportation Research Part A* 14 (5–6), 367–378.
- Cardell, S.; Dunbar, F., 1980. Measuring the societal impacts of automobile downsizing. *Transportation Research Part A* 14 (5–6), 423–434.

- Celik, A. K.; Oktay, E., 2014. A multinomial logit analysis of risk factors influencing road traffic injury severities in the Erzurum and Kars Provinces of Turkey. *Accident Analysis & Prevention*, 72, 66-77.
- CEN, 2000. European Standard EN 12767, Passive Safety of Support Structures for Road Equipment – Requirements and Test Methods. European Committee for Standardization (CEN), Brussels.
- CEN, 2019. European Standard EN 12767, Passive Safety of Support Structures for Road Equipment – Requirements and Test Methods. European Committee for Standardization (CEN), Brussels.
- Chang, L.Y.; Mannering, F., 1999. Analysis of injury severity and vehicle occupancy in truck- and non-truck-involved accident. *Accident Analysis and Prevention* 31, 579–592.
- Daniello, A.; Gabler, H.C., 2011. Fatality risk in motorcycle collisions with roadside objects in the United States. *Accident Analysis & Prevention* 43, 3, 1167-1170.
- Derricks, H.; Mak, P., 2007. Underreporting of road traffic casualties. IRTAD Special report, OECD, Paris.
- El Esawey, M.; Sayed, T., 2012. Evaluating safety risk of locating above ground utility structures in the highway right-of-way. *Accident Analysis & Prevention* 49, 419–428.
- Eluru, N., 2013. Evaluating alternate discrete choice frameworks for modeling ordinal discrete variables. *Accident Analysis & Prevention* 55, 1–11.
- Eluru, N.; Bhat, C.; Hensher, D., 2008. A mixed generalized ordered response model for examining pedestrian and bicyclist injury severity level in traffic crashes. *Accident Analysis and Prevention*, 40 (3), 1033-1054.
- ERSO, 2018. Single vehicle accidents. Traffic Safety Basic Facts 2018. European Road Safety Observatory (ERSO).
- Gabler, C.H.; Gabauer, D.J.; Riddell, W.T., 2007. Breakaway Utility Poles: Feasibility of Energy-Absorbing Utility Pole Installations in New Jersey. Report No. FHWA-NJ-2007-018. Washington, DC: FHWA, U.S. DOT.
- Good, M.; Fox, J.; Joubert, P., 1987. An In-Depth Study of Accidents Involving Collisions With Utility Poles. *Accident Analysis and Prevention*, 19 (5) (1987), pp. 397-413.
- Holdridge, J.; Shankar, V.; Ulfarsson, G., 2005. The crash severity impacts of fixed roadside objects. *Journal of Safety Research* 36 (2), 139–147.
- Islam, S, Hossain, A.B., Shaban, M., 2023. Older driver at-fault crashes at unsignalized intersections in Alabama: Injury severity analysis with supporting evidence from a deep learning based approach. *Journal of Safety. Research* 85, 419-428.
- Jalayer, M.; Zhou, H., 2016a. Evaluating the safety risk of roadside features for rural two lane roads using reliability analysis. *Accident Analysis and Prevention* 93, 101–112.
- Jalayer, M.; Zhou, H., 2016b. Overview of safety countermeasures for roadway departure crashes. *Inst. Transp. Eng. ITE Journal* 86 (2), 39.
- Kim, J.-K.; Ulfarsson, G.; Kim, S.; Shankar, V., 2013. Driver-injury severity in single-vehicle crashes in California: A mixed logit analysis of heterogeneity due to age and gender. *Accident Analysis and Prevention*, 50, 1073-1081.
- 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. *Accident Analysis and Prevention* 37(5), 910–921.

- Kockelman, K.M.; Kweon, Y.J., 2002. Driver injury severity: an application of ordered probit models. *Accident Analysis and Prevention* 34 (3), 313–321.
- Kusano, K. D.; Gabler, H. C., 2013. Characterization of opposite-direction road departure crashes in the United States. *Transportation Research Record: Journal of Transportation Research Board* 2377, 14-20.
- Lacy, K.; Srinivasan, R.; Zegger, C.; Pfefer, R., 2004. Guidance for Implementation of the AASHTO Strategic Highway Safety Plan; Volume 8: A Guide for Reducing Collisions Involving Utility Poles. National Cooperative Highway Research Program (NCHRP) Report 500. Transportation Research Board. Washington D.C.
- La Torre, F.; Saleh, P.; Cesolini, E.; Goyat, Y., 2012. Improving Roadside Design to Forgive Human Errors. *Procedia - Social and Behavioral Sciences*, 53, 235-244. <https://doi.org/10.1016/j.sbspro.2012.09.876>.
- 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.
- Lockhart, P.A.; Cronin, D.S.; Watson, B., 2012. Frontal Impact Response for Pole Crash Scenarios. *Traffic Injury Prevention* 14 (5), 509-519.
- Lord, D.; Brewer, M.A.; Fitzpatrick, K.; Geedipally, S.R.; Peng, Y., 2011. Analysis of Roadway Departure Crashes on Two-lane Rural Roads in Texas. Publication FHWA/TX-11/0-6031-1. FHWA, U.S. Department of Transportation.
- Manner, H.; Wunsch-Ziegler, L., 2013. Analyzing the severity of accidents on the German Autobahn. *Accident Analysis and Prevention* 57, 40–48.
- Mannering, F.L.; Bhat, C.R., 2014. Analytic methods in accident research: Methodological frontier and future directions. *Analytic Methods in Accident Research* 1, 1–22.
- Mannering, F., Shankar, V., Bhat, C., 2016. Unobserved heterogeneity and the statistical analysis of highway accident data. *Analytic Methods in Accident Research* 11, 1–16.
- Milton, J.C.; Shankar, V.N.; Mannering, F.L., 2008. Highway accident severities and the mixed logit model: An exploratory empirical analysis. *Accident Analysis & Prevention* 40 (1), 260–266.
- NHTSA, 2022. Traffic Safety Facts 2020 data – DOT HS 813 320, National Center for Statistics and Analysis, National Highway Traffic Safety Administration.
- Patil, S.; Geedipally, S. R.; Lord, D., 2012. Analysis of crash severities using nested logit model—Accounting for the underreporting of crashes. *Accident Analysis and Prevention* 45, 646–653.
- Peduzzi, P., Concato, J., Kemper, E., Holford, T.R., Feinstein, A.R., 1996. A simulation study of the number of events per variable in logistic regression analysis. *J Clin Epidemiol* 49 (12): 1373-1379
- Pintar, F.A.; Maiman, D.J.; Yoganandan, N., 2007. Injury patterns in side pole crashes. *Annu Proc Assoc Adv Automot Med* 51: 419-33.
- Roque, C.; Cardoso, J.L., 2013. Observations on the relationship between European standards for safety barrier impact severity and the degree of injury sustained. *IATSS Research* 37 (1), 21-29.
- Roque, C.; Jalayer, M., 2018. Improving roadside design policies for safety enhancement using hazard-based duration modeling. *Accident Analysis and Prevention*, 120, 165–173.
- Roque, C.; Jalayer, M.; Hasan, A.S., 2021. Investigation of injury severities in single-vehicle crashes in North Carolina using mixed logit models. *Journal of Safety Research* 77, 161–169.

- Roque, C.; Moura, F.; Cardoso, J. L., 2015. Detecting unforgiving roadside contributors through the severity analysis of ran-off-road crashes. *Accident Analysis and Prevention*, 80, 262-273.
- Saleem, N.; Al-Bdairi, S., 2020. Does time of day matter at highway work zone crashes? *Journal of Safety Research* 73, 47-56.
- Savolainen, P.T.; Mannering, F.L., 2007. Probabilistic models of motorcyclists' injury severities in single- and multi-vehicle crashes. *Accident Analysis and Prevention* 39 (5), 955–963.
- Savolainen, P.; Mannering, F.; Lord, D.; Quddus, M., 2011. The statistical analysis of highway crash-injury severities: a review and assessment of methodological alternatives. *Accident Analysis and Prevention* 43 (5), 1666–1676.
- Schneider, W.; Savolainen, P.; Zimmerman, K., 2009. Driver injury severity resulting from single-vehicle crashes along horizontal curves on rural two-lane highways. *Transportation Research Record: Journal of Transportation Research Board* 2102, 85–92.
- Stewart, T., 2022. Overview of motor vehicle crashes in 2020, DOT HS 813 266, National Highway Traffic Safety Administration.
- Stopel, M.; Cichański, A.; Yague, N.; Kończalski, G., 2021. Experimental and numerical assessment of supporting road signs masts family for compliance with the Standard EN 12767. *Materials*, 14(20), 5999.
- Train, K., 2009. *Discrete Choice Methods with Simulation*. Cambridge University Press, New York, NY.
- 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.
- Vajari, M. A.; Aghabayk, K.; Sadeghian, M.; Shiwakoti, N., 2020. A multinomial logit model of motorcycle crash severity at Australian intersections. *Journal of Safety Research*.
- Venkataraman, N.; Ulfarsson, G.; Shankar, V., 2013. Random parameter models of interstate crash frequencies by severity, number of vehicles involved, collision and location type. *Accident Analysis and Prevention* 59, 309-318.
- Vilán J.A.; Segade, A.; Casqueiro, C., 2006. Development and testing of a non-energy-absorbing anchorage system for roadside poles. *International Journal of Crashworthiness*, doi:10.1533/ijcr.2005.0393.
- Washington, S.; Karlaftis, M.; Mannering, F.L.; Anastasopoulos, P., 2020. *Statistical and Econometric Methods for Transportation Data Analysis*. Third Edition. CRC Press, Taylor & Francis Group. ISBN: 978-0-367-19902-9.
- Wilken, D.; Ananthanarayanan, B.; Hasson, P.; Lutkevich, P.; Watson, C.; Burkett, K.; Arens, J.; Havard, J.; Unick, J., 2001. *European Road Lighting Technologies*. Federal Highway Administration (FHWA). Report No. FHWA-PL-01-034. Washington, DC.
- Williams, G. L.; Kennedy, J. V.; Carroll J. A.; Beesley, R., 2008. *The use of passively safe signposts and lighting columns*. Published by TRL, UK. ISSN 0968-4093.
- Wu, Q.; Chen, F.; Zhang, G.; Liu, X.C.; Wang, H.; Bogus, S.M., 2014. Mixed logit model based driver injury severity investigations in single- and multi-vehicle crashes on rural two-lane highways. *Accident Analysis and Prevention* 72, 105–115.
- Xie, Y.; Zhao, K.; Huynh, N., 2012. Analysis of driver injury severity in rural single-vehicle crashes. *Accident Analysis and Prevention* 47, 36–44.

- Yamamoto, T.; Hashiji, J.; Shankar, V., 2008. Underreporting in traffic accident data, bias in parameters and structure of injury severity models. *Accident Analysis and Prevention* 40(4), 1320–1329.
- Yamamoto, T.; Shankar, V.N., 2004. Bivariate ordered-response probit model of driver's and passenger's injury severities in collisions with fixed objects. *Accident Analysis and Prevention* 36, 869–876.
- Ye, F.; Lord, D., 2011. Investigating the effects of underreporting of crash data on three commonly used traffic crash severity models: multinomial logit, ordered probit and mixed logit models. *Transportation Research Record*, Volume 2241, 51-58.
- Ye, F.; Lord, D., 2014. Comparing three commonly used crash severity models on sample size requirements: multinomial logit, ordered probit and mixed logit models. *Analytic Methods in Accident Research* 1, 72–85.
- Zegeer, C.; Scott, P.; Ivey, D. L.; Zegeer, K., 2020. *Utility Pole Safety and Hazard Evaluation Approaches* (No. Project 20-05, Topic 50-04). National Academies of Sciences, Engineering, and Medicine. Washington, DC: The National Academies Press. <https://doi.org/10.17226/25923>