

GRAVIDADE DAS CONSEQUÊNCIAS ASSOCIADAS À COLISÃO COM BARREIRAS DE SEGURANÇA. ASPETOS RELEVANTES PARA AS RESPECTIVAS NORMAS DE DESEMPENHO.

*Carlos Roque (autor correspondente)*¹, João Lourenço Cardoso²

¹ M.Sc., Ph.D., Laboratório Nacional de Engenharia Civil, Departamento de Transportes. Núcleo de Planeamento, Tráfego e Segurança, Av do Brasil 101, 1700-066 Lisboa, Portugal, email: croque@lnec.pt

² Eng.º Civil, Ph.D., Habil., Laboratório Nacional de Engenharia Civil, Departamento de Transportes. Núcleo de Planeamento, Tráfego e Segurança, Av do Brasil 101, 1700-066 Lisboa, Portugal

Sumário

Os sistemas de retenção de veículos são utilizados para proteger os ocupantes dos veículos desgovernados do embate em obstáculos perigosos ou noutros veículos que circulem na faixa de rodagem de sentido contrária. A norma EN 1317 resulta da investigação realizada na Europa ao longo de vários anos e que permitiu desenvolver uma forma padronizada de caracterizar, ensaiar e avaliar o desempenho destes sistemas. A norma EN 1317 permite a comparação entre sistemas ensaiados sob as mesmas condições e permite obter um referencial para determinar e distinguir o âmbito de aplicação de cada sistema de retenção.

Contudo, o desempenho de uma barreira em caso de choque depende de um conjunto de parâmetros contextuais, nomeadamente o local da respetiva instalação, as condições do solo e considerações ambientais, sendo igualmente importante considerar o ciclo de vida da barreira. Por outro lado, a gravidade dos ferimentos produzidos num acidente depende, fundamentalmente, dos limites de tolerância do ser humano relativamente a forças, desacelerações e tempos da correspondente atuação, bem como da eficácia dos dispositivos de absorção de energia cinética disponibilizados aos utentes rodoviários em caso de colisão.

Os critérios de avaliação da gravidade das consequências são um meio de estimação do potencial de lesão para um ser humano ocupante de um veículo envolvido num acidente rodoviário. No caso das barreiras de segurança, o nível de gravidade do embate está associado exclusivamente ao risco de lesão para os ocupantes do veículo, o qual é estimado a partir de critérios de avaliação baseados no veículo.

Neste âmbito, a análise reportada na presente comunicação permitiu constatar a ausência de estudos capazes de relacionar diretamente as consequências dos acidentes com os aspetos utilizados na norma EN 1317 para avaliação de desempenho dos sistemas de retenção de veículos, no que diz respeito aos níveis de gravidade nela definidos, bem como a ausência de referências na referida norma à gravidade esperada das lesões associadas a cada um destes níveis. Justifica-se assim a adoção de novos indicadores biomecânicos que representem mais fielmente o grau de segurança passiva disponibilizado pelos sistemas de retenção de veículos existentes.

Palavras-chave: Sistemas de retenção de veículos; EN 1317; Nível de gravidade

1 INTRODUÇÃO

Os sistemas de retenção de veículos são equipamentos instalados na estrada para fornecerem um determinado nível de retenção a um veículo descontrolado [1], impedindo que este invada zonas perigosas, sendo atualmente dimensionados para diferentes níveis de funcionamento, os quais são definidos, de acordo com as normas de desempenho em vigor [1, 2], atendendo a três características: a retenção, a gravidade do impacto e a deformabilidade do dispositivo. De acordo com as Normas Europeias EN 1317 [1, 2], podem distinguir-se duas classes de sistemas de retenção rodoviários em função do tipo de elemento a proteger: os de retenção de veículos, objeto de análise neste estudo, e os de retenção para peões. Os primeiros englobam as barreiras de segurança; os muros de guarda para veículos; os amortecedores de choque; e os respetivos terminais e transições. Os sistemas de retenção para peões incluem muros de guarda para peões e guarda-corpos para peões.

As barreiras de segurança são instaladas longitudinalmente ao longo da área adjacente à faixa de rodagem (AAFR), incluindo o separador central de uma estrada, com o objetivo de conter ou, em alternativa, conter e redirecionar veículos desgovernados que saiam da faixa de rodagem, impedindo-os de embater em obstáculos perigosos ou de invadir a faixa contrária. As barreiras de segurança são concebidas unicamente para embates laterais.

Atualmente, as barreiras de segurança instaladas na rede rodoviária são previamente submetidas a ensaios de choque, no âmbito das respetivas homologações à luz das Normas Europeias EN 1317. Esta medida tem permitido uma redução nos valores da gravidade das consequências dos acidentes envolvendo este tipo de equipamento. Apesar disso, é necessário realçar que as condições ideais de instalação e impacto simuladas nas pistas de testes correspondem a conjuntos de características dinâmicas dos embates que raramente se verificam exatamente nos acidentes que ocorrem na rede. Por outro lado, subsistem muitos quilómetros de barreiras antiquadas, colocadas antes da aprovação das atuais normas e que são suscetíveis de serem substituídas ou beneficiadas.

A gravidade dos ferimentos produzidos num acidente depende, fundamentalmente, dos limites de tolerância do ser humano relativamente a forças e desacelerações, e da eficácia dos dispositivos de absorção de energia cinética disponibilizados aos utentes rodoviários em caso de colisão. Podem indicar-se como fatores de risco, entre outros, a velocidade, a presença de álcool ou outras drogas no sangue dos condutores, a ausência ou inoperacionalidade de dispositivos de segurança passiva nos veículos e a presença de obstáculos perigosos na AAFR [3].

A análise reportada na presente comunicação permite constatar a ausência de estudos capazes de relacionar diretamente as consequências dos acidentes com os aspetos utilizados na norma EN 1317 para avaliação de desempenho dos sistemas de retenção de veículos, no que diz respeito aos seus níveis de gravidade, bem como a ausência de referências na referida norma à gravidade esperada das lesões associadas a cada um destes níveis.

2 NORMAS DE DESEMPENHO

Os objetivos das Normas Europeias EN 1317 – “Sistemas de retenção das estradas” [1, 2] são, por um lado, fornecer um sistema comum de teste e informação acerca dos sistemas de retenção das estradas e, por outro, facultar informação clara acerca das características de funcionamento dos sistemas, relevantes quer para o projeto de estradas quer para a previsão da gravidade dos ferimentos nos ocupantes dos veículos que com eles embatam.

Os aspetos utilizados na norma EN 1317 para avaliação de desempenho dos sistemas de retenção de veículos, para definição dos seus limites de aceitação e para identificação das classes técnicas dos mesmos, são o nível de retenção, a deformabilidade, a verificação do comportamento do veículo e o nível de gravidade do embate.

A gravidade do embate é definida como o risco de lesão para os ocupantes do veículo. São utilizadas três variáveis na avaliação deste risco, baseadas essencialmente nas acelerações medidas no centro de gravidade do veículo:

- Índice de gravidade da aceleração (ASI), que representa a relação entre velocidade de uma viatura no momento do impacto e a gravidade de uma possível colisão de um ocupante do veículo, sentado na proximidade de um determinado ponto, com um objeto que aí estivesse. O ASI depende do valor das acelerações durante o embate e do seu tempo de duração.
- Velocidade de impacto da cabeça teórica (THIV), que permite avaliar a gravidade para um ocupante, num cenário de impacto no interior da cabina do veículo. Este indicador serve para avaliar o risco de lesão para um ocupante sem cinto de segurança dentro do veículo.
- Desaceleração pós-impacto da cabeça (PHD), que representa a intensidade da força sobre o ocupante, num cenário em que este está em contacto continuado com a cabina, onde embateu previamente.

Complementarmente é medida a deformação da cabina, através do índice de deformação da cabina do veículo (VCDI). Este índice quantifica de forma normalizada a deformação das superfícies interiores do habitáculo em direção aos ocupantes. Esta redução do espaço do compartimento reservado aos ocupantes do veículo está fortemente relacionada com as lesões por eles sofridas. Assim, o VCDI serve como informação ao decisor técnico, para que este possa conhecer melhor o desempenho do sistema.

Para a avaliação dos aspetos enunciados anteriormente são realizados ensaios de choque com veículos correntes cujas características se encontram dentro de gamas de valores definidos na referida norma. Dependendo da finalidade do sistema, a massa do veículo de ensaio pode variar entre 900 e 38000 kg. Outras características, tal como a altura do centro de gravidade, são especificadas para cada tipo de veículo. A velocidade e o ângulo de embate são igualmente definidos para as diferentes categorias de ensaio e para cada tipo de veículos.

3 CRITÉRIOS DE AVALIAÇÃO DA GRAVIDADE DAS CONSEQUÊNCIAS ASSOCIADAS A ACIDENTES RODOVIÁRIOS

Os critérios de avaliação da gravidade das consequências são um meio de estimação do potencial de lesão para um ser humano ocupante de um veículo envolvido num acidente rodoviário. Existem duas famílias de critérios para avaliação do risco de lesão dos ocupantes de um veículo em caso de acidente (ver Figura 1), consoante o método de medição das solicitações mecânicas envolvidas: critérios de avaliação baseados em dispositivos de ensaio antropomórficos; critérios de avaliação baseados no veículo.

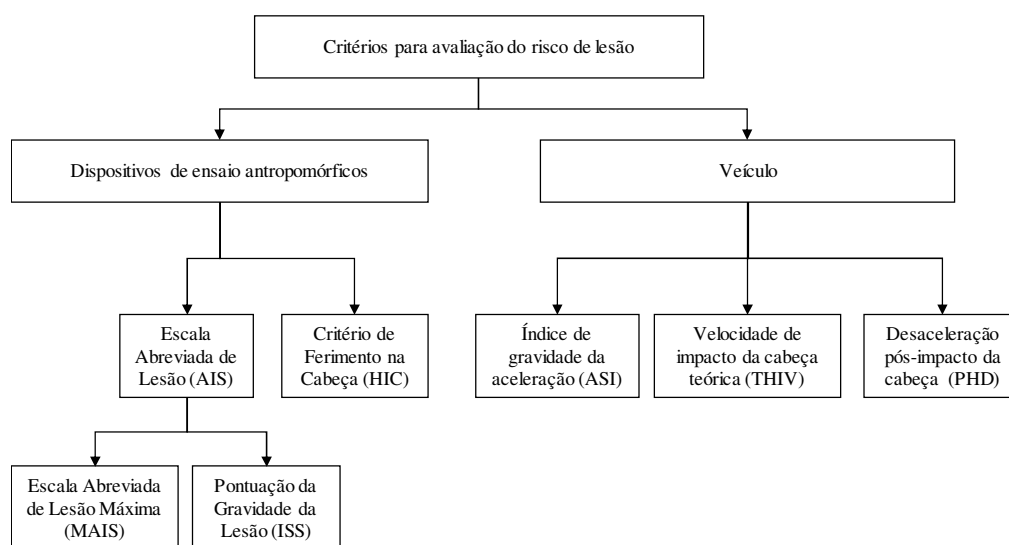


Fig. 1. Critérios para avaliação do risco de lesão dos ocupantes de um veículo em caso de acidente [4].

Um dispositivo de ensaio antropomórfico, ou *crash test dummy*, refere-se a um substituto instrumentado de um ser humano concebido para avaliar o potencial de lesão de forma repetível [5]. Normalmente, o potencial de lesão é avaliado por região do corpo com base na medição de acelerações, deslocamentos, forças e momentos do dispositivo antropomórfico durante o período em que ocorre um acidente. Estes dispositivos são usados principalmente em ensaios de choque de veículos de série em larga escala.

Os critérios de avaliação baseados no veículo, por outro lado, referem-se a indicadores que descrevam o potencial de lesão dos ocupantes com base unicamente na resposta do veículo durante o período em que ocorre um embate. Embora geralmente menos complexos que os critérios de avaliação baseados em dispositivos de ensaio antropomórficos, estes critérios são normalmente mais adequados para utilização em acidentes reais. Estes critérios são utilizados principalmente para avaliação do risco através de ensaios de choque com equipamento de segurança, nomeadamente barreiras de segurança e amortecedores de choque.

3.1 Critérios de avaliação baseados em dispositivos de ensaio antropomórficos

No que diz respeito aos indicadores diretamente associados à gravidade das lesões dos ocupantes, destacam-se três classificações: a Escala Abreviada de Lesão (*Abbreviated Injury Scale - AIS*)¹, a Escala Abreviada de Lesão

¹ O sistema AIS foi criado em 1969 pela “American Association for Automotive Medicine”, tendo sido regularmente revisto desde então, sendo a última revisão de 2015 (<http://www.aaam.org> acedido em 26.12.2018).

Máxima (*Maximum Abbreviated Injury Scale* - MAIS) e a Pontuação da Gravidade da Lesão (*Injury Severity Score* - ISS) [6].

Para aplicação da AIS, o corpo humano é dividido em seis partes (cabeça ou pescoço, face, tórax, abdómen, extremidades e externo, numeradas de 1 a 6, respetivamente) e a cada uma é atribuído um valor que se refere à lesão mais grave para a parte do corpo em questão. A AIS descreve a gravidade das lesões dos ocupantes do veículo, sendo desagregada em seis níveis de gravidade – leve, moderado, grave, muito grave, crítico e virtualmente fatal – numerados de 1 a 6, respetivamente.

A escala MAIS baseia-se na AIS. O valor de MAIS de uma vítima é o maior valor de AIS que ela tem em qualquer uma das seis partes do corpo.

A ISS também é baseada na AIS. O corpo humano é dividido em seis partes e a cada uma destas partes é atribuída uma pontuação de AIS. A ISS é calculada como a soma do quadrado dos valores das três partes do corpo com os valores mais altos de AIS.

Refira-se ainda um indicador de referência utilizado na aferição da gravidade das lesões sofridas por um ocupante de um veículo envolvido num acidente rodoviário: o Critério de Ferimento na Cabeça (*Head Injury Criterion* - HIC). O HIC tem sido utilizado desde há vários anos quer em ensaios de choque (na Europa pela Euro NCAP e nos EUA pela *National Highway Traffic Safety Administration* (NHTSA)) quer na investigação dos critérios de segurança para a AAFR nos EUA. O HIC pode ser calculado pelas equações (1) e (2) [6]:

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

$$a = \sqrt{a_x^2 + a_y^2 + a_z^2} \quad (2)$$

Onde a é a aceleração no centro de gravidade da cabeça (expressa em unidades de aceleração da gravidade, $g=9.81 \text{ ms}^{-2}$), (t) é o tempo histórico de aplicação da aceleração linear no centro de gravidade da cabeça, e t_1 e t_2 são dois valores de tempo particulares que maximizam a expressão.

A NHTSA tem limitado superiormente a separação entre t_1 e t_2 em 36 milissegundos. Por exemplo, com base nessa separação, o valor máximo de HIC_{36} para um dispositivo de ensaio antropomórfico de referência (masculino adulto do percentil 50) é 1000 [6]. Mais recentemente foi criado pela NHTSA o HIC_{15} de 15 milissegundos com um limite correspondente a 700 para o mesmo dispositivo de ensaio antropomórfico. O intervalo de tempo de 15 milissegundos representa um impacto com uma superfície dura e rígida. O HIC_{15} para um dispositivo de ensaio antropomórfico de referência pode ser diretamente correlacionado com o HIC_{36} através da equação (3) [7].

$$HIC_{15} = 0.7 HIC_{36} \quad (3)$$

O HIC mede a desaceleração que atua sobre a cabeça dos ocupantes de um veículo. Em colisões frontais, os valores de HIC_{36} não inferiores a 200 traduzem-se em risco de lesão significativa para o ocupante do veículo. As lesões graves ou o óbito estão associadas a $HIC_{36} \geq 1000$. No caso de impactos laterais, os valores de HIC para níveis de lesão semelhantes são significativamente inferiores, embora ainda não se encontrem quantificados [8].

3.2 Critérios de avaliação baseados no veículo

Como já referido na secção 2, a gravidade do embate pode ser definida em função do grau de lesão para os ocupantes do veículo, sendo na norma EN 1317 [1, 2] utilizadas as quatro variáveis descritas na secção 2 para a descrever.

O indicador ASI é calculado em função dos valores limites de aceleração aceitáveis para o Ser Humano durante um intervalo de tempo de 50 milissegundos, mediante a seguinte equação (4):

$$ASI(t) = \left[\left(\frac{\bar{a}_x}{\hat{a}_x} \right)^2 + \left(\frac{\bar{a}_y}{\hat{a}_y} \right)^2 + \left(\frac{\bar{a}_z}{\hat{a}_z} \right)^2 \right]^{\frac{1}{2}} \quad (4)$$

Onde a_x , a_y e a_z e são as componentes de aceleração média do veículo durante um intervalo de tempo de 50 milissegundos e \hat{a}_x , \hat{a}_y e \hat{a}_z são os valores limites de aceleração segundo cada eixo cartesiano do espaço tridimensional. Os valores limites de aceleração² são de 12 g, 9 g, e 10 g para as componentes longitudinal (x), transversal (y) e vertical (z), respetivamente.

Uma vez que no ASI se utilizam apenas as acelerações do veículo, pressupõe-se que o ocupante está continuamente em contacto solidário com o veículo (o que normalmente acontece através do uso de cinto de segurança). O valor máximo de ASI ao longo do período de aceleração do veículo fornece uma dimensão da gravidade da colisão, que se presume ser proporcional ao risco para o ocupante do veículo. O valor de ASI para uma determinada aceleração do impulso de embate é comparado com os valores limite previamente estabelecidos, com o objetivo de fornecer uma avaliação do potencial de dano para o ocupante do veículo.

É de destacar que na última revisão da norma EN 1317 [1, 2] são previstos três níveis de gravidade do embate em função do ASI (adicionando o nível de gravidade C aos já existentes A e B), não sendo feita qualquer referência à gravidade esperada das lesões associadas a cada um destes valores, nem aos fundamentos teóricos que nortearam o estabelecimento destes valores-limite dos índices para cada nível de gravidade.

O indicador THIV permite avaliar a gravidade das lesões num ocupante, resultantes do impacto da viatura: considera-se a cabeça do ocupante como um objeto com possibilidade de movimento livre que, à medida que a velocidade da viatura diminui durante o impacto com um obstáculo, continua a mover-se até embater no interior do habitáculo, com uma determinada velocidade que corresponde àquele critério. Deste modo, o THIV é um indicador do risco de lesão para um ocupante sem cinto de segurança, no qual se procura representar o movimento da sua cabeça.

Por último, as condições para o cálculo da PHD correspondem à continuação do cenário descrito para o cálculo do THIV: admite-se que após o impacto da cabeça com o interior do habitáculo esta fica em contacto com a superfície embatida e que, por isso, a partir desse momento, é sujeita às mesmas desacelerações que o habitáculo. Assim, na altura em que o THIV é calculado, as desacelerações do veículo são supervisionadas, sendo registados os valores máximos da aceleração lateral e longitudinal do veículo. Com o PHD pretende-se medir a intensidade da força sobre o ocupante na fase do choque em que este já está em contacto com a cabina e outra vez solidário com o veículo.

Para garantir a adequada proteção dos ocupantes, o THIV e PHD são comparados com valores-limite previamente estabelecidos. Presentemente, o limite de THIV é 33 km/h e o de PHD é 20 g [1, 2].

É ainda de referir o mais antigo e simples indicador da gravidade de uma colisão, Delta-V, o qual corresponde à variação total da velocidade do veículo (medida no seu centro de gravidade) durante o período em que ocorre um embate (ver Figura 2). De acordo com Gabauer [5], este é o indicador mais utilizado em bases de dados de acidentes e é geralmente estimado utilizando dados dos danos no veículo na fase pós-acidente em conjunto com programas informáticos de reconstituição de acidentes, tais como o WinSmash, o PC-Crash ou o HVE. Assume-se que a maior variação da velocidade corresponde uma maior probabilidade de lesão para os ocupantes do veículo.

²Expressos em múltiplos de $g = 9,81 \text{ ms}^{-2}$

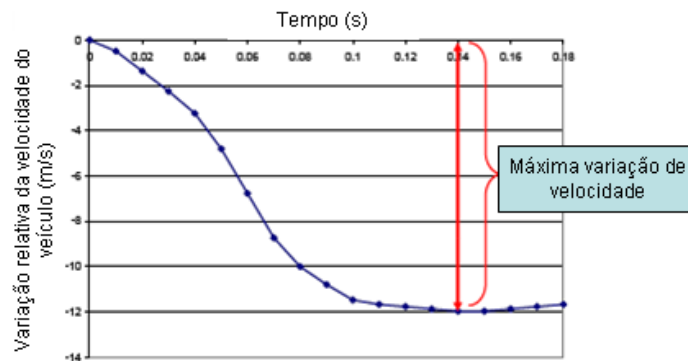


Fig. 2. Cálculo de Delta-V (adaptado de [5]).

4 RELAÇÃO ENTRE CRITÉRIOS DE AVALIAÇÃO

Podem realizar-se ensaios de choque em dois elementos do sistema rodoviário, veículo e infraestrutura, com o objetivo de avaliar o potencial de dano físico para o terceiro elemento do sistema (elemento humano) em caso de acidente.

Nos ensaios de choque realizados aos sistemas de retenção de veículos, o risco de lesão para os ocupantes de um veículo deveria, idealmente, ser avaliado através de um dispositivo de ensaio antropomórfico instrumentado. Contudo, várias considerações de ordem prática levaram a que as autoridades responsáveis por esta matéria tenham vindo a evitar essa opção. Os ensaios de choque destes sistemas são complexos e devem conter uma avaliação estrutural do sistema de retenção, para além da do potencial de lesão dos ocupantes, e condições padrão diversificadas. Por exemplo, no caso das barreiras de segurança os ensaios de choque são realizados a velocidades elevadas e com pequenos ângulos de embate (inferiores a 30°). Para além disso, estes dispositivos são normalmente testados em solo natural, o que pode dificultar seriamente a repetibilidade do ensaio com *dummies*. Um veículo que embata num destes dispositivos irá provavelmente percorrer uma superfície bastante irregular capaz de colocar um *dummy* fora da sua posição, inviabilizando a repetibilidade do ensaio. O uso deste tipo de equipamentos onera consideravelmente os ensaios de choque, e o rigor das medições introduz um grau de variabilidade adicional, com obtenção de valores significativamente diferentes para as mesmas condições de ensaio, em função do modelo do veículo usado. Estas dificuldades conduziram ao desenvolvimento de métodos simplificados de modelação dos mecanismos de lesão, como o ASI anteriormente descrito, apenas exigindo medições da cinemática do veículo, e nos quais se prevê indiretamente o risco para os ocupantes das viaturas.

A realização de ensaios de choque sob condições padronizadas é o método mais comum de avaliação de segurança quer em veículos quer no equipamento de segurança presente na AAFR. Partindo de critérios de avaliação distintos, procura-se, em qualquer dos casos, avaliar o potencial de lesão para os ocupantes dos veículos.

Porém, pouco se sabe quanto à forma como os vários critérios de avaliação se relacionam entre si. Em alguns casos a relação entre aqueles critérios apresenta evidentes discrepâncias. Por exemplo, os dispositivos de ensaio antropomórficos utilizados em ensaios de choque de veículos são concebidos, nomeadamente, para avaliar o desempenho dos sistemas de segurança passiva, tais como cintos de segurança e *airbags*, em termos de lesão para os ocupantes do veículo. Contudo, já nos ensaios de equipamento da estrada, no THIV e na PHD assume-se que o ocupante tem possibilidade de movimento livre, ou seja, não usa cinto de segurança nem dispõe de *airbag*. Isto representa, na prática, aquele que será o pior cenário possível de segurança passiva típico do início dos anos 1980, quando surgiu este tipo de indicadores (como o *Flail Space Model*). Refira-se que, nessa época, as taxas de utilização de cintos eram bastante reduzidas (nos EUA eram de aproximadamente 11% [4]) e os *airbags* tinham uma escassa taxa de penetração no mercado. Contudo, desde a década de 1990 que, na Europa e na América do Norte, os *airbags* são equipamento de série em qualquer veículo novo e a utilização do cinto de segurança encontra-se generalizada, pelo que se justifica a adoção de outro tipo de indicadores, representando mais fielmente o grau de segurança passiva disponibilizado presentemente.

4.1 Relação entre ASI e HIC

O ASI é utilizado de forma generalizada em toda a Europa para avaliar o potencial de lesão dos ocupantes nos ensaios de choque à escala real envolvendo sistemas de retenção de veículos. Apesar disso, são diminutas as referências à investigação feita, visando relacionar este indicador com as lesões dos ocupantes em choques reais.

Um dos estudos mais relevantes nesta matéria foi desenvolvido por Shojaati [8] e analisa a correlação entre o ASI e o risco de lesão dos ocupantes de um veículo através do HIC.

Como já referido, o ASI é determinado com base nas desacelerações medidas no centro de gravidade de um veículo. Por outro lado, o HIC descreve a gravidade da lesão, com base nas acelerações atuantes sobre o ocupante de um veículo, partindo do princípio que existe impacto da sua cabeça contra o interior do respetivo habitáculo. É de destacar que, na realidade, se assume que este ocupante não está rigidamente ligado à estrutura do veículo. Fatores como a rigidez e dimensão do veículo, a plasticidade dos assentos ou a folga no cinto de segurança originam diferenças entre as acelerações do centro de gravidade do veículo e as dos seus ocupantes.

No âmbito do referido estudo [8] foram realizados nove ensaios de choque laterais com um *dummy* Hybrid III, optando-se por medir o ASI e a partir deste indicador determinar o HIC.

Os resultados obtidos sugerem uma relação exponencial entre o HIC e o ASI. Para valores de ASI inferiores a 1.0, o valor do HIC é inferior a 100. Para valores de ASI entre 1.5 e 2.0 os valores estimados para HIC situaram-se entre 350 e 1000 (ver Figura 3). Devido ao número limitado de ensaios realizados, a correlação entre ASI e HIC foi apurada de forma apenas aproximada.

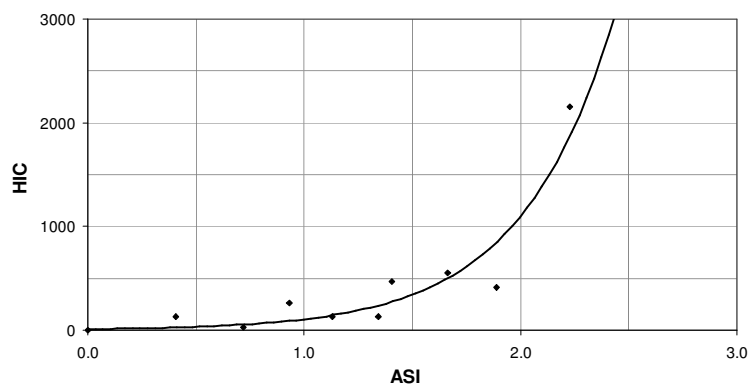


Fig. 3. Relação entre ASI e HIC segundo Shojaati (adaptado de [8]).

4.2 Relação entre ASI e AIS

Nos EUA, Gabauer e Gabler [9] analisaram 138 colisões frontais com equipamento de segurança presente na AAFR, tendo classificado os resultados das lesões utilizando a AIS. Para esse efeito foram instalados *gravadores de dados de eventos* (Event Data Recorders - EDR) num conjunto de veículos recentes (com *airbag* e cintos de segurança), permitindo uma abordagem mais rigorosa do que a tradicional na avaliação do risco de lesão para os ocupantes baseado no ASI. Estes gravadores registam eletronicamente dados, tais como, a velocidade do veículo, o estado de acionamento dos travões e a posição do acelerador pouco tempo antes e durante o acidente. De particular interesse para o estudo realizado foi a capacidade destes equipamentos para documentar a variação da velocidade de um veículo durante uma colisão.

Para investigar os valores limite em termos de lesões globais, os valores de MAIS foram obtidos em função do ASI longitudinal. A Figura 4 mostra um gráfico referente a uma amostra com 120 observações (colisões do tipo frontal), com os limites recomendados e máximos admissíveis de ASI (1,0 e 1,4, respetivamente) representados como linhas verticais tracejadas. Partindo do princípio que o ASI é proporcional à lesão dos ocupantes, deverá ocorrer um maior número de ferimentos mais graves para valores maiores de ASI, sendo de esperar que a maioria dos pontos se orientem ao longo de uma banda diagonal partindo da origem até ao canto superior direito do gráfico.

Observando a Figura 4, verifica-se que a dispersão dos dados dissimula a tendência crescente da referida diagonal. No entanto, os valores medianos para cada valor de AIS demonstram uma tendência linear crescente que sugere que o ASI é, pelo menos, indicativo da lesão nos ocupantes para o caso de colisão frontal. Para os níveis MAIS 0, 1, 2 e 3, os valores medianos para o conjunto de dados analisado são, respectivamente, 0,63, 0,83, 1,13 e 1,44 [10]. A comparação destes valores com os limites de ASI estabelecidos (1,0 e 1,4) aponta para a razoabilidade dos atuais limiares de ASI. Com base nos dados disponíveis, verifica-se que o valor médio de ASI, para o nível de dano MAIS 3 (lesão grave) é aproximadamente igual ao valor máximo de ASI considerado na norma EN1317 em vigor (na mais recente proposta de revisão o limite passou para 1,9 [2]).

A Figura 4 apresenta ainda a frequência acumulada de lesão máxima em função do ASI longitudinal (as frequências acumuladas foram ponderadas para se ajustarem à escala AIS). Cerca de 25% das ocorrências de "ferimentos leves, caso existam" (MAIS \leq 1), ocorrem para valores acima do limite recomendado de ASI. Os restantes 75% ficam abaixo desse limite, indicando que o limite é razoável. Porém, cerca de 35% dos "ferimentos graves" (MAIS > 1) ocorrem abaixo do valor limite recomendado. Em termos do limiar máximo, cerca de metade das lesões mais graves (MAIS > 1) fica acima do limite máximo, enquanto 90 % dos "ferimentos leves, caso existam" (MAIS \leq 1) ocorrem abaixo desse limite. São necessários mais casos de gravidade superior para aprofundar o conhecimento acerca do nível da lesão que corresponde a valores de ASI superiores ao limite máximo estabelecido (1.4).

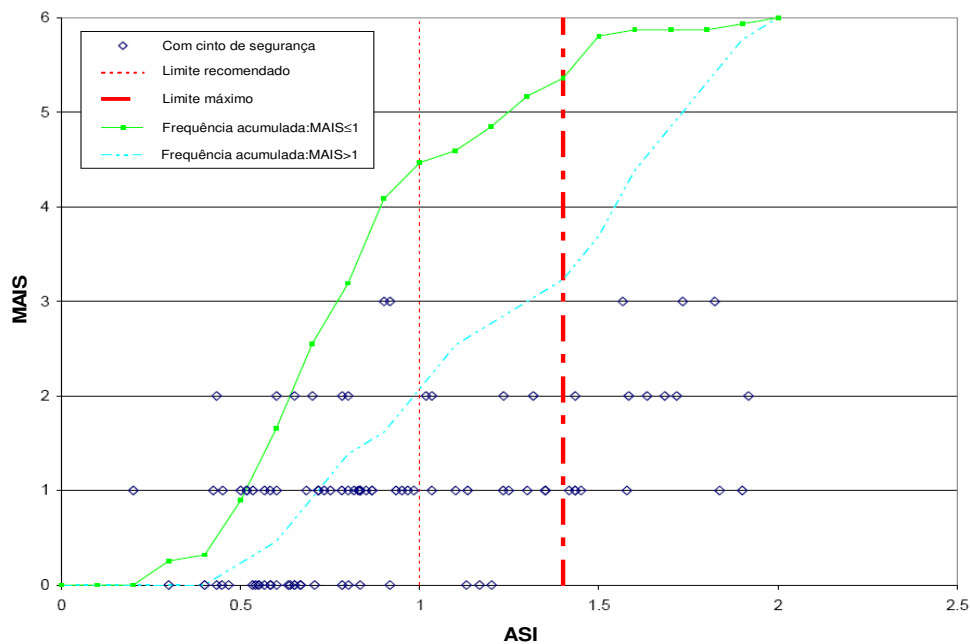


Fig. 4. Relação entre ASI longitudinal e MAIS num embate frontal (adaptado de [9]).

O mesmo estudo aponta para que 80% das lesões torácicas ligeiras ocorram para valores de ASI abaixo do limite máximo atual de 1,4.

Este estudo reveste-se de particular importância uma vez que fornece uma primeira indicação da relação entre o ASI e os ferimentos nos ocupantes de um veículo com *airbag* e cintos de segurança colocados, tendo sido desenvolvida e testada na prática uma metodologia para realização de estudos futuros. Este estudo permitiu ainda concluir que o ASI é um bom indicador das lesões para os ocupantes com cinto de segurança de veículos equipados com *airbag* envolvidos em colisões frontais, pelo menos dentro dos limites de ASI pré-estabelecidos. Constatou-se que os dados disponíveis confirmam a noção de que o limite preferencial de 1,0 corresponde a "ferimentos leves, caso existam" (ou seja, lesões classificadas como AIS 0 ou AIS 1) e que os mesmos apontam para uma probabilidade de 80 % de lesões MAIS 0 ou MAIS 1, em caso de ocorrência de um ASI de 1,0.

4.3 Relação entre HIC e AIS

Shojaati [8] cita um estudo de Prasad e Mertz³ que, tendo como base um conjunto de experiências pós-morte (com cadáveres), desenvolveu uma correlação entre HIC e AIS (ver Figura 5). É de referir que a correlação encontrada se baseia unicamente em ensaios de choque frontais.

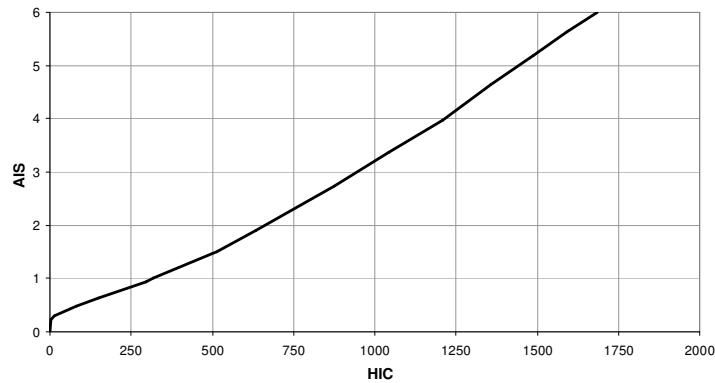


Fig. 5. Relação entre HIC e AIS (adaptado de [8]).

4.4 Relação entre HIC e MAIS

Mais recentemente, Prasad *et al.*⁴ (citado em [7]) estimaram o risco de lesões na cabeça como função de HIC_{15} . O intervalo de 15 milissegundos representa um impacto contra uma superfície rígida. Posteriormente a NHTSA expandiu a designada “curva Prasad/Mertz” com o objetivo de incluir outros níveis de AIS (ver Figura 6 relativa a dispositivo de ensaio antropomórfico masculino adulto do percentil 50).

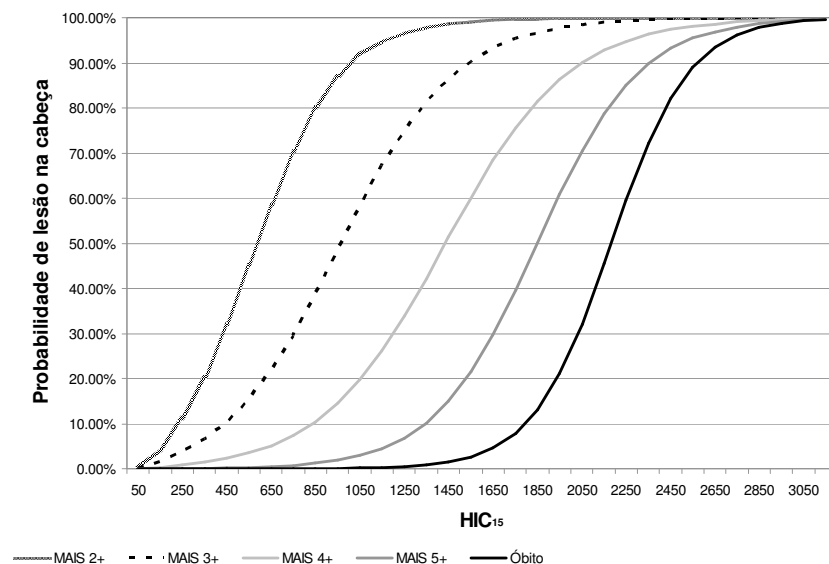


Fig. 6. Probabilidade de lesão na cabeça em função do HIC_{15} (adaptado de [7]).

³ P. Prasad and H. Mertz (1982). The position of the United States delegation to the ISO working group 6b on the use of HIC in the automotive environment. SAE Paper 821246.

⁴ Mertz, H.J.; Prasad, P.; and Irwin, N.L. (1997). Injury risk curves for children and adults in frontal and rear collisions (SAE 973318). Proceedings of the 41st Stapp Car Crash Conference (P-315), 13-30. Warrendale, PA: Society of Automotive Engineers.

5 CONCLUSÕES

As barreiras de segurança instaladas na rede rodoviária são consideradas como material de construção, obrigando à marcação CE, o que obriga a que sejam previamente submetidas a ensaios de choque, no âmbito das respetivas homologações à luz das normas CEN relevantes. Esta medida tem permitido uma redução nos valores da gravidade das consequências dos acidentes envolvendo este tipo de equipamento.

No entanto, não foram identificados quaisquer estudos destinados a avaliar o efeito das características funcionais definidas na norma EN1317 sobre a sinistralidade, capazes de contribuir para o apuramento do efeito médio dessas intervenções. Verifica-se assim uma grande incerteza no que diz respeito às relações entre as características funcionais das barreiras de segurança (por exemplo, a gravidade do embate e os níveis de retenção), tal como se encontram definidas nas normas de desempenho em vigor.

Para estimar os efeitos das barreiras de segurança na gravidade da sinistralidade, é importante recolher dados hospitalares relativos às lesões em acidentes rodoviários (usando uma escala padronizada de lesão). A recolha sistemática destes dados (designadamente no âmbito da definição de ferido grave recentemente alterada pela Comissão Europeia, associando-a ao critério MAIS) permitirá, por um lado, uma melhor representação dos mecanismos de lesão relevantes neste tipo de colisão e, por outro, o desenvolvimento de modelos capazes de relacionar os diferentes tipos de acidentes com a gravidade das lesões nos ocupantes dos veículos envolvidos. Justifica-se igualmente a adoção de novos indicadores biomecânicos que representem mais fielmente o grau de segurança passiva disponibilizado pelos sistemas de retenção de veículos existentes.

6 AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem o apoio financeiro fornecido pela Fundação para a Ciência e a Tecnologia (FCT) através da Bolsa de Pós-doutoramento atribuída a Carlos Roque, com a referência SFRH/BPD/118499/2016.

7 REFERÊNCIAS

- 1 European Committee for Standardization. EN 1317-1 Road Restraint Systems — Part 1: Terminology and General Criteria for Test Methods. CEN/TC 226 plenary meeting – 16/17 June 2005 in Vienna, 2005.
- 2 European Committee for Standardization. EN 1317-2 Road Restraint Systems—Part 2: Performance Classes, Impact Test Acceptance Criteria and Test Methods for Safety Barriers. CEN/TC 226 plenary meeting – 16/17 June 2005 in Vienna, 2005.
- 3 Cardoso, J.L., Métodos Racionais de Apoio à Intervenção da Engenharia em Segurança Rodoviária. Programa de Investigação apresentado para a obtenção do título de “Habilitado para o exercício de funções de Coordenação de Investigação Científica”, LNEC, 2007.
- 4 C. Roque, Critérios de segurança para a área adjacente à faixa de rodagem na Rede Rodoviária Nacional, Tese de Doutoramento em Sistemas de Transportes, Instituto Superior Técnico, Lisboa, 2013.
- 5 D. Gabauer, Predicting Occupant Injury with Vehicle-Based Injury Criteria in Roadside Crashes. Dissertation submitted to the faculty of the Virginia Polytechnic Institute and State University in partial fulfillment of the requirements for the degree of Doctor of Philosophy In Biomedical Engineering. Blacksburg, Virginia, 2008.
- 6 K. Schmitt, P.F. Niederer, M.H. Muser, F. Walz, Trauma Biomechanics. Accidental injury in traffic and sports. Second Edition. Springer. ISBN 978-3-540-73872-5, 2007
- 7 NHTSA, Preliminary Economic Assessment. Snprm. Fmvss Nº. 208. Advanced Air Bags. Office of Regulatory Analysis & Evaluation Plans and Policy. National Highway Traffic Safety Administration. 1999.
- 8 M. Shojaati, Correlation between injury risk and impact severity index ASI, Proceedings of the 3rd Swiss Transport Research Conference Monte Verita/Ascona, March 19–21, 2003.
- 9 D. Gabauer, H.C. Gabler, Evaluation of Threshold values of acceleration severity index by using event data recorder technology. Transport. Res. Record 1904, 37–45, 2005.