

Desenvolvimento de dispositivo de teste para esmagamento de teto em escala real e reduzida

Development of a test device for roof crush in real and reduced scale

Oliveira, A.B S
Silva R.C
Barcelos Jr, J.M.H

Universidade de Brasília, Engenharia Automotiva, Área Especial 1, Projeção A, Gama Leste, CEP: 72.444-210.

ABSTRACT

World statistics show that rollovers can cause fatal victims or severe injuries to the car occupants. The roof crush test established in the FMVSS 216a allows assessing the structural integrity of the vehicle's cabin. The primary purpose is to avoid deaths and injuries due to the crushing of the roof into the occupant compartment in rollover crashes. The test considers that a force of a certain magnitude is applied in a quasi-static manner to one side of the roof. Such a force represents the force involved in the contact roof/ground during the rollover. The work aims to present the development of a test device that intend to evaluate the strength of vehicle roof structures respecting the requirements of force and intrusion. However, this device is suitable to test roofs' strength in real and reduced scales. In addition, to proceed the test the entire vehicle is not necessary, but only its roof with A, B, and C columns rigidly attached in a system of supports. This system is equivalent to the one presented in the standard. Under these conditions, the surface required to the test, and the cost are more accessible and simple to operate. Notice that the reduced scale test takes into account the similarity in geometry and kinematic based on the perspective of the theory of similarity.

RESUMO

Estatísticas mundiais mostram que capotamentos podem causar vítimas fatais ou ferimentos graves aos ocupantes do carro. O teste de esmagamento do teto estabelecido no FMVSS 216a permite avaliar a integridade estrutural da cabine do veículo. O objetivo principal é evitar mortes e ferimentos devido ao esmagamento do teto no compartimento do ocupante em colisões de capotamento. O teste considera que uma força de certa magnitude é aplicada de maneira quase estática em um lado do teto. Essa força representa a força envolvida no contato teto/solo durante a capotagem. O trabalho tem como objetivo apresentar o

desenvolvimento de um dispositivo de teste que pretende avaliar a resistência das estruturas do teto de veículos respeitando os requisitos de força e intrusão. No entanto, este dispositivo é adequado para testar a resistência dos tetos em escalas reais e reduzidas. Além disso, para realizar o teste não é necessário todo o veículo, mas apenas seu teto com colunas A, B e C rigidamente fixadas em um sistema de suportes. Este sistema é equivalente ao apresentado na norma. Nessas condições, a superfície necessária para o teste e o custo são mais acessíveis e simples de operar. Observe que o teste em escala reduzida leva em consideração a similaridade na geometria e cinemática com base na perspectiva da teoria da similaridade

INTRODUÇÃO

Os acidentes automotivos estão entre algumas das principais causas de mortes e de lesões graves no Brasil e no mundo. Dentre estes acidentes, o capotamento veicular, apesar de não ser o mais frequente, é um dos tipos de acidentes que mais causa lesões graves e mortes por fatores como esmagamento do teto e ejeção dos ocupantes (tanto total como parcial), além de fatores ainda desconhecidos. A partir disso, nas últimas décadas foram feitos grandes esforços para desenvolver sistemas de segurança que evitassem a ocorrência de capotamentos ou para que se conseguisse evitar o risco de ejeção dos passageiros e as lesões, caso os acidentes não possam ser evitados. Nesse sentido, nos dias atuais os veículos saem de fábrica com sistemas de segurança como controle de tração, controle de estabilidade e o ABS, foram criados com o intuito de evitar que acidentes ocorram, segundo IIHS[1] podem reduzir o risco de capotamento em até 72% para SUVs Já os principais sistemas de segurança criados para minimizar os efeitos colaterais dos acidentes sobre os ocupantes foram os airbags, os cintos de segurança com pré-tensionadores, os sistemas de restrição de cadeirinhas, dentre outros. No entanto, segundo o presidente do IIHS (Lund), apesar destas novas tecnologias serem essenciais, o controle de estabilidade não elimina

completamente a possibilidade de capotamento e os airbags e cintos não são suficientes para garantir a proteção dos ocupantes no caso de um capotamento (rollover). Isso porque ainda há o risco de o teto ser esmagado demasiadamente e entrar em contato com os passageiros, podendo, dessa forma, causar lesões graves na cabeça, rosto ou pescoço dos ocupantes [2,3,4]. Com o objetivo de reduzir mortes e lesões sérias causadas pela grande intrusão do teto (grande esmagamento do teto) na cabine dos ocupantes durante capotamentos, a NHTSA implementou o chamado Roof Crush Test Resistance em 1973 nos EUA, que é um teste quase-estático no qual o teto veicular é esmagado em uma direção especificada pela norma e cujo principal objetivo é medir a resistência ao esmagamento do teto veicular e é neste contexto em que a pesquisa deste trabalho se insere. Segundo a última atualização da principal norma utilizada neste trabalho, a FMVSS 216a, existem mais de 10000 capotamentos nos EUA a cada ano são causados por diversos fatores. Atualmente a norma que regulamenta o teste de esmagamento do teto nos EUA é a FMVSS 216a, principalmente no que diz respeito às dimensões da placa rígida e ao posicionamento da CAGE em relação à placa para realizar o ensaio de esmagamento. que possui mudanças importantes em seus critérios em relação às normas anteriores, que agora é mais rigoroso e exige que os tetos veiculares consigam resistir à aplicações de cargas maiores durante o ensaio experimental (teste quase-estático) proposto pela NHTSA. Com isso, faz-se necessário medidas para evitar este fenômeno ou, ao menos, diminuir seus efeitos colaterais sobre os ocupantes do veículo. No entanto, segundo o presidente do IIHS Lund, os airbags e cintos de segurança não são itens suficientes para impedir lesões dos ocupantes em caso de capotamento, pois, caso ocorra uma intrusão grande no compartimento dos passageiros, o risco de lesão devido ao esmagamento do teto aumenta. Nesse sentido, este trabalho propõe a construção de um dispositivo de ensaio em escala reduzida capaz de ensaiar amostras de tetos veiculares com base nos requisitos propostos pela norma internacional FMVSS 216a, mas com algumas mudanças em importantes à esta norma, como a realização do teste sendo feita apenas no lado do motorista. Além disso, ressalta-se que a construção da placa rígida dos dispositivo e das amostras foram confeccionadas tendo em vista aspectos da Teoria da Similaridade, a qual busca a similaridade entre fenômenos em protótipos reais e modelos em escala, como a resposta da estrutura, por exemplo, à aplicação de um carregamento quase-estático, o que será objeto de estudo deste trabalho. Neste trabalho, foram realizadas várias modificações, adaptações e simulações estruturais pelo método dos elementos finitos (MEF) para se chegar em no projeto adequado para o dispositivo, tendo em vista que este foi confeccionado para ser instalado no LDTEA da UnB – Gama. Por fim, o presente trabalho busca mostrar a importância da resistência ao esmagamento dos tetos veiculares em casos de capotamento, a partir do sistema de aquisição de dados, medir dados importantes em relação à estrutura deformada e compará-los com resultados numéricos obtidos anteriormente aos ensaios. No entanto, o presente trabalho propõe algumas alterações em relação à norma prevista a fim de tornar o projeto menos oneroso e

factível no âmbito do Lab. LDTEA da Universidade de Brasília (UnB) no Campus Gama.[5,6,7]

PROTOCOLO DO ENSAIO ROOF CRUSH RESISTANCE SEGUNDO A NORMA FMVSS 216A

A norma internacional FMVSS 216a trata-se da medição da resistência ao esmagamento de tetos veiculares comercializados nos EUA por meio de um ensaio de esmagamento de um teto veicular. Este ensaio é realizado por uma placa retangular de dimensões 1829 x 762 mm, que por sua vez, é empurrada em direção ao teto do veículo para esmagá-lo. No entanto, no caso da construção do dispositivo da UnB e dos ensaios das cages foram feitas algumas mudanças importantes em relação ao que é proposto em norma. A norma supracitada requer que uma placa retangular possua largura de 762 mm (30 polegadas) e comprimento de 1829 mm (72 polegadas). Além disso, esta deve ser girada 25° em torno de seu eixo longitudinal e 5° em torno de seu eixo transversal (pitch). A norma requer que a placa retangular esmague o teto do veículo de ensaio à uma taxa constante de não mais que 13 mm/s. A placa deve se mover na direção especificada por não mais que 127 mm (5 polegadas) e para que o veículo seja aprovado no teste, o mesmo deve resistir à uma força de reação ao esmagamento da placa de, no mínimo, três vezes o seu peso bruto (curb weight), isto é, deve apresentar um SWR de pelo menos 3. A norma FMVSS 216a requer que o veículo de ensaio atinja um SWR nos dois lados (motorista e passageiro) no mesmo teste, ou seja, o mesmo veículo deve ser testado pelo lado do motorista e, posteriormente, do lado do passageiro e ambos devem atingir o requisito do SWR de 3. Além de atingir este requisito, a última norma a respeito dos requisitos do Roof Crush requer o uso de equipamento equivalente ao uso de um manequim instrumentado de percentil 50

CONSTRUÇÃO DO DISPOSITIVO ROOF CRUSH RESISTANCE TEST DA UNB – FGA

Concepção inicial do dispositivo Roof Crush

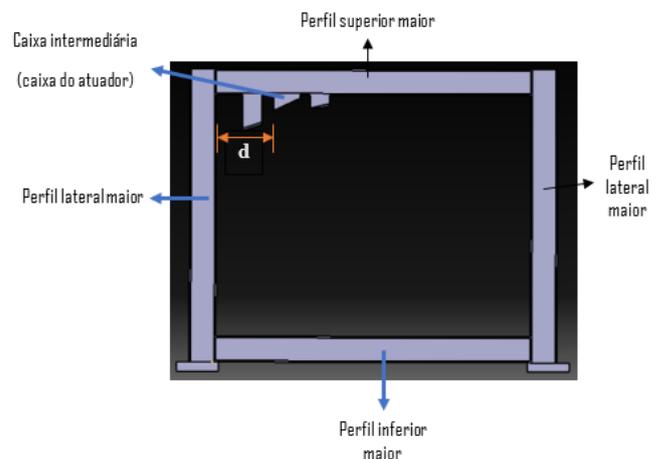


Fig.1: Concepção intermediária do dispositivo Roof Crush em CAD

Inicialmente, foi realizado um dimensionamento da estrutura por meio da teoria de resistência dos materiais para estruturas porticadas com carregamentos transversais ao eixo longitudinal dos perfis e, a partir disso, selecionou-se o perfil adequado para suportar os esforços mecânicos e garantir segurança para a operação que o dispositivo se propõe a realizar. Isso foi realizado de forma que a caixa intermediária que suporta o atuador hidráulico ficasse à uma distância “d” estabelecida pelos cálculos analíticos iniciais. Com isso iniciou-se a concepção do dispositivo por meio de um pórtico principal (quadro central) composto pelos perfis: laterais, inferior maior e inferior menor, como mostrado na Fig.1.

Pela norma internacional na qual o presente dispositivo se baseia é possível perceber características geométricas e de carregamento bem peculiares. No caso das características geométricas, tem-se o ângulo de posicionamento da placa rígida, bem como suas dimensões estabelecidas pela norma FVMSS 216a de “Roof crush resistance”. Em relação às características de carregamento, o contato inicial entre o teto veicular e a placa rígida ocorre em um ponto excêntrico em relação à um dos planos de simetria da face inferior da placa rígida, conforme estabelecido em norma. Estas condições geram carregamentos assimétricos nos perfis dos pórticos laterais, bem como em outras peças do dispositivo. Nesse sentido, buscou-se uma nova concepção de projeto que tornasse o dispositivo mais robusto e seguro, o que deu origem à uma nova concepção de projeto.

Concepção intermediária do dispositivo Roof Crush:

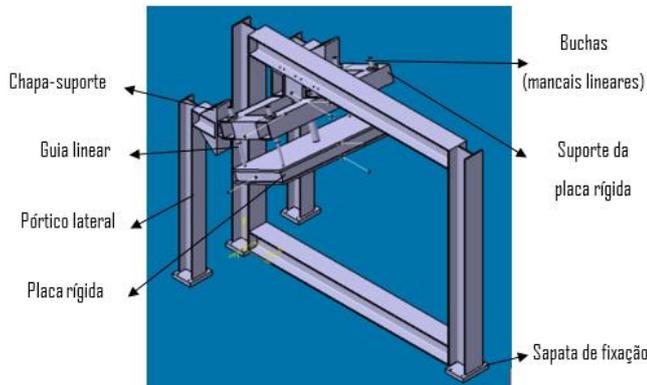


Fig.2: Concepção intermediária do dispositivo Roof Crush em CAD.

Como mostrado na Fig.2, foram adicionados novos pórticos menores nas laterais do pórtico principal, além de um suporte para a placa rígida, cuja função (concomitantemente às guias lineares) é manter o movimento da placa estável. Foram adicionados também cunhas para fazer a conexão entre o suporte da placa rígida e da chapa suporte introduzida em cada um dos pórticos laterais. Tendo em vista estas particularidades da estrutura e seu grau de complexidade por conta das condições citadas, foi necessário modelar esta estrutura física por meio de uma abordagem numérica para determinar a resposta da estrutura (tensões e deformações) à aplicação de uma carga externa

proveniente do ensaio quase-estático de esmagamento de amostras de tetos veiculares. A partir da modelagem 3D da estrutura, realizou-se uma análise estrutural estática e linear por meio do método dos elementos finitos (MEF) e, para tanto, foi necessário estabelecer condições de contorno essenciais (vínculos estruturais) e condições de contorno não essenciais (carregamento externo devido à força de reação do teto esmagado no ensaio) de modo a representar o modelo físico do dispositivo de forma adequada e obter resultados coerentes. Dessa forma, foi possível obter deformações e tensões de von Mises para os diversos pontos da estrutura. A simulação em elementos finitos foi feita inteiramente com elementos tetraédricos, pois devido à sua versatilidade de geometria, este consegue representar qualquer corpo contínuo e é adequado para representar as peças com comportamento de sólido da estrutura. No entanto, os elementos tetraédricos utilizados na simulação foram elementos de primeira ordem e por conta de sua formulação são elementos de deformação e tensão constantes. Por conta disso, foi necessário refinar muito a malha para obter resultados acurados.

Em relação às condições de contorno, utilizou-se engastes nas quatro sapatas do dispositivo e as outras peças, tais como suporte da placa, placa rígida, mancais de deslizamento (buchas), guias e chapa-suporte foram parafusadas entre si. Feito isso, aplicou-se uma carga de 60 kN distribuída perpendicularmente sobre a superfície inferior da placa rígida, de modo a representar a força de pico (máxima força de reação do teto à força aplicada pela placa rígida) estabelecida em norma para que um veículo de 2000 kg seja aprovado no teste.

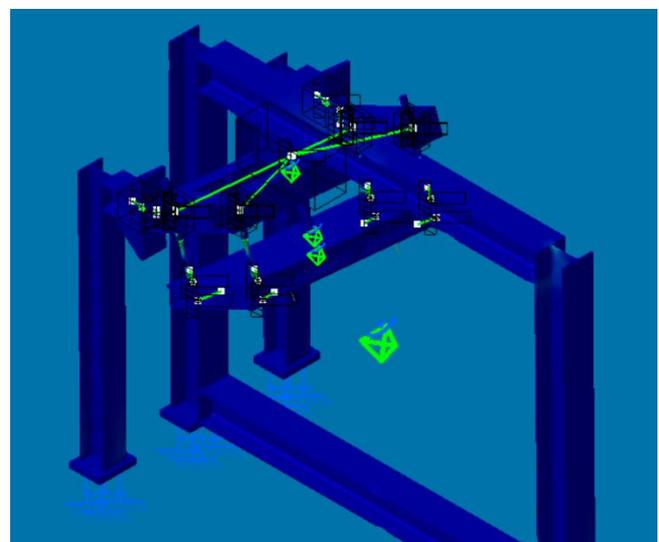


Fig.3: Imagem do dispositivo submetido às condições de contorno essenciais.

Definidas as condições de contorno, realizou-se a simulação computacional e obteve-se os resultados de deformações e tensões de von Mises. Por meio destes

resultados, observou-se que as cunhas, caixas e o perfil superior do pórtico principal apresentaram grandes deformações, apesar das tensões e deformações terem se mantido no regime elástico do aço ASTM A572 utilizado para os perfis e demais peças metálicas do dispositivo. Também houve uma preocupação em relação às tensões obtidas na junção destacada em vermelho na Fig.3 entre os perfis superior e lateral do pórtico principal. Já as guias, apresentaram tensões maiores que a tensão de escoamento do material e se deformaram de forma permanente. Foi feita também uma verificação em relação às peças que compõem a placa rígida (em seu interior) e verificou-se que a disposição de algumas peças deixava espaços vazios “buracos” na geometria que poderiam amplificar as tensões nestas regiões. Com isso, algumas alterações na estrutura mostraram-se necessárias para que a mesma se tornasse mais robusta e segura. As alterações foram as seguintes:

1. Aumento nas espessuras das caixas e cunhas.
2. Introdução de uma mão francesa no pórtico principal.
3. Aumento das dimensões das sapatas de fixação.
4. Aumento do diâmetro das guias lineares.
5. Alterações das posições de fixação de peças do interior da placa rígida.
6. Alterações do método de fixação (de aparafusado para soldado) em algumas partes do projeto.
7. Introdução de novos perfis de conexão entre o pórtico principal e os pórticos laterais, dessa forma, formando uma conexão entre o pórtico principal e os pórticos laterais.
8. Introdução de um sistema de contrapesos para equilibrar a componente de peso da placa na direção especificada em norma, ou seja, considerando os ângulos de 25° e 5°, de rolagem (roll) e arfagem (pitch) da placa, respectivamente.

Concepção final do dispositivo Roof Crush:

A partir das modificações que se mostraram necessárias após a simulação estrutural do primeiro conceito do dispositivo, realizou-se as alterações no modelo em CAD para posterior análise em programa de simulação CAE. Com isso, algumas partes que foram modeladas como sendo aparafusadas umas nas outras como: cunhas, caixas (nos perfis) e chapa suporte (nos perfis) passaram a ser soldadas para aumentar a rigidez das conexões. A parte superior da placa rígida permaneceu modelada como sendo aparafusada no resto da placa, apesar de ter sido feita uma alteração nas posições de fixação de peças internas da placa para pontos de concentração de tensão, que também foram verificados nas simulações estruturais

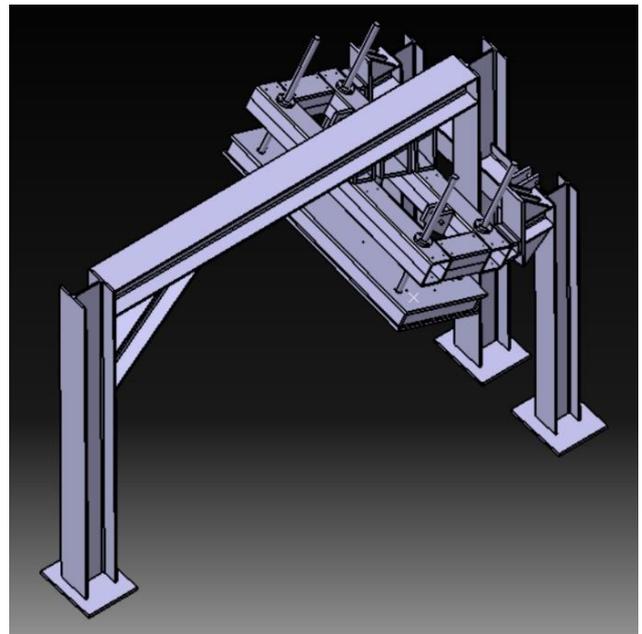


Fig.4: Imagem do dispositivo submetido às condições de contorno essenciais.

Feitas as modificações requeridas para o outro conceito, introduziu-se o modelo CAD em software de elementos finitos para realizar análise estática e linear. A partir disso, estabeleceu-se condições de contorno semelhantes ao primeiro conceito, mas dessa vez considerando o tipo de contato “bonded” entre as peças do modelo.

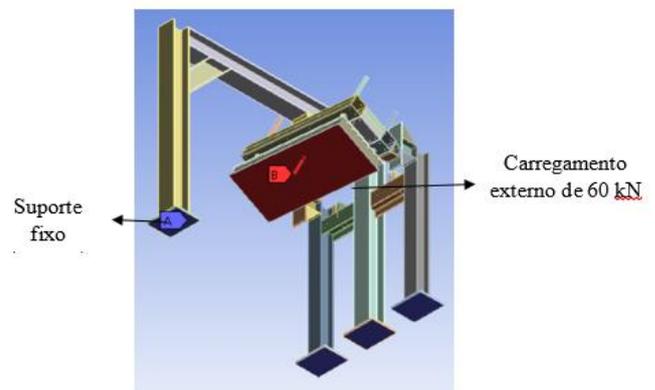


Fig.5: Condições de contorno essenciais e não essenciais estabelecidas na simulação CAE do novo conceito do dispositivo Roof Crush Resistance.

Com o aumento das espessuras das cunhas e caixas, embora tenha-se aumentado o peso do dispositivo, foram verificados menores deslocamentos e tensões nestas peças cuja função é transmitir os esforços decorrentes do ensaio para os perfis estruturais. Os deslocamentos que antes foram da ordem de 4 mm nas cunhas e caixas, passaram a ser em torno de 0.9 mm devido ao aumento da espessura. Além disso, na simulação do novo conceito foi verificado o aumento da rigidez da estrutura em diversos pontos, como na junção na

qual foi inserida a mão francesa, o que fez com que a tensão diminuísse naquele ponto.

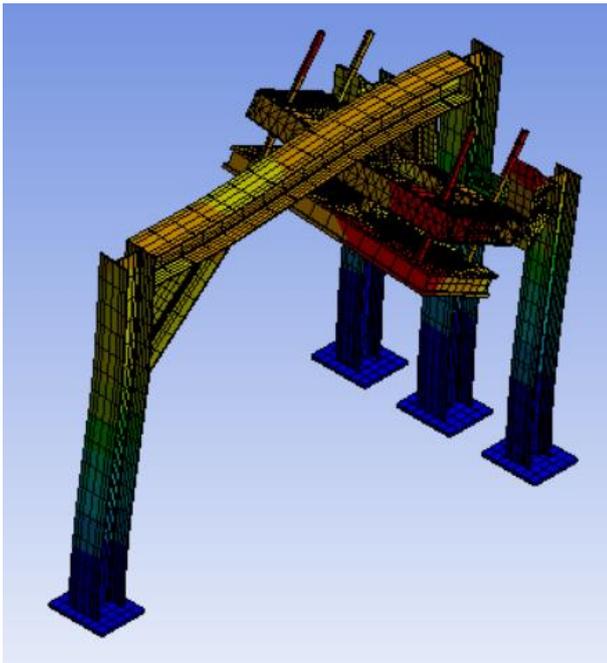


Fig.6: Forma deformada da estrutura a partir das condições de contorno estabelecidas para o modelo.

CONCLUSÃO

A última alteração em relação ao conceito intermediário do dispositivo foi o projeto do sistema de contrapesos, cujo objetivo é contrabalançar a componente de peso da placa normal à sua face por meio de cabos de aço conectados à uma viga com sacos de pó de ferro compacto (material

comumente utilizado como contrapesos em portões basculantes). O sistema de contrapesos também é composto por polias que, por sua vez, giram em torno de eixos suportados por suportes trapezoidais e retangulares (análogos à mancais de rolamento).

REFERÊNCIAS

- [1] IIHS, Bulletin Vol32, Nº 16, September 2015
- [2] Bixel, Ronald A., Heydinger, Gary J., Rollover Stability Measurements for 2014, New Car Assessment Program (NCAP), Final Report, Contract: DTNH22-14-D-00326, March 2015.
- [3] Cooperrider, N. K., Thomas, T.M. and Hammoud, S.A. Testing and Analysis of Vehicle Rollover Behavior, SAE 900366, 1990.
- [4] Digges, K., Klisch, S., "Analysis of Factors which Influence Rollover Crash Severity", Proceedings of 13th ESV Conference, November, 1991.
- [5] Digges, Kennerly H., Summary Report of Rollover Crashes, FHWA/NHTSA National Crash Analysis Center, 2002.
- [6] Digges, Kennerly H. Eigen, Ana Maria, Crash Attributes that Influence the Severity Of Rollover Crashes, The National Crash Analysis Center, The George Washington University, USA, 2002
- [7] Lund, Yvonne Irene Katherine, An investigation of the mechanics of rollover for cars and light trucks, 1995.