

# A IMPORTÂNCIA DA RECONSTITUIÇÃO CIENTÍFICA EM ATROPELAMENTOS

Ricardo J.F. Portal<sup>1</sup>, João M.P. Dias<sup>2</sup> e Tiago M. Paulino<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Instituto de Engenharia Mecânica – Instituto Superior Técnico, Av. Rovisco Pais 1049-001 Lisboa, Portugal  
email: ricardo.portal@dem.ist.utl.pt www.dem.ist.utl.pt

<sup>2</sup> Instituto de Engenharia Mecânica – Instituto Superior Técnico, Av. Rovisco Pais 1049-001 Lisboa, Portugal

<sup>3</sup> icollision – Tecnologias e Consultoria para a Análise Científica de Acidentes,  
Avenida Elias Garcia, 141, 5º Dto, 1050-099 Lisboa, Portugal

---

## Sumário

*A Simulação computacional de atropelamentos é fundamental para o apuramento do estudo da dinâmica destes acidentes rodoviários. Onde é que o peão se encontrava quando ocorreu o atropelamento? Normalmente, não existe uma resposta simples e clara. O peão, caso sobreviva, afirma que atravessava a via numa passagem de peões, já o condutor do veículo atropelante afirma o contrário, que a localização do peão era muito posterior à mesma passagem de peões.*

*Os métodos clássicos de análise, por exemplo os modelos e Searle, de Simms e Wood ou o da Universidade de Northwestern, são modelos matemáticos simples e que apenas podem ser utilizados em condições bem definidas, como a posição do peão relativamente ao veículo, o conhecimento da distância de projeção ou da velocidade do veículo aquando do atropelamento. Estas duas últimas variáveis são muitas vezes desconhecidas e o seu apuramento requerido em simultâneo. Assim, o papel da reconstituição científica de atropelamentos é fundamental para a correta caracterização do atropelamento, onde são consideradas as características técnicas do veículo e morfológicas do peão, a configuração do local do atropelamento, eventuais marcas de travagem e/ou derrapagem ou os vestígios resultantes do acidente, como vidros e partes plásticas do veículo atropelante ou mesmo sangue e tecidos orgânicos do peão. São ainda consideradas as posições de imobilização do veículo e do peão e os registos médicos deste, pois é usual as lesões provenientes do atropelamento indicarem os cenários possíveis nestes acidentes.*

*Neste trabalho são apresentadas situações onde apenas a utilização de software especializado na reconstituição de acidentes rodoviários, o PC-Crash, conjugado com toda a informação disponível possibilitou o apuramento da velocidade de embate do veículo e a localização do peão.*

---

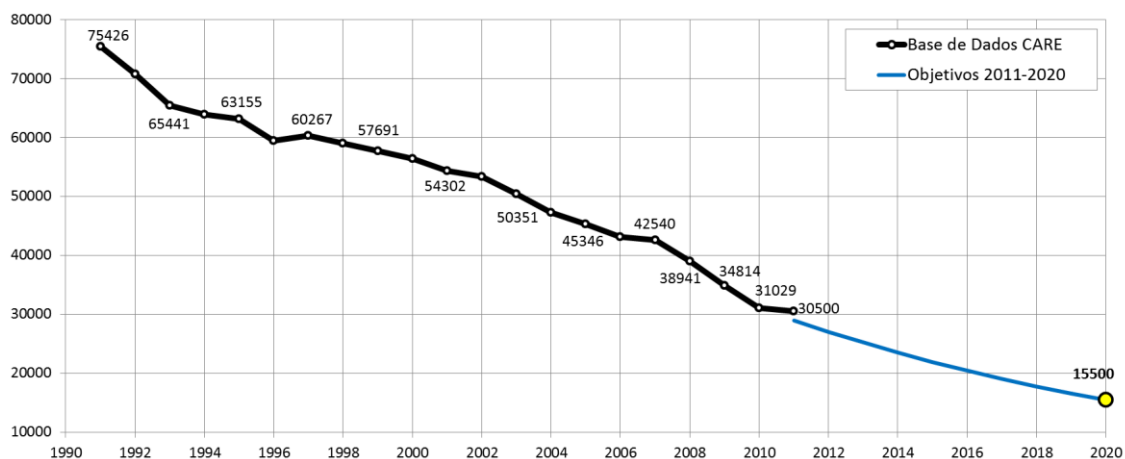
**Palavras-chave:** Segurança Rodoviária; Reconstituição Científica de Acidentes; Simulação Computacional; Atropelamentos.

## 1 INTRODUÇÃO

O desenvolvimento de modelos de reconstituição rigorosos para o estudo de acidentes com peões é um tópico com interesse atual. Quando o peão é vítima de atropelamento, as suas características físicas e as características do veículo atropelante afetam decisivamente a distância de projeção e os índices biomecânicos (relacionados com o nível de lesão) do peão.

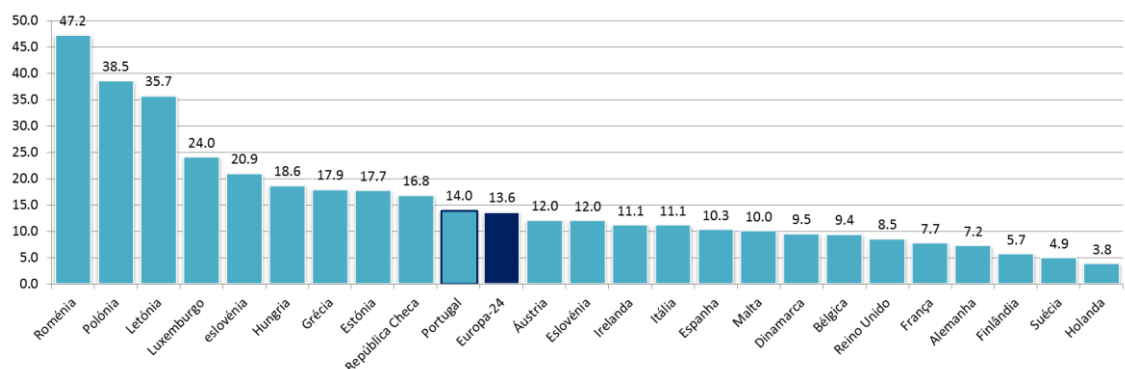
A evolução histórica na Europa (CARE [1]) mostra uma grande redução do número de mortes em acidentes rodoviários, (Fig. 1). Desde 1991 até 2011, o número de mortes foi reduzido em cerca de 60%. Mesmo assim, em 2011, morreram cerca de 30500 pessoas nas estradas, o que equivale à população de uma cidade europeia média. A Comissão Europeia adotou um ambicioso programa de segurança rodoviária, que tem como objetivo reduzir as mortes na estrada na Europa entre 2011 e 2020, pretendendo atingir o valor máximo de 15500 mortes no ano de 2020, o que equivale a uma redução para metade (Fig. 1). Por cada morte nas estradas europeias há cerca de quatro lesões permanentemente incapacitantes, tais como danos cerebrais ou da medula espinal, oito

feridos graves e 50 ferimentos leves. O programa estabelece uma série de iniciativas, a nível europeu e nacional, centrando-se em melhorar a segurança do veículo, a segurança da infraestrutura e o comportamento dos utentes da estrada.



**Fig. 1. Evolução histórica do número de mortes em acidentes rodoviários, na Europa, entre 1991 e 2011. Objetivo da Comissão Europeia no período 2011-2020.**

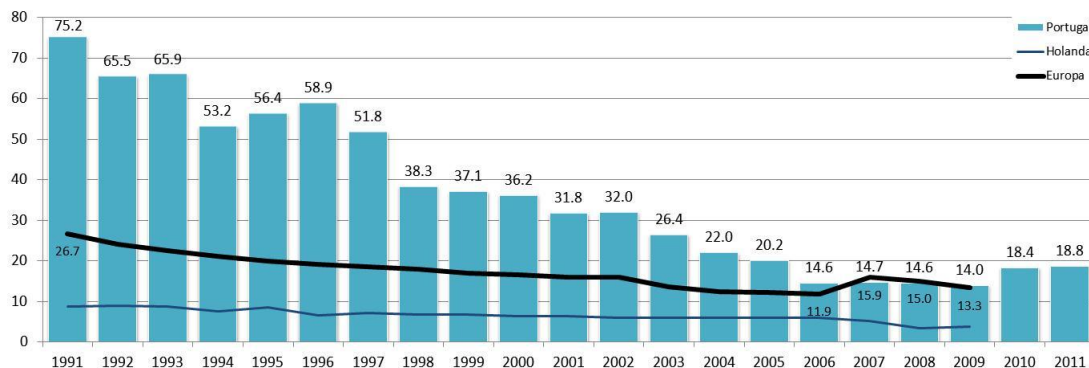
Em 2009, 6641 peões europeus (EU-24) foram mortos em acidentes rodoviários, o que equivale a 20% do total de mortes. Na última década, verificou-se uma redução de 34% no número de atropelamentos fatais acompanhando a redução de 35% do número total de mortes. Contudo, a proporção das mortes de peões com o número total de mortes tem vindo a aumentar. Comparando o número de peões mortos nos diversos países da União Europeia, no ano de 2009, obtêm-se razões entre as 3,4 e as 49 mortes de peões por milhão de habitantes, na Holanda, e na Roménia e Polónia, respetivamente. Nestes dois últimos países, a razão de peões mortos por habitante é cerca de quinze vezes superior ao verificado na Holanda. O número de peões mortos por milhão de habitantes, em 2009, e para os diversos países da EU-24 é mostrado na Fig. 2. Os valores para Portugal foram muito próximos da média europeia.



**Fig. 2. Número de peões mortos por milhão de habitantes, em 2009 (EU-24)**

A mortalidade de peões vítimas de acidentes rodoviários por população, bem como as reduções mais e menos significativas, Portugal e Holanda, respetivamente, e a evolução média europeia são evidenciados na Fig. 3. Portugal, sendo um dos países com uma redução mais significativa no número de peões mortos nas últimas duas décadas, onde se aproximou dos valores médios, regista ainda valores ligeiramente acima da média europeia nos seus dados nacionais [2]. Mais concretamente, 195 e 199 peões mortos, representando 21% e 22% do total de mortes, para os anos de 2010 e 2011, respetivamente. O aumento nos anos de 2010 e 2011 deverão estar relacionados com a alteração da definição de vítima mortal em acidente rodoviário, passando a serem

considerados os trinta dias após a ocorrência do atropelamento, a partir destes anos. Durante o biénio considerado, foram registados 428 e 462 peões gravemente feridos.



**Fig. 3. Evolução do número de peões mortos por milhão de habitantes na Europa [1]. Em Portugal, na média dos países europeus (EU-14 até 2006, EU-19 no período de 2007-2009) e na Holanda, país com menor taxa de mortalidade de peões, abaixo das mortes por milhão de habitantes.**

Para que melhor se compreendam as causas dos acidentes e se reduza o número de vítimas, há que implementar novas medidas de segurança, nomeadamente, no que respeita à conceção das vias e à colocação da sinalização luminosa e vertical. O correto comportamento de condutores e peões tem também um papel importante a desempenhar. A reconstituição científica de atropelamentos poderá contribuir eficazmente para a determinação das responsabilidades nos atropelamentos e consequentemente para o desenvolvimento de novas soluções para os componentes estruturais dos veículos e de novos dispositivos de segurança para peões, como a otimização da estrutura do capô, a elevação do capô e os airbags de peão.

Um atropelamento consiste numa sequência progressiva de impactos entre o peão e o automóvel. A maioria dos atropelamentos resultam de colisões frontais, como tal as estruturas da dianteira do veículo, como sejam o capô, o para-choques ou o para-brisas, são responsáveis pela maior parte das lesões verificadas. Num atropelamento ocorre um primeiro contacto, em que a zona média da perna do peão é atingida pelo para-choques do veículo. A dinâmica do atropelamento conduz ao posterior impacto da coxa e bacia do peão no veículo e o posterior impacto das regiões superiores do corpo, tais como o tronco e braços, e por fim a cabeça do peão com o capô e o para-brisas (ou o pilar A) do veículo. Apesar da sequência descrita ser a mais usual, salvo as situações em que o impacto ocorre com a zona lateral do veículo, as lesões do peão apresentam diferentes graus de gravidade, relacionada com o tipo de veículo, a forma da frente do veículo, a velocidade de impacto, bem como as características biomecânicas do peão, como a altura, o peso e a própria idade.

## 2 A RECONSTITUIÇÃO CIENTÍFICA DE ATROPELAMENTOS

A reconstituição científica de atropelamentos é, normalmente, complexa, sendo necessária a utilização de modelos biomecânicos tridimensionais do corpo humano [3]. A dinâmica multicorpo [11] tem sido usada no desenvolvimento destes modelos com sucesso [4-10]. Os programas computacionais que permitem a análise biomecânica são dispendiosos e muitas vezes não inteiramente desenvolvidos para a reconstituição de acidentes, assim, o desenvolvimento de modelos matemáticos baseados na dinâmica multicorpo são essenciais. Alguns trabalhos dos autores pretendem dar um contributo para este desenvolvimento [12-17].

Os atropelamentos podem ser estudados utilizando vários métodos, que podem ser divididos em métodos clássicos e métodos computacionais. Dependendo da complexidade do atropelamento devem ser adotados os métodos adequados, normalmente os métodos clássicos permitem apenas o estudo de atropelamentos simples, onde não existem dúvidas relativamente à posição do veículo e do peão e se conhece a velocidade de circulação do veículo ou a distância de projeção do peão. Como já referido, na grande maioria dos casos, devido à complexidade é essencial usar métodos computacionais, como por exemplo, os programas comerciais PC-Crash [18] e Madymo [19]. As reconstituições realizadas com as ferramentas computacionais adequadas permitem considerar todos os parâmetros e variáveis que influenciam a dinâmica do atropelamento, como a geometria e

características do veículo assim como as características do peão e permitem ainda a correlação entre as lesões verificadas no peão e os dados resultantes das simulações computacionais, permitindo estas o cálculo de índices biomecânicos, que refletem a gravidade das mesmas lesões.

## 2.1 Métodos Analíticos

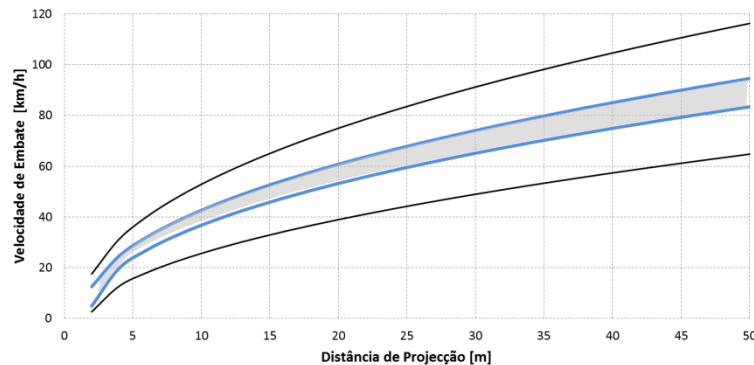
Os métodos clássicos de análise são modelos matemáticos simples e que apenas podem ser utilizados em condições bem definidas, como a posição do peão relativamente ao veículo, o conhecimento da distância de projeção ou da velocidade do veículo aquando do atropelamento. Eubanks e Haight [20] tipificaram a sequência de eventos num atropelamento e a relação entre a velocidade de embate e a trajetória de projeção do peão, resumiram ainda vários métodos para calcular a velocidade de embate do veículo atropelante a partir da distância de projeção ou o contrário. A Tabela 1 resume vários métodos clássicos para a determinação da velocidade do veículo atropelante. Apenas podem ser utilizados em atropelamentos onde o peão se encontra numa posição central relativamente à frente do veículo. Wood *et al.* [21] desenvolveram um método analítico onde consideram três fases para o atropelamento, Brach e Han [22] desenvolveram um modelo analítico que considera a inclinação da via. Os métodos de Searle [26] e Wood [27] foram implementados numa interface gráfica, denominada VEDP [29].

**Tabela 1. Métodos analíticos para a determinação da velocidade em atropelamentos**

Schmidt e Nagel [23] [m/s]	$V = \sqrt{\mu^2 h + 2\mu g d_t - \mu h}$	$V$ velocidade de embate $\mu$ coeficiente de atrito entre o peão e o solo $d_t$ distância de projeção $h$ altura do centro de massa do peão
Stcherbatcheff [24] [m]	$d_t = \frac{V^2}{2a} + (0.03 Va)$	$a$ aceleração
Collins [25] [m]	$d_t = \frac{V\sqrt{h}}{7,97} + \frac{V^2}{254\mu}$	
Searle [26] [m/s]	$V_{min} = \sqrt{\frac{2\mu g d_t}{1 + \mu^2}}$ $V_{max} = \sqrt{2\mu g d_t}$	$V_{min}$ velocidade de embate mínima $V_{max}$ velocidade de embate máxima
Wood [27] [m/s]	$V = M_{vp} (A \times \sqrt{d_t} + B)$ $V = C M_{vp} (d_t - S_0)^D$	$M_{vp} = \frac{M_{veículo} + M_{peão}}{M_{veículo}}$ Se as massas forem desconhecidas $M_{vp} = 1$ $A, B, C, D$ e $S_0$ são parâmetros experimentais
Univ. Northwestern [28] [fps]	$d_f = 2\mu h - 2h \sqrt{\mu^2 - \frac{\mu d_t}{h}}$ $d_s = d_t - d_f$ $V_f = d_f \sqrt{-\frac{g}{2h}}; V_s = \sqrt{2a d_s}$	$d_f$ distância percorrida pelo peão durante a fase de queda $d_s$ distância percorrida pelo peão durante a fase de escorregamento $V_s$ velocidade de embate
Eubanks [fps]	$V = \frac{-B \pm \sqrt{B^2 - 4AC}}{2A}$	$A = (64,4 \mu)^{-1}$ $B = \frac{d_{hood}}{v_{pedestrian} \sin\Phi} + \sqrt{\frac{h_{hood}}{16,1}}$ $C = -d_t$

O VEDP utiliza os métodos clássicos de Searle [26] e Wood [27], permitindo assim ter em consideração diferentes fatores que influenciam a distância de projeção de um peão, como a frente do veículo, se o peão é adulto ou criança, as massas do peão e do veículo e as condições atmosféricas. A utilização dos métodos

clássicos permite obter uma estimativa da velocidade de embate do veículo atropelante quando se conhece a distância de projeção do peão. A Fig. 4 mostra a relação entre a velocidade e a distância de projeção, para piso seco, sendo um peão adulto e o veículo atropelante um veículo convencional.



**Fig. 4. Relação entre a velocidade de embate e a distância de projeção do peão, adulto, considerando piso seco e frente do veículo convencional.**

Para uma distância de projeção de 10 metros, a velocidade de embate do veículo atropelante situa-se entre os 37 km/h e os 43 km/h (para uma probabilidade de 50%). Para uma estimativa mais rigorosa é necessário recorrer a modelos computacionais e a informação detalhada sobre as características da via, do veículo e do peão, nomeadamente massa, altura e idade. Os valores da Fig. 4 são válidos apenas quando o impacto se dá na zona central do veículo. Quando o impacto ocorre junto a uma das extremidades do veículo, provocando uma projeção oblíqua em relação à direção do veículo, os métodos analíticos conduzem a resultados errados, não podendo ser aplicados.

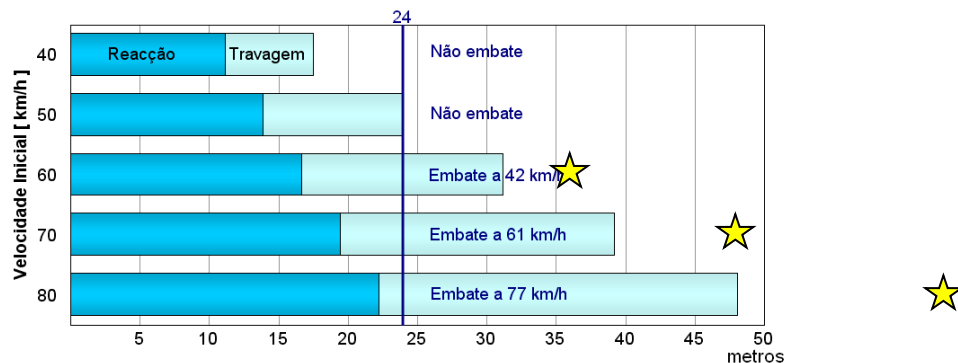
## 2.2 Métodos Computacionais

Os métodos clássicos apresentam grandes limitações quando o atropelamento é mais complexo, quando os dados recolhidos não são suficientes para a sua correta utilização ou quando as características do atropelamento não se coadunam com as condições de aplicação dos mesmos. Na maioria das reconstituições de atropelamentos não se conhece a distância de projeção do peão, ou seja, não se conhece o local onde ocorreu o atropelamento nem a velocidade do veículo aquando do atropelamento. Assim, torna-se impossível a utilização dos métodos clássicos e fundamental a aplicação de métodos computacionais para a determinação daquelas variáveis, em simultâneo. A reconstituição científica de atropelamentos é fundamental para a correta caracterização do atropelamento, onde são consideradas as características técnicas do veículo e morfológicas do peão, a configuração do local do atropelamento, eventuais marcas de travagem e/ou derrapagem ou os vestígios resultantes do acidente, como vidros e partes plásticas do veículo atropelante ou mesmo sangue e tecidos orgânicos do peão. São ainda consideradas as posições de imobilização do veículo e do peão e os registos médicos deste, pois é usual as lesões provenientes do atropelamento indicarem os cenários possíveis.

### *Influência da Velocidade de Circulação (e da Velocidade de Embate) do Veículo*

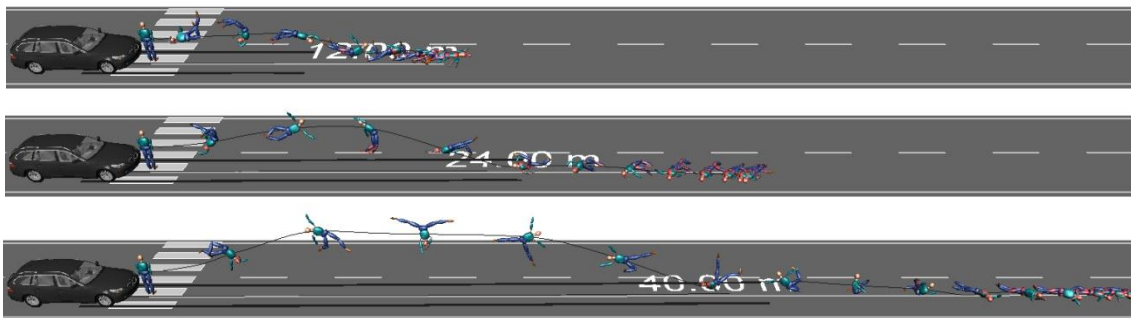
Considere-se o exemplo em que o condutor de um veículo avista um peão que atravessa a via numa passagem de peões, localizada a 24 metros de distância, reagindo, travando o veículo [30]. O veículo circula a 50 km/h, necessitando dos mesmos 24 metros para se imobilizar, não existindo atropelamento (Fig. 5). Caso a velocidade de circulação fosse de 60 km/h ou de 80 km/h, o peão seria atropelado à velocidade de 42 km/h ou de 77 km/h, respetivamente.

Recorrendo ao programa comercial PC-Crash simularam-se as trajetórias dos peões e determinaram-se as distâncias a que foram projetados (Fig. 6).



**Fig. 5. Velocidades de embate para diversas velocidades de circulação. As estrelas representam as distâncias de projecção calculadas através de simulações computacionais.**

Foi utilizado um veículo familiar. Para a velocidade inicial de 60 km/h, considerou-se a velocidade de embate de 42 km/h, sendo que a distância de projecção é de 12 metros. Para a velocidade inicial de 70 km/h, considerou-se a velocidade de embate de 61 km/h, sendo que a distância de projecção determinada é de 24 metros. Por fim, a projecção de 40 metros resultou da velocidade de embate de 77 km/h, relativa à velocidade inicial de 80 km/h. O atropelamento aqui simulado, correlaciona-se corretamente com os resultados quando se utilizam métodos clássicos. As distâncias de projecção também se encontram representadas na Fig. 5 (através de estrelas).



**Fig. 6. Trajetórias e distâncias de projecção do peão para as velocidades de embate do exemplo da Fig. 5, respetivamente 42, 61 e 77 km/h.**

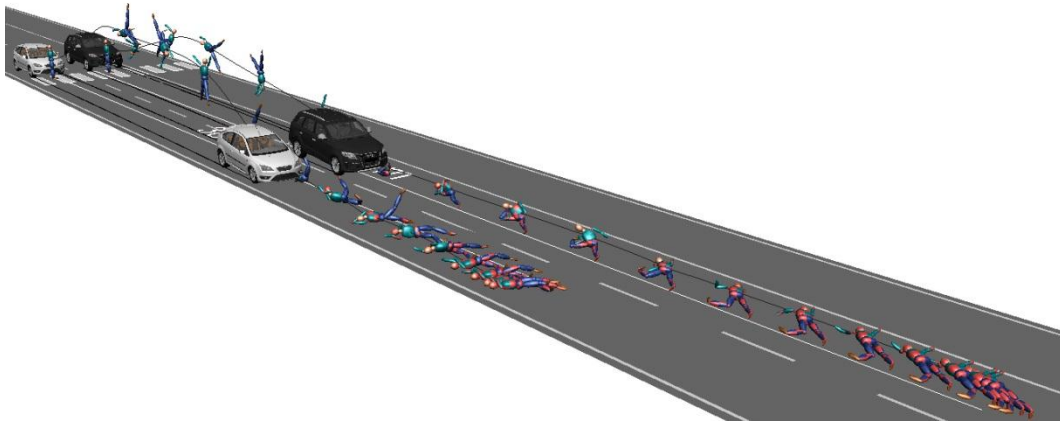
O risco de morte do peão nas três situações pode ser determinado, sendo nulo, de 15% e de 95%, respetivamente, provando-se assim a estreita relação entre velocidade e risco de morte ou ferimentos graves. As simulações computacionais permitem exportar o perfil de acelerações do modelo de peão permitindo a determinação de índices biomecânicos que se correlacionam com as suas lesões. As lesões decorrentes das acelerações lineares a que a cabeça está sujeita em determinados intervalos de tempo podem ser quantificadas com recurso ao critério de ferimento na cabeça, o HIC (Head Injury Criterion). Este critério biomecânico é descrito pela Eq. (1):

$$HIC_{15} = \max \left[ \frac{1}{t_2 - t_1} \int_{t_1}^{t_2} a(t) dt \right]^{2.5} (t_2 - t_1) \quad (1)$$

em que  $a(t)$  é a resultante da aceleração linear na cabeça,  $t_2 - t_1$  é o intervalo de tempo que maximiza o HIC, sendo que este intervalo deve ser menor ou igual a 15 milissegundos. O limite máximo para o HIC é de 1000, uma vez que a partir deste valor são esperadas lesões graves e permanentes, e muito provavelmente a morte. O HIC foi calculado para as simulações da Fig. 6 e obtiveram-se os resultados de 184, 304 e 1121, que validam os riscos de morte indicados anteriormente.

### ***Influência do Veículo***

Na secção anterior verificou-se a influência da velocidade de embate na gravidade do atropelamento. Já foi apontado que a geometria do veículo, assim como as características do peão, também são determinantes para a dinâmica do atropelamento e consequente gravidade das lesões. Considerem-se dois veículos de categorias diferentes, um familiar e um todo-o-terreno (ou um SUV) que circulam à mesma velocidade, 75 km/h. Ambos os condutores travam quando atropelam o peão. A Fig. 7 mostra as diferenças nas trajetórias e nas distâncias de projeção dos peões, a distância de projeção do peão atropelado pelo veículo familiar é de 38 metros, enquanto que o peão atropelado pelo todo-o-terreno é projetado a 49 metros. A trajetória do peão também é substancialmente diferente, sendo que o veículo familiar eleva mais o peão enquanto que o todo-o-terreno impulsiona o peão para a frente.



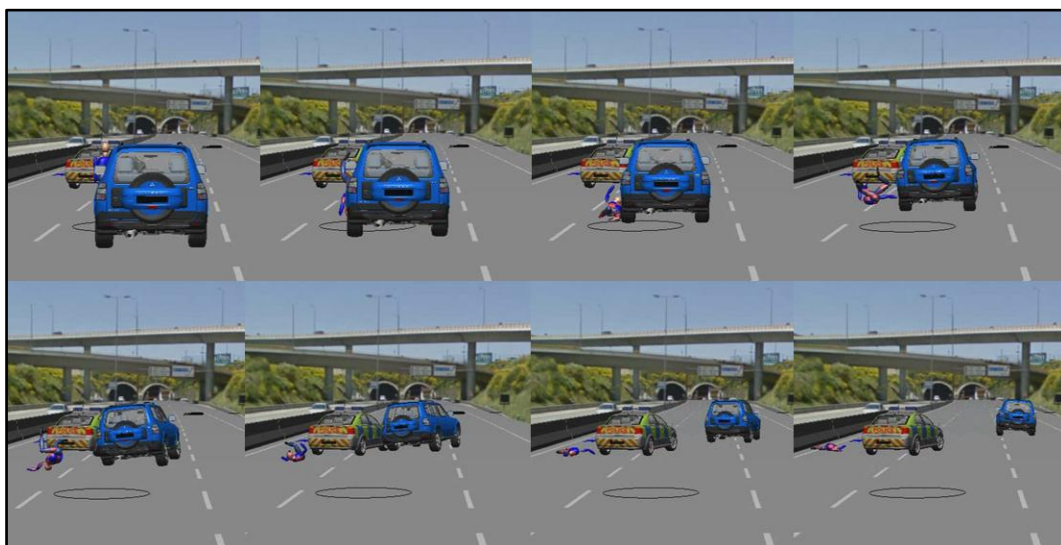
**Fig. 7. Trajetórias e distâncias de projeção do peão considerando três geometrias de veículos.**

### ***Estudo de Atropelamentos Reais***

No estudo de atropelamentos reais, onde a conjugação de toda a informação deve ser considerada na análise, como as características da via (coeficiente de atrito, inclinações, curvatura, elementos físicos, marcas de travagem e/ou derrapagem ou os vestígios resultantes do atropelamento), as condições meteorológicas, as características técnicas do veículo e morfológicas do peão, torna-se imperativo recorrer a ferramentas computacionais especializadas na reconstituição de acidentes rodoviários, como é o caso do PC-Crash [18]. Reunindo toda a informação disponível torna-se possível simular os cenários indicados por eventuais testemunhas, apurando qual o cenário mais próximo da realidade e refutando os cenários desprovidos de significado físico. As variáveis normalmente importantes para a decisão judicial prende-se com o apuramento da dinâmica do atropelamento, da velocidade de embate do veículo e a localização do peão na via, se existirem rastros de travagem ou indícios de que houve travagem, também se determina a velocidade de circulação anterior ao início da mesma.

Na Fig. 8 apresentam-se alguns fotogramas da simulação de um atropelamento que ocorreu em autoestrada, com inclinação da via. Pelas deformações do veículo verificou-se que o atropelamento foi tangencial sendo determinado o ponto de impacto (determinou-se que o veículo circulava na via de trânsito central) e a velocidade de embate no peão (73 km/h). No estudo ainda se simulou computacionalmente a posterior colisão com um veículo imobilizado na via sendo consideradas as posições de imobilização quer do peão quer do veículo.

Os fotogramas da Fig. 9 mostram a simulação de um atropelamento dentro de uma localidade. Neste atropelamento pretendia-se determinar a posição do peão na via e a velocidade de embate a que o veículo circulava. Aquando do impacto inicial entre o veículo e o peão, este encontrava-se deitado junto à linha que separa ambas as vias de circulação, provavelmente devido ao elevado estado de embriaguez. No instante em que o veículo colidiu com o peão circulava com uma velocidade de 40 km/h, e não se terá apercebido do peão caído na via, devido às condições meteorológicas adversas, à fraca iluminação do local e ao facto de também o condutor ter uma taxa de alcoolemia acima do permitido.



**Fig. 8. Simulação computacional de atropelamento tangencial em autoestrada.**



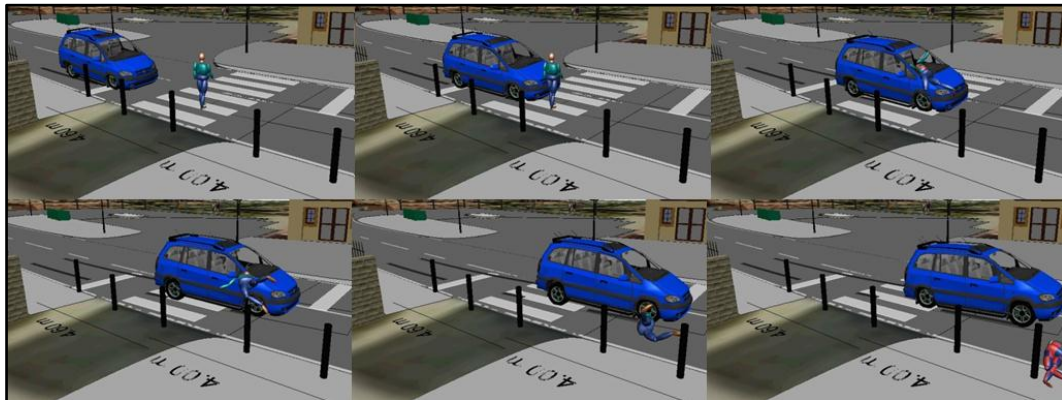
**Fig. 9. Simulação computacional de atropelamento com peão caído na via.**

No último atropelamento aqui apresentado, pretendia-se a simulação de diversos cenários indicados por várias testemunhas, sendo que o resultado final da simulação computacional que teve em consideração todos os relatos, as lesões do peão são as apresentadas na Fig. 10. Assim, determinou-se que o peão atravessou a via na passagem de peões, que o condutor terá reagido, travando antes de atropelar o peão, que a velocidade de embate foi de 29 km/h e que a distância de projeção do peão foi de aproximadamente cinco metros. O atropelamento foi tangencial e o veículo deslocou-se cerca de 4.5 metros após atropelar o peão.

### 3 CONCLUSÕES

A investigação de atropelamentos complexos deve ser realizada com recurso à reconstituição científica de acidentes, pois os métodos clássicos só podem ser utilizados em condições bem definidas e não têm em consideração diversas variáveis. A mais-valia destes estudos é o apuramento de responsabilidades, nomeadamente, a determinação da velocidade do veículo atropelante e o local onde o peão foi atropelado e de toda a dinâmica do acidente, correlacionando as posições finais do veículo e do peão, os rastros de travagem, as lesões do peão e as provas recolhidas no local do acidente. Neste trabalho evidencia-se ainda a influência das características do veículo e do peão e da velocidade de embate do veículo atropelante.





**Fig. 10. Simulação computacional de atropelamento para a determinação da posição de atravessamento.**

Três atropelamentos investigados pelos autores são apresentados resumidamente, onde apenas a utilização de software especializado na reconstituição de acidentes rodoviários, o PC-Crash, conjugado com toda a informação disponível possibilitou o apuramento da velocidade de embate do veículo e a localização do peão na via.

#### **4 REFERÊNCIAS**

1. Road safety evolution in EU. CARE - Community database on Accidents on the Roads in Europe. Base de dados da Comissão Europeia sobre acidentes de viação. Março de 2012.
2. Ministério da Administração Interna, Autoridade Nacional de Segurança Rodoviária, “Observatório da Segurança Rodoviária – Vítimas a 30 dias”, Relatório Anual 2011, 2011.
3. J. Yang, Crash Analysis – The Pedestrian Accident Reconstruction, Chalmers University of Technology, Göteborg, Sweden, 2002.
4. M.T. Silva, J.C. Ambrósio, “Pedestrian Impact and Run Over Using a Multibody Simulation Tool”, International Journal of Crashworthiness, Vol. 4(3), pp. 261-271, 1999.
5. M.T. Silva, J.C. Ambrósio, M.S.Pereira, “Biomechanical Model with Joint Resistance for Impact Simulation”, Multibody System Dynamics, Vol. 1, pp. 65-84, 1997.
6. P.M. Lima, R.F. Portal, J.P. Dias, “Modelos Biomecânicos Simplificados Baseados na Dinâmica de Sistemas de Corpos Múltiplos para a Reconstituição de Acidentes com Atropelamento”. Congresso de Métodos Numéricos em Ingeniería. Granada, Espanha, 4 e 7 de Julho de 2005.
7. P.M. Lima, R.F. Portal, J.P. Dias, “Models for Pedestrian Accident Reconstruction”. II International Conference On Computational Bioengineering. H. Rodrigues et al. (Eds.). Lisboa, Portugal, 14 a 16 de setembro de 2005.
8. R.F. Portal, J.P. Dias. “Multibody Models For Vehicle Accident Reconstruction”. ECCM 2006 – III European Conference on Computational Mechanics – Solids, Structures and Coupled Problems in Engineering. C.A. Mota Soares et al. (eds.). Lisboa, Portugal, 5 a 8 de junho de 2006.
9. A.C. Freitas, R.F. Portal, J.P. Dias, “Simulação de atropelamentos com base na teoria dos elementos finitos e da dinâmica de corpos múltiplos para avaliação de lesões e distâncias de projecção”, CMNE/CILAMCE 2007, Page 74, Porto, Portugal, 13 a 15 de junho de 2007.
10. J.P. Dias, R.F. Portal, A.C. Freitas, “Causas da sinistralidade pedonal em Portugal e medidas para a sua redução”. V Congresso Rodoviário Português. Estrada 2008 – Sistemas Inteligentes, Logística e Turismo. Centro de Congressos do Estoril, Estoril, Portugal. 12 a 14 de março de 2008.
11. P.E. Nikraves, Computer Aided Analysis of Mechanical Systems, Prentice-Hall, Englewood Cliffs, NJ, 1988.

12. R.F. Portal, J.P. Dias, “Road Accident Reconstruction Based on Multibody Dynamics”. *Multibody Dynamics 2007 - ECCOMAS Thematic Conference*. C.I. Bottasso, P. Masarati, I. Trainelli (eds.). Milão, Itália. 25 a 28 de junho de 2007. Pág. 285.
13. R.F. Portal, J.P. Dias, “Modelos de Corpos Múltiplos para a Reconstituição de Acidentes Rodoviários”. *Conferência Nacional de Dinâmica de Sistemas Multicorpo – DSM2007*. Paulo Flores e Miguel Silva (eds.). Departamento de Engenharia Mecânica, Universidade do Minho. Guimarães, Portugal, Pág. 165-172. 6 e 7 de dezembro de 2007.
14. R.F. Portal, J.P. Dias, “Multibody Dynamics Methodologies for Road Accidents”, 8th World Congress on Computational Mechanics (WCCM8) and 5th European Congress on Computational Methods in Applied Sciences and Engineering (ECCOMAS 2008). B.A. Schrefler e U. Perego (eds.). Veneza, Itália. 30 de junho a 5 de julho de 2008.
15. R.F. Portal, L. Sousa e J.P. Dias, Contact Detection between Convex Superquadric Surfaces. *The Archive of Mechanical Engineering*, Vol. 77, No. 2, pp. 165-186, 2010.
16. R.F. Portal, L. Sousa e J.P. Dias, “Contact Detection between Convex Superquadric Surfaces on Multibody Dynamics”. *Multibody Dynamics 2009 - ECCOMAS Thematic Conference*. Varsóvia, Polónia. 29 de junho a 2 de julho de 2009.
17. R.F. Portal, L. Sousa e J.P. Dias, Contact Detection between Convex Superquadric Using Optimization Techniques. 8th World Congress on Structural and Multidisciplinary Optimization (WCSMO-8). Lisboa, Portugal, 1 a 5 de junho de 2009.
18. S. Datentechnik, PC-Crash: A Simulation program for Vehicle Accidents. Technical Manual, Version 9.1, Linz, Austria, 2012.
19. TNO, Madymo v6.2 Theory Manual, Delft, 2004.
20. J.J. Eubanks e W.R.R. Haight, “Pedestrian Involved Traffic Collision Reconstruction Methodology”. *Society of Automotive Engineer. Paper 921591*, (1992).
21. D.P. Wood, C.K. Simms, D.G. Walsh, “Vehicle-pedestrian collisions: validated models for pedestrian impact and projection”, *Proc. IMechE. Vol. 219 D: J. Automotive Engineering*, 2005.
22. I. Han, R. Brach, “Throw model for frontal pedestrian collisions”, *SAE. 2001-01-0898*, 2001.
23. D.N. Schmidt, D.A. Nagel, “Pedestrian Impact Case Study”, *Proceedings of 15th Conference Association for Automotive Medicine*, 1971.
24. G. Stcherbatcheff *et al.*, “Simulations of Collisions between Pedestrian and Vehicles using Adult and Child Dummies”, *SAE 751167*, 1975.
25. J.C. Collins, J.L. Morris, “Highway Collision Analysis”, *Thomas Publishing*, 1979.
26. J.A. Searle A. Searle, “The trajectories of pedestrians, motorcycles, motorcyclists, etc., following a road accident”, *SAE 831622*, 1983.
27. D.P. Wood, C.K. Simms, “Confidence limits for impact speed estimation from pedestrian projection distance”, *International Journal of Crashworthiness*, Vol. 9(2), pp. 219-228, 2004.
28. L.B. Ficke, “Vehicle-Pedestrian Accident Reconstruction”, *Northwestern University traffic Institute, Topic 877 and Traffic Reconstruction Vol. 2*, 1990.
29. P.M. Lima e J.P. Dias, VEDP – Uma Ferramenta Computacional para a Determinação da Velocidade de Embate a partir da Distância de Projeção em Atropelamento, Relatório IDMEC 264/3, 2005.
30. R.F. Portal, P. Lima e J.P. Dias, “A influência da velocidade e do tipo de veículo nas consequências de um atropelamento”, relatório IDMEC/IST 264/09.1, Projetos PARA/MRRA, 2005.