

# FACTORES DE RISCO ASSOCIADOS À GRAVIDADE DAS LESÕES NOS PEÕES EM PORTUGAL

Pedro Luís Henriques Teixeira<sup>1</sup>, João Manuel Pereira Dias<sup>1</sup>

<sup>1</sup> IDMEC, Instituto Superior Técnico, Universidade Técnica de Lisboa, Av. Rovisco Pais 1, 1049-001 Lisboa, Portugal

email: jdias@dem.ist.utl.pt web: www.dem.ist.utl.pt/acidentes

---

## Sumário

*Os atropelamentos têm um peso significativo na sinistralidade rodoviária, tendo Portugal um dos rácios mais elevados de sinistralidade com peões na União Europeia. Para se conhecerem as circunstâncias, as causas dos atropelamentos e a sua influência nas lesões sofridas pelos peões, foram analisados, recorrendo modelos de Regressão Logística Multinomial, todos os acidentes com vítimas, constantes da base de dados da ANSR, ocorridos no período de 2010-2011, bem como uma análise detalhada das lesões ocorridas num conjunto de 100 atropelamentos com vítimas mortais recorrendo à base de dados do Instituto de Medicina Legal de Lisboa, ocorridos no período de 2009-2011.*

---

**Palavras-chave:** Peões; Regressão Logística Multinomial; Biomecânica do impacto; Base de dados; Reconstituição de acidentes.

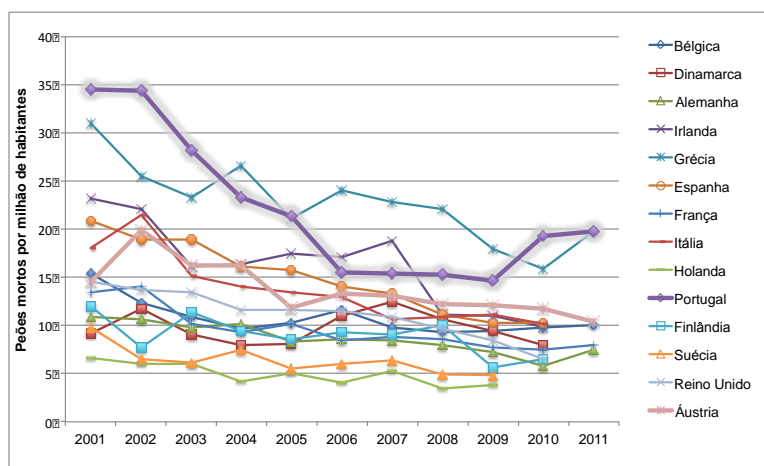
## 1 INTRODUÇÃO

O número de acidentes rodoviários na UE (União Europeia) tem vindo a diminuir significativamente ano após ano, tal como a sua gravidade. Em Portugal a sinistralidade está também a seguir esta tendência, certamente resultado de inúmeras campanhas de prevenção rodoviária e alertas lançados pelos media sobre a problemática em torno deste assunto, acompanhadas por campanhas de alerta divulgadas pela população com vista a uma redução da sinistralidade, melhoramento das vias rodoviárias, construção de veículos mais seguros para os mais diversos utentes das vias, alterações da legislação rodoviária e coimas mais rígidas e graves, entre outras medidas de prevenção.

Os peões são um dos tipos de utentes vulneráveis das vias rodoviárias. Apesar dos melhoramentos significativos em torno das políticas de prevenção rodoviária por toda a UE e Portugal, é de extrema importância um estudo em detalhe sobre a origem e ocorrência de um elevado número de acidentes rodoviários envolvendo peões, bem como apresentar novos indicadores que ajudem a minimizar as consequências, identificando factores de risco associados aos peões e áreas prioritárias para ação para minimizar a exposição ao risco destes utentes.

Fazendo uso da base de dados da CARE para uma análise mais rigorosa da evolução de Portugal entre os diversos países constituintes da UE e dados demográficos obtidos a partir da Eurostat, apresenta-se na Figura 1 o número de peões mortos por milhão de habitantes entre 2001 e 2011 na UE-15 (excepto Luxemburgo) [1][2].

Como se pode observar, o número de peões mortos por milhão de habitantes na França e Holanda, apesar de uma ligeira diminuição ao longo dos anos, apresentam valores constantes e baixos [3]. Portugal, por outro lado, entre 2005 a 2009, conseguiu reduzir os seus valores aproximando-se dos valores ao nível dos restantes países da UE. No entanto, e tendo em conta o aumento dos últimos dois anos, que correu devido à contabilização direta dos mortos a 30 dias e não pela aplicação de um factor de correção, Portugal continua a apresentar-se como um dos países com maior número de peões mortos por milhão de habitantes.



**Fig.1. Número de peões mortos por milhão de habitantes na UE-15 entre 2001-2011 (excepto Luxemburgo)**

A elevada sinistralidade pedonal em Portugal é um problema real que exige o desenvolvimento e implementação de medidas específicas de segurança rodoviária. É também importante referir que nem todos os peões são iguais, como por exemplo, e por exemplo o facto idade é crítico. Os idosos além das dificuldades visuais, auditivas e de locomoção que apresentam, são também mais frágeis, e, portanto, mais susceptíveis de sofrerem lesões mais graves ou fatais.

As estatísticas de acidentes rodoviários revelam factores de risco e estabelecem as dependências do número de acidentes sobre as características e parâmetros de estrada, veículos, peões, tráfego e outros factores ambientais no local do acidente [4][5][6]. Normalmente, quando se aborda a temática da segurança rodoviária, o sistema tripartido de veículo, o homem e ambiente é comumente usado. Cada acidente é causado por, pelo menos um destes três factores. O fator humano abrange todos os seres humanos e suas diferenças cujos comportamentos e ações contribuam diretamente para o acidente. Em relação ao meio ambiente, este pode ser definido como tudo o que está fora dos veículos e os envolve. Na prática, os atropelamentos não estão normalmente associados a apenas um dos três factores, mas são resultado de uma combinação de factores.

Muitos investigadores têm tentado estabelecer modelos que possam explicar a existência do acidente e determinar a gravidade da lesão de peões vítimas de atropelamentos. Alguns autores classificaram os factores de risco considerados em estudos anteriores em seis variáveis agrupadas nas seguintes categorias: características individuais dos peões (por exemplo, idade, sexo, consumo de álcool), características dos condutores de veículos (por exemplo, estado de sobriedade e idade), características do veículo (por exemplo, tipo de veículo e velocidade), características da via (por exemplo, limite de velocidade), factores ambientais (por exemplo, hora do acidente, condições atmosféricas), e características da colisão (por exemplo, o movimento do veículo antes do acidente) [7].

Através da análise estatística de acidentes rodoviários, pode-se determinar padrões e identificar os factores determinantes na ocorrência e gravidade dos acidentes, e neste caso particular, de atropelamentos em Portugal. O estudo aprofundado desses acidentes, recorrendo a métodos científicos e, nomeadamente, o uso de modelos computacionais, permite o aumento do conhecimento nesta área específica, a fim de avaliar tendências, identificar problemas e áreas onde a tomada de ações é uma prioridade e assim apoiar o desenvolvimento de medidas eficazes para aumentar a segurança pedonal.

## **2 ANÁLISE ESTATÍSTICA DE FACTORES DE RISCO DE LESÕES EM ATROPELAMENTOS**

Ao lidar com factores de risco de lesões em relação a acidentes rodoviários envolvendo peões, uma análise deste fenómeno com proporções significativas em termos estatísticos por uma mera estatística descritiva é insuficiente. Aplicando metodologias avançadas de análise estatística aos factores de risco associados a atropelamentos, o

objectivo agora é identificar os factores de risco que influenciam a gravidade das lesões sofridas pelos peões envolvidos em acidentes de viação em Portugal. No processo de identificação de possíveis associações entre acidentes e lesões, foi utilizada a versão do software SPSS 19 para esta análise estatística.

## 2.1 Dados

Os dados referentes a atropelamentos em Portugal utilizados nesta secção do trabalho, são os da base de dados da ANSR. Estes dados provêm de dois diferentes registos preenchidos por dois diferentes tipos de órgãos de fiscalização (GNR e PSP) - ANTENNAS e BEAV. O primeiro registo contém informações sobre o número total de acidentes e vítimas registados por distrito, enquanto a BEAV fornece uma fonte mais completa de informações, tornando possível caracterizar as circunstâncias em que os acidentes ocorrem (local do acidente, tipo de via), bem como os utentes envolvidos (idade, género, etc.) [8][9].

A amostra utilizada para atingir o objectivo estabelecido consistia de 8.573 casos, dos quais 177 correspondiam a peões mortos, 761 a peões gravemente feridos e 7.635 a peões ligeiramente feridos. Esta amostra foi obtida a partir de uma selecção de um total de 11.366 acidentes com peões vítimas de acidentes de viação entre os anos de 2010 e 2011, em Portugal, constantes na base de dados dos mortos no local do acidente.

## 2.2 Metodologia

Definindo o objectivo do trabalho, que consiste no teste de hipóteses, variáveis de controlo e escalas, a base do trabalho foi assim estabelecida para selecção dos testes estatísticos mais adequados para a análise desejada. Foi utilizado o método de regressão logística multinomial (MLR) para aumentar o nível de confiança no processo de selecção e identificação de possíveis associações existentes entre atropelamentos e lesões resultantes nos peões. Dada a semelhança em termos de origem e formato das bases de dados de acidentes rodoviários para análise, métodos estatísticos aplicados e objectivos de estudo, foram utilizados alguns trabalhos previamente desenvolvidos como referência ao estudo desenvolvido neste trabalho [10][11][12].

Uma escala de lesão já se encontra definida na base de dados da ANSR, possibilitando a construção de uma variável definida por categorias capturando os diferentes graus de lesão resultantes de um atropelamento de um peão. Assim, a variável dependente contém 3 graus de gravidade de lesão de acordo com os relatórios policiais que são elaborados pós-acidente: morte/lesão fatal, ferido grave e ferido ligeiro.

O MLR foi então aplicado usando um número de potenciais variáveis explanatórias/independentes para explicar as diferenças e a variação da variável dependente (gravidade da lesão).

Na base de dados, de um total de 11366 casos, existiam 2793 casos com dados inexistentes/não definidos, o que corresponde a aproximadamente 24,6% de casos incompletos. Tendo isto em consideração, e sabendo que entradas vazias comprometem a validade/qualidade do modelo estatístico, realizou-se uma selecção das variáveis independentes. Estes são problemas comuns na aplicação de modelos de regressão aplicados a bases de dados extensas ou com grande número de categorias nas variáveis independentes, tal como se verificou nos dados em estudo [13].

Numa regressão logística com mais do que uma variável explanatória/independente, a metodologia de inclusão de variáveis no modelo pode ser efectuada numa inserção por etapas (*forward*, *backward* ou *bidirectional*) testando a significância das mesmas bem como para uma eliminação de variáveis por etapas [14]. No presente trabalho foi utilizada uma inserção *forward*, adicionando as variáveis a um modelo “vazio” (*intercept model*). Aquando da inserção de variáveis ao modelo intermédio, verificou-se sequencialmente a validade e qualidade do modelo através da análise dos parâmetros de qualidade de Pearson ou Desviância e testes de qualidade baseados no rácio da verosimilhança.

## 2.3 Resultados

As metodologias existentes para a determinação de padrões em acidentes rodoviários baseiam-se numa análise de frequências combinada com o cálculo das chances proporcionais (*Odds Ratio*), que consiste numa medida do efeito e força existente em possíveis associações entre variáveis em estudo [15][16]. A significância estatística ( $p < 0,05$ ) dos resultados é dada pelo valor  $p$  crítico – *p-value*. Os resultados obtidos encontram-se esquematizados no Quadro 1, sendo que a azul encontram-se os resultados para as categorias “Lesões fatais” e a verde para “Lesões graves”, realizando uma comparação sempre com a categoria de referência “Lesões ligeiras”.

Quadro 1. Principais resultados obtidos através da aplicação do MLR

Categoria em estudo	Factor de risco	Categoria de referência	Variação da probabilidade		Resultados com maior variação (valor p crítico < 0,05)	
Lesões fatais	Distrito	Lisboa	+		582,8% para Évora	
	Localização	Dentro das localidades	+		427,7% para Fora das localidades	
	Regime de circulação	Dois sentidos	-		48,3% para Um sentido	
	Iluminação	Dia	+		439,5% para Noite,sem iluminação	
	Idade dos peões	Maior ou igual a 65 anos	-		79% para menor ou igual a 14 anos	
	Género dos peões	Feminino	+		74,3% para masculino	
	Categoria do veículo	Veículo ligeiro	+		529,8% para Veículo pesado	
	Idade do condutor	30-39 anos	+		90,9% para 20-29 anos	
	Género do condutor	Masculino	-		48,9% para Feminino	
	Gravidade das lesões no condutor	Sem lesões	+		8227,8% para Morto/Gravemente ferido	
Lesões graves	Hora	10h - 15h59	+		38,5% para 19h-00h59 e 35,7% para 7h-9h	
	Distrito	Lisboa	+		485,4% para Bragança	
	Regime de circulação	Dois sentidos	-		37,3% para Um sentido	
	Separador físico	Estrada sem separador	+		326,4% para Auto-Estrada ou com separador	
	Marcas rodoviárias	Sem marcas ou pouco visíveis	+		34,5% para Com marcas – separadoras de direcção e faixas	
	Idade do condutor	30-39 anos	+	-	26,4% para 20-29 anos	31,2% para Maior ou igual a 70 anos
	Idade dos peões	Maior ou igual a 65 anos	-		59,5% para 15-39 anos	

O modelo final obtido foi estatisticamente significativo ( $G^2(102) = 1,297E4; p = 0,000$   $G^2(102) = 1,297E4; p = 0,000$ ). De igual modo, os critérios AIC, BIC e critério 2-Log verosimilhança, são inferiores no modelo final do que no modelo intermédio. Sendo que baixos valores nestes critérios indicam um bom ajuste do modelo aos dados, pode-se inferir que o modelo final obtido é melhor que o modelo intermédio (*intercept model*). Para além destes indicadores, as estatísticas/parâmetros Pseudo  $R^2$  confirmam igualmente a qualidade do modelo final uma vez que este explica 78% da variação da variável dependente. Os parâmetros obtidos foram: Cox and Snell (0,78), Nagelkerke (0,877) e McFadden (0,689). Quanto mais próximos estes valores forem de 1, melhor a qualidade do modelo. Em ambos os testes de qualidade de Pearson e Deviância, o valor p crítico é superior a 0,05. ( $X^2_{Pearson}(15398) = 14580,266; p = 1,000$  e  $D(15398) = 5527,366; p = 1,000$ ), o que significa que o modelo apresentou uma precisão de 89,4% entre os valores observados e os previstos.

O modelo final indicou a existência de uma associação de 14 variáveis explanatórias com a variável dependente. Ou seja, 14 variáveis que explicam a variação da variável dependente (gravidade das lesões). Estas foram: hora do dia, distrito, localização, regime de circulação, iluminação, marcas rodoviárias, idade e género dos peões, categoria do veículo, género e idade dos condutores, gravidade das lesões nos condutores e Taxa de Alcoolemia no Sangue (TAS). Estas foram as variáveis que se correlacionam com a variável dependente.

### **3 ANÁLISE DE FACTORES DE RISCO RELACIONADOS COM A IDADE**

Devido ao facto de que os peões mais velhos têm um aumento da probabilidade de ter lesões mais graves do que os peões mais jovens, tal como referido na primeira análise estatística, esta seção do trabalho é focada na análise de factores de risco relacionados com a idade que influenciam as lesões das vítimas de atropelamento.

Prevê-se que Portugal terá 11.395 milhões de habitantes até 2036 e, em 2060, 11.265 milhões. Até o ano 2008, a população de Portugal com mais de 65 anos de idade representava 17,4%. Até o ano de 2035, este grupo populacional será representado por 24,9% e em 2060 de 30,9% [17]. Este aumento da população idosa vai colocar novas exigências na rede de transportes e ao nível das estradas, afectando estratégias, políticas e prestação de serviços para os membros mais velhos da nossa comunidade. Além destas variações demográficas, os membros mais velhos das comunidades são caracterizadas por certas características biomecânicas bem como ao nível da capacidade funcional. Estas compreendem alterações na massa e resistência óssea, bem como enfraquecimento muscular e esquelético, perda de agilidade, perda de capacidade de manter o equilíbrio e lidar com a perda de equilíbrio; também, como resultado do envelhecimento e doenças associadas, estes experimentam uma deterioração da audição e a acuidade visual, bem como uma perda no desempenho cognitivo [18] [19] [20] [21].

Tendo em conta que os idosos passam muito tempo a andar, isso significa que estes são confrontados com decisões nas vias rodoviárias com muita frequência. Apesar do reconhecimento de que a segurança dos peões é um problema considerável, os estudos realizados em Portugal são reduzidos (embora existam alguns trabalhos realizados pelo LNEC), sobre o porquê destes problemas ocorrerem, nem existem trabalhos detalhados sobre factores de risco ou de comportamento e exposição dos peões idosos. Assim, o objetivo passou por identificar esses factores etários de risco em peões que sofreram lesões fatais em Portugal. Além disso, estatísticas oficiais sobre acidentes rodoviários são normalmente obtidas a partir de registos policiais. Raramente há um acompanhamento sistemático de dados hospitalares com base em diagnósticos médicos [22]. Portanto, identificou-se a importância de realizar uma análise estatística que conjuga informações de ambas as partes na tentativa de identificar os factores susceptíveis de influenciar certos tipos de lesões e suas gravidades em diferentes grupos etários de peões. Para identificação de possíveis associações entre acidentes fatais e idade do peão, utilizou-se a versão 19 do software SPSS para esta análise estatística.

#### **3.1 Dados**

Para esta análise, foram conjugadas informações das bases de dados da ANSR e do INMLCF. No INMLCF, onde são realizadas as autópsias e exames adicionais para determinar a taxa de álcool no sangue e presença de fármacos através da realização de testes químicos e toxicológicos.

Os dados recolhidos de INMLCF foram obtidos através dos relatórios de autópsia. Estes relatórios incluem informações como: nome dos peões, endereço, idade, sexo, ocupação, estado civil, família, peso, estatura, dia / hora do acidente e dia / hora da autópsia, dia / hora da morte, situação clínica no momento da entrada hospitalar, descrição detalhada das lesões externas e internas, resultados dos testes químicos e toxicológicos, resultados de exames de imagiologia, causa de morte e conclusões de autópsia. A amostra utilizada para atingir o objectivo estabelecido consistiu então em 100 relatórios de autópsia, cruzando informações disponíveis no banco de dados da ANSR. Esses casos foram selecionados de um total de cerca de 800 relatórios para os anos entre 2009 e 2011, em Portugal.

#### **3.2 Metodologia**

Definindo precisamente o objetivo desta análise, as variáveis de controlo e escalas de medida, são então selecionados os testes estatísticos apropriados para a análise desejada. Aplicou-se o modelo de regressão logística multinomial (MLR), como na primeira análise estatística. Para esta análise, a idade do peão foi definida como variável dependente. Esta variável foi definida em quatro categorias diferentes: inferior ou igual a 15 anos de idade, entre os 16 e os 39 anos de idade, 40 e 59 anos de idade e maior ou igual a 60 anos de idade. Ao querer agrupar os peões por diferentes categorias, verificou-se que em estudos anteriores não havia um padrão de como agrupá-los. No entanto, a divisão categórica foi baseada principalmente no trabalho de Henary e Ivarsson [23].

Em relação aos dados recolhidos a partir de relatórios de autópsia do INMLCF, a intenção de optar pelas informações disponíveis nestes relatórios baseou-se em obter uma medida mais precisa da gravidade de lesão

pelo peão quando envolvido num atropelamento. Assim, foi considerado uma das escalas mais usada em todo o mundo para o efeito, que se designa por AIS – Escala abreviada de lesões (*Abbreviated Injury Scale*) sendo esta uma escala ordinal que varia de 0 (sem lesão) a 6 (máximo/atualmente sem tratamento) [24]. As áreas do corpo que são pontuadas com AIS encontram-se divididas da seguinte forma: cabeça com uma porção da coluna vertebral incluído (cervical), pescoço, tórax com a espinha dorsal incluída; abdômen com coluna lombar incluída; pélvis, braços, pernas; e os pés. [25]. Adicionalmente ao índice AIS também foi usado o índice NISS (*New Injury Severity Score*) especialmente para a avaliação de múltiplas lesões, e que permite classificar seis regiões diferentes do corpo: cabeça, face, tórax, abdômen, pelve e extremidades, incluindo esterno. Portanto, considerou-se como variáveis independentes a classificação AIS dessas seis regiões do corpo e também a pontuação NISS, agrupados em seis categorias intervalo da seguinte forma: [9-15], [16-24], [25-40], [41 -49], [50-74] e 75. Esta divisão foi baseada no trabalho de Whitaker e Gennari [26].

O modelo de regressão logística multinomial foi então aplicado para determinar, entre os peões que sofreram lesões fatais pós o acidente, quais foram os principais factores que influenciaram essas lesões agrupados por diferentes idades e, também, suas lesões resultantes classificadas por escalas de lesão AIS e NISS. Neste caso, uma vez que a amostra de dados para ser analisada é reduzida, uma forma de fazer inferências estatísticas é calcular os valores  $p$  exactos (mais especificamente, por meio do teste exacto de Fisher) [27]. Assim, após a aplicação do MLR na amostra, utilizou-se o teste exacto na tentativa de encontrar mais associações entre as variáveis utilizadas.

Teve-se em consideração o Princípio da Parcimónia, que leva a um modelo mais simples, havendo um melhoramento na detecção de correlações entre as variáveis consideradas, alcançando assim maiores níveis de confiança nos resultados com o melhor ajuste possível [28]. Por outro lado, através desta abordagem, foi comprometida a hipótese de ter um modelo final com mais detalhe (que incluía mais variáveis).

### 3.3 Resultados

Sendo algumas das categorias significativas no modelo final, observa-se que:

- O risco de um peão com uma idade maior ou igual a 60 anos se envolver num atropelamento fatal durante o dia é maior do que o risco para o mesmo peão quando há pouca luz (13 contra 9). Tendo um intervalo de confiança de 95%, pode-se igualmente afirmar que o risco de um peão com mais de 60 anos de idade sofrer lesões fatais quando há pouca luz é superior entre 2.088 e 38.787 do que o mesmo risco observado entre os jovens com idade inferior ou igual de 15 anos.
- Em comparação com o grupo de referência, para quase todas as categorias do indicador "Iluminação\_V2", o risco de sofrer lesões fatais é maior em períodos com luz baixa do que em plena luz do dia. A única excepção é para o grupo de idade "superior ou igual a 60 anos de idade", onde é mais provável de ser morto em plena luz do dia.
- O risco de um peão com idade entre 16 e 39 anos estar envolvido num acidente fatal é seis vezes maior do que o risco de um peão do grupo de referência (menor ou igual a 15 anos), e diminui ligeiramente para 5,5 vezes maior entre peões com idade entre 40 e 59 anos.
- Deve ser rejeitada a hipótese de independência entre a idade de peões e iluminação uma vez que o teste exato de Fisher resultou numa significância menor que 0,05. Além disso, como observado anteriormente, jovens com idade entre 16 e 39 anos e adultos com idade entre 40 e 59 anos estão envolvidos em acidentes fatais mais frequentemente durante a noite com a iluminação (68,8% e 40,9%, respectivamente). Enquanto os peões com idade inferior ou igual a 15 são mais propensos a um acidente fatal durante o dia (60%), também os peões com idade igual ou maior a 60 anos estão envolvidos com maior frequência em acidentes fatais durante o dia (68,4%) ou à noite com iluminação (19,3%).
- Peões com idade inferior a 16 anos estão envolvidos com maior frequência em acidentes fatais entre o período das 16h00 às 19h59 (60%). Para peões entre os 16 e 39 anos, é mais frequente entre 04h00 e 7h59 (37,5%) e entre 20h00 e 23h59 (25%). Peões com idade entre 40 e 59 anos apresentaram maior frequência no período entre 20h00 às 23h59 (31,8%) e 16h00 às 19h59 (31,8%). Relativamente a peões com idade maior ou igual a 60 anos, verificou-se uma maior frequência entre as 16h00 e 19h59 (33,3%) e entre as 08h00 e 11h59 (31,6%).
- Para peões com idade inferior a 16 anos, o condutor estava a iniciar a marcha do veículo. Entre os peões com idade entre 16 e 39 anos, além da marcha normal, os condutores realizavam uma manobra de desvio ou de mudança de fila de trânsito. Entre os idosos, 86% dos atropelamentos ocorreram quando o condutor estava em andamento normal.

## 4 INVESTIGAÇÃO APROFUNDADA DE ATROPELAMENTOS

Apesar de uma análise estatística fornecer dados relevantes para a compreensão do fenómeno da sinistralidade pedonal, este tipo de análise corresponde apenas a uma primeira fase de um processo de investigação. Esta fase não dispõe de informações fundamentais que aumentem o nível de detalhe e compreensão de peculiaridades associados aos atropelamentos, dadas as limitações impostas pelos acontecimentos a que as autoridades não têm acesso no local do acidente, tais como a velocidade do veículo, causas do acidente e responsabilidade da sua ocorrência. Assim, surge a necessidade de uma investigação aprofundada, a fim de analisar e ter acesso a aspectos importantes e fundamentais para a análise detalhada das causas do atropelamento.

### 4.1 Biomecânica do impacto e critérios de lesão

A biomecânica do impacto estuda as forças que atuam sobre o corpo humano, ou seja, as forças de impacto, os efeitos produzidos por essas forças e as formas de reduzir ou eliminar os danos estruturais e funcionais no corpo decorrente de uma situação de um impacto [30]. A fim de determinar a dinâmica do acidente através da biomecânica do impacto e analisar a gravidade das lesões com base em níveis de aceleração obtidos na simulação da colisão, o software PC-Crash pode ser usado. Em termos práticos, a avaliação do nível de lesão é realizada utilizando critérios de lesão calculados com base nos dados de aceleração retirados a partir dos modelos multicorpos, representativos do corpo humano, na simulação de impacto. Os critérios de lesão são um conjunto de parâmetros físicos correlacionados com a gravidade da lesão resultante na área do corpo em análise indicando um potencial para a indução de lesões. Estes critérios são essenciais para o desenvolvimento de dispositivos de segurança, bem como para avaliar a sua eficiência. Relativamente a uma área fundamental e vital do corpo humano, a cabeça, os critérios para avaliar a gravidade da lesão num impacto, tais como o HIC (Critério de lesões na cabeça) estão disponíveis. O HIC é um critério baseado na aceleração linear da cabeça, por exemplo, a partir de modelos biomecânicos, num dado intervalo, calculando-se com base na seguinte expressão:

$$HIC = \max \left[ \frac{1}{t_2 - t_1} \int_{t_1}^{t_2} a(t) dt \right]^{2.5} (t_2 - t_1) \quad (1)$$

Nesta expressão (equação 1), o HIC é calculado para a aceleração  $a(t)$  no centro de massa da cabeça em múltiplos intervalos de tempo  $(t_2 - t_1)$ , sendo determinado o intervalo para o qual o índice HIC é máximo. O valor máximo admitido HIC, a partir do qual as lesões resultantes são graves ou permanentes, requer que  $(t_2 - t_1)$  não ultrapasse mais do que 15 ms num impacto directo com a cabeça ou um intervalo de 36 ms para um impacto indirecto, com um limite de tolerância de HIC 700 (HIC15) e 1000 (HIC36) para cada caso e considerando o percentil 50 [30][31][32][33]. Existe uma correlação directa entre o HIC e a AIS, que permite a conversão dos níveis de aceleração na cabeça, determinados nas simulações computacionais, em índice de gravidade da lesão.

### 4.2 Reconstituição computacional de um atropelamento real

Para ilustrar o processo de reconstituição científica de acidentes, a simulação computacional de um atropelamento real é descrita seguidamente. Foram utilizadas nas simulações as características do veículo real e os dados antropomórficos do peão. De acordo com o relatório da autópsia da vítima, lesões na cabeça a nível interno são aqueles que merecem maior destaque, verificando-se lesões classificadas com um AIS = 5. Do croqui existia informação do local provável de impacto, assim como as posições de imobilização do veículo e do peão. Tendo em consideração o croqui do acidente, danos no veículo e declaração do condutor, foram realizadas várias simulações computacionais de forma a determina-se o ponto de impacto e a velocidade do veículo. Verificou-se que apenas para uma velocidade de pré-impacto superiores a 55 km/h é que se verificavam lesões graves na cabeça, uma vez que com um  $HIC > 700$  devem resultar em lesões graves ou permanentes (Quadro 2). No entanto, para esta velocidade, era impossível que o ponto de impacto indicado pelas autoridades fosse o correto, uma vez que a posição final da vítima, sendo um facto conhecido, não estava de acordo com a posição final observada nas simulações computacionais. Nesta metodologia de reconstituição foram testados várias velocidades para o veículo e peão, vários pontos de impacto e mesmo diferentes direcções para veículo e peão. Correlacionados os resultados obtidos com os danos no veículo, as posições de imobilização do peão e particularmente as lesões. A melhor correlação obtida entre todos estes parâmetros da dinâmica do acidente é apresentada na Figura 3. Os resultados obtidos para esta simulação, já depois de ajustados todos os parâmetros necessários a uma rigorosa reconstituição computacional do acidente, confirmam a presença de lesões graves na

cabeça (Quadro 3), tal como indicado no relatório de autópsia, e também a ausência de outras lesões relevantes (Quadro 4), permitindo verificar a compatibilidade com a existência/inexistência de outras lesões.

Quadro 2. HIC (para 15ms) e AIS calculado

Velocidades de pré-impacto	HIC	AIS
45 km/h	29,50	1
50 km/h	129,86	1+
55 km/h	450,04	2+
<b>60 km/h</b>	<b>857,03</b>	<b>3+</b>
<b>65 km/h</b>	<b>1258,19</b>	<b>5+</b>
<b>70 km/h</b>	<b>2137,54</b>	<b>6</b>

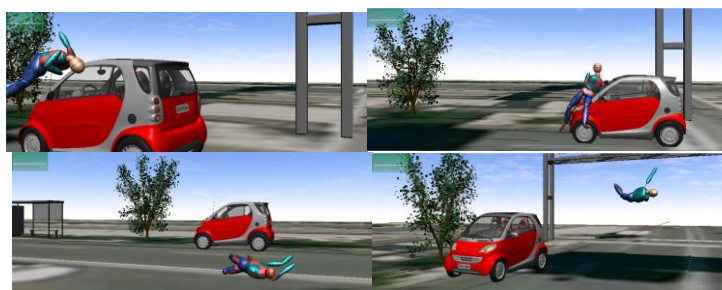


Fig.3. Fotogramas da reconstituição computacional do acidente real

Quadro 3. Cálculo do HIC (para 15ms) e AIS da simulação computacional

Velocidade de pré-impacto	HIC	AIS	HIC Limite
56,5 km/h	<b>1173,14</b>	<b>4+</b>	700

Quadro 4. Critérios de lesão e valores obtidos

Critério de lesão	Limite	Valores obtidos
Aceleração no torso	60 g	~ <b>45,9 g</b>
Força axial (Fx) – Fémur	10 kN	≈ ~ <b>5,2 kN</b>
Força crítica (Fz) – Perna, região lateral inferior	35,9 kN para 40% risco de AIS 2+	≈ ~ <b>2 kN para 2,23% risco de AIS2+</b>

Este exemplo ilustra a importância deste procedimento na determinação da responsabilidade dos acidentes. Embora o veículo circulasse pouco acima do limite de velocidade, esse pequeno aumento de velocidade teve um papel decisivo nas lesões existindo umnexo causal explícito entre velocidade e lesões. Se o veículo circulasse à velocidade máxima permitida na via, e tendo o peão atravessado a via desrespeitando as regras do código da estrada o atropelamento teria ocorrido mas o peão teria apenas sofrido lesões leves.

## 5 AGRADECIMENTOS

Aos autores agradecem ao Professor Jorge Costa Santos, à Dr.<sup>a</sup> Cátia Viana e Dr.<sup>a</sup> Ana Cátia Instituto Nacional de Medicina Legal e Ciências Forenses (INMLCF), pelo apoio na realização deste trabalho. Parte deste trabalho integra-se no projecto “Segurança dos Utentes Vulneráveis” realizado com o apoio do Ministério da Administração Interna. a ANSR e o ISP, entidades às quais se agradece o respectivo apoio.



## 6 CONCLUSÕES

Neste trabalho apresentaram-se duas análises estatísticas com base em dados recolhidos da ANSR (2010-2011) e INMLCF (2009-2011). Na primeira análise, o objectivo passou por prever a gravidade da lesão sofrida pelos peões e sua relação sobre vários factores. Os resultados mostraram um aumento da probabilidade de lesões mais graves em vários factores. O facto de o atropelamento ocorrer fora das localidades, contribui para o aumento da probabilidade de lesão mais grave. Além disso, quando um atropelamento ocorre durante a noite, em zonas não iluminadas, as lesões tendem a ser mais graves do que em outras situações. Em relação aos intervenientes neste tipo de acidente, condutores e peões do sexo masculino conduzem a aumento da gravidade das lesões. Além disso, os condutores mais jovens foram também associados a um risco aumentado de gravidade e, por outro lado, condutores mais idosos mostraram uma diminuição da probabilidade de lesões graves nos peões. Quanto à idade do peão, peões mais velhos estão associados a lesões mais graves. Na segunda análise estatística, o objectivo passou por analisar os factores de risco associados à idade dos peões vítimas de atropelamento. Comparativamente a peões mais jovens, peões mais velhos mostraram ter maior probabilidade de serem atropelados mortalmente em condições de baixa luminosidade ou com iluminação artificial, especialmente os peões com idade entre 16 e 39 anos, e no período 04h00-7h59 e 20h00-23h59. Para peões acima de 60 anos, a análise estatística mostrou que estes eram mais propensos a estarem envolvidos num atropelamento mortal de dia, especialmente entre as 16h00 e 19h59. Este estudo também sugere que peões mais jovens são mais propensos a atropelados mortalmente nos períodos das 16h00-19h59 e 08h00-11h59. Quanto às ações do condutor num atropelamento mortal, a análise realizada mostrou que os peões adultos eram mais propensos a morrer quando um condutor realiza uma manobra de mudança de via ou inversão de marcha. Para o resto dos grupos de idade, o condutor estava em marcha normal.

A combinação das informações genéricas do acidente (base da dados da ANSR), com informação detalhada das lesões (base da dados do INMLCF) e com os resultados da investigação aprofundada do acidente (base da dados do NIAR-IDMEC-IST), permitem determinar os factores de risco nos atropelamentos assim como ser uma ferramenta útil que sirva de base à tomada de medidas de prevenção rodoviária. A colaboração entre engenheiros e médicos é importante para o conhecimento dos mecanismos de lesão bem como para uma determinação mais rigorosa das causas e consequências deste tipo de acidente. A adoção e globalização de escalas de avaliação de lesão é também de grande importância.

## 7 REFERÊNCIAS

1. CARE (2011). CARE database - reports and graphics. *European Commission Road Safety*. Consulted page at September 4<sup>th</sup> 2012: <[http://ec.europa.eu/transport/road\\_safety/specialist/statistics](http://ec.europa.eu/transport/road_safety/specialist/statistics)>
2. Eurostat (2011). Eurostat Statistics. *European Commission*. Consulted page at September 6<sup>th</sup>, 2012: <[http://epp.eurostat.ec.europa.eu/portal/page/portal/statistics/search\\_database](http://epp.eurostat.ec.europa.eu/portal/page/portal/statistics/search_database)>
3. Parker, A.A., (2008). The Dutch model for Making Walking and Cycling Safer. In *Australasian Road Safety Research, Policing and Education Conference Proceedings*. 2008: Sidney, Austrália.
4. Campbell, B.N., Najm, W.G., et al., (2003). Examination of Crash Contributing Factors Using National Crash Databases. *NHTSA, US Department of Transportation*, DOT- HS 809 664, DOT- VNTSC-NHTSA-02-07
5. Chang, D., (2008). National Pedestrian Crash Report. : National Highway Traffic Safety Administration, *US Department of Transportation*, DOT HS 810 968, Washington, DC
6. Zegeer, C.V., Stewart, J.R., Huang, H.H., et al., (2005). Safety Effects of Marked Versus Unmarked Crosswalks at Uncontrolled Locations, Final Report and Recommended Guidelines. *US Department of Transportation, Federal Highway Administration*, HRT-04-100, 112 .
7. Eluru N, Bhat CR, Hensher DA, (2008). A mixed generalized ordered response model for examining pedestrian and bicyclist injury severity level in traffic crashes. *Accid Anal Prev*. 2008; 40(3): 1033-1054.
8. ANSR (2010). Sinistralidade Rodoviária 2010. Observatório de Segurança Rodoviária. *Autoridade Nacional de Segurança Rodoviária*.
9. ANSR (2011). Sinistralidade Rodoviária 2010. Observatório de Segurança Rodoviária. *Autoridade Nacional de Segurança Rodoviária*.

10. Mohamed, M., et al. (2011). A clustering regression approach: A comprehensive injury severity analysis of pedestrian-vehicle crashes in New York, US and Montreal, Canada. *TBR 2012 Annual Meeting*; Consulted website at August 23<sup>th</sup>: < <http://amonline.trb.org/1slpov/1slpov/1> >
11. Damsere-Derry, J., B. E. Ebel, et al. (2010). Pedestrians' injury patterns in Ghana. *Accid Anal Prev* 42(4): 1080-1088.
12. Tefft, B. C. (2012). Impact speed and a pedestrian's risk of severe injury or death. *Accid Anal Prev*.
13. Norusis, M. (2004). SPSS 13, Advanced statistical procedures companion. New Jersey: *Prentice Hall Inc*
14. Hosmer DW, Lemeshow S, (2000). Applied Logistic Regression. 2. New York, USA: *Wiley & Sons*; 2000.
15. Ballesteros, M.F., Dischinger, P.C., Langenberg, P., (2004). Pedestrian injuries and vehicle type in Maryland 1995–1999. *Accident Analysis and Prevention* 36 (1), 73–81.)
16. Beck, L.F., Paulozzi, L.J., Davidson, S.C., (2007). Pedestrian fatalities, Atlanta metropolitan statistical area and United States, 2000–2004. *Journal of Safety Research* 38
17. Giannakouris, K. (2008). Eurostat - Ageing characterises the demographic perspectives of the European societies. Page: <http://ec.europa.eu/eurostat>
18. Nalla, R. K. et al., (2005). Fracture in human cortical bone: local fracture criteria and toughening mechanisms. *Journal of Biomechanics* - July 2005 (Vol. 38, Issue 7, Pages 1517-1525).
19. Rubenstein, L. Z. (2006). Falls in older people: epidemiology, risk factors and strategies for prevention. *Age Ageing* 35 Suppl 2: ii37-ii41.
20. Oxley, J., Corben, B., Fildes, B., O'Hare, M. (2004). Older vulnerable road users- measures to reduce crash and injury risk. *Monash University Accident Research Centre - Report No. 218*
21. Oxley, J. (2001). Elderly Pedestrian Issues. *Accident Research Centre, Monash University*.
22. IRTAD (2011)- *International Traffic Safety Data and Analysis Group: Reporting on Serious Road Traffic Casualties Combining and using different data sources to improve understanding of non-fatal road traffic crashes*.
23. Henary, B. Y., J. Ivarsson, et al. (2006). The influence of age on the morbidity and mortality of pedestrian victims. *Traffic Inj Prev* 7(2): 182-190
24. Rautji, R., D. N. Bhardwaj, et al. (2006). The Abbreviated Injury Scale and its correlation with preventable traumatic accidental deaths: a study from South Delhi. *Med Sci Law* 46(2): 157-165.)
25. *TRAUMA* (2012). Consulted webpage at: <http://www.trauma.org>. (3th September 2012)
26. Whitaker, I. Y., T. D. Gennari, et al. (2003). The difference between ISS and NISS in a series of trauma patients in Brazil. *Annu Proc Assoc Adv Automot Med* 47: 301-309.
27. Bower, Keith M., (2003). When to Use Fisher's Exact Test, in American Society for Quality, *Six Sigma Forum Magazine*, Vol. 2, No. 4, August 2003, pp. 35-37
28. Schafer, J., (2006). Lecture 19: Multinomial Logistic Regression Models, Stat 544, PennState
29. Loo, BP., Tsui, KL., (2009). Pedestrian injuries in an ageing society: insights from hospital trauma registry. *The Journal of Trauma*, 2009, v. 66 n. 4, p. 1196-1201
30. Silva, M., (2004). Apontamentos da Disciplina de Biomecânica do Movimento, *DEM, IST*, 2004
31. Eppinger, R., et al. (1999). Development of improved injury criteria for the assessment of advanced automotive restraint systems-II. *National Highway Traffic Safety Association*.
32. TNO (2004). Madymo v6.2 Model Manual. Delft, Netherlands, June 2004.
33. NHTSA (2000b). Federal Motor Vehicle Safety Standards: Standard No.208, Occupant crash protection. *US Department of Transportation*. Washington DC: National Highway Traffic Safety Administration