

Estudo do Comportamento do Chassi de Veículo em Espuma Metálica Submetido a Teste de Impacto

E. Cardoso^{a, b} e B.F. Oliveira^b

^aduda2508@gmail.com

^bDepartamento de Design e Expressão. Gráfica, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, Brasil

Resumo

O estudo de espumas metálicas tornou-se atrativo para pesquisadores, tanto da área científica acadêmica quanto industrial, devido às suas propriedades. As espumas metálicas possuem baixa densidade e propriedades físicas, mecânicas e acústicas peculiares, trazendo grandes vantagens em termos de peso e resistência. A ênfase deste trabalho está dirigida ao emprego da espuma metálica no design automotivo com o propósito de estudar o comportamento mecânico e possíveis alternativas de projeto com a utilização deste material para absorção da energia de impacto através da modelagem e consequente simulação computacional do modelo conforme estudo de caso - chassi do veículo Sabiá 5 - no software para análise do comportamento estrutural pelo método dos elementos finitos ABAQUS-CAE. Muitos materiais celulares são excelentes absorvedores da energia de impacto, apresentando grandes deformações a níveis praticamente constantes de tensão. Quando se fala em segurança veicular, os crash tests são os mais lembrados. Estes ensaios, por serem considerados uma excelente ferramenta de engenharia, constituem-se em uma poderosa forma de avaliar e propor soluções no que diz respeito à proteção dos ocupantes em colisões veiculares. Para esta finalidade, segundo os crash tests virtuais realizados, a espuma metálica mostrou-se ideal conforme os resultados apresentados.

Palavras-chave: Design automotivo, espuma metálica, método elementos finitos, simulação computacional, crash test.

Study of the Impact Behavior of a Metallic Foam-based Vehicle Chassis in a Crash Test

Abstract

The study of metal foams has become attractive to researchers, from both the academic scientific and the industrial fields, due to their properties. Metal foams have low density and peculiar physical, mechanical and acoustic properties, offering great advantages in terms of weight and strength. The emphasis of this work is on the use of metal foams in automotive design with the purpose of studying the mechanical behavior and possible project alternatives in which this material would be used as a chassis for impact energy absorption, through the modeling and subsequent computer simulation according to the case study – chassis of the “Sabiá 5” - using the finite element software Abaqus/CAE. Many cellular materials have high capacity of energy absorption under impact conditions, presenting great energy absorption at constant stress levels. These tests are considered an excellent engineering tool and thus constitute a powerful method to evaluate and propose solutions for the process of technical evolution, with regard to the protection of passengers in case of a car crash. For this purpose, according to the results of the virtual crash tests performed, metal foams demonstrated to be an appropriated choice.

Key words: Automotive design, metal foam, finite element method, computer simulation, crash test.

1. INTRODUÇÃO

Os automóveis têm afetado profundamente não somente o desenvolvimento econômico e as transformações dos meios produtivos, mas também os modos de vida da sociedade, o meio ambiente e a configuração dos espaços urbanos. Destacam-se, hoje, como um dos maiores conjuntos de atividades de negócio no mundo, guiando o desenvolvimento e o lançamento de novos produtos, processos e materiais no mercado, servindo como referência para outros setores. Novos conceitos, materiais e métodos de produção surgem a cada dia, aumentando o desempenho destes veículos, reduzindo o seu tempo de desenvolvimento, simulação, produção e lançamento no mercado. Neste novo cenário, solicitações cada vez mais complexas precisam ser atendidas, integrando performance, segurança, economia, praticidade, tecnologia e desenvolvimento sustentável, entre outros. Assim, é necessário inovar com a pesquisa em design,

metodologia de projeto, materiais e tecnologias para projeto e produção de veículos. Na busca de novos materiais as espumas metálicas vêm mostrando-se fortes aliadas na construção de estruturas cada vez mais leves e resistentes, gerando economia com manutenção de desempenho e atualmente ainda existe carência de estudos computacionais tratando da caracterização e aplicações para estes materiais.

Este trabalho visa contribuir, tanto na área acadêmica quanto industrial, relacionando o design automotivo, a seleção de materiais e a simulação computacional através de software para modelagem e análise do comportamento estrutural, pelo método dos elementos finitos com emprego da espuma metálica no modelo do estudo de caso - chassi do veículo Sabiá 5 – UEMG [1], quando submetido ao *crash test* virtual, assim como a comparação deste com aplicação e simulação com outros materiais.

1.1 Objetivos

- Estudar, caracterizar e simular em ambiente computacional a aplicação de um novo material, no caso a espuma metálica, no design automotivo, mais especificamente em veículos compactos, como possível alternativa para redução do peso e impacto dos mesmos para demanda individual nos centros urbanos.
- Analisar o comportamento das espumas metálicas submetida a teste de impacto em comparação com outros materiais sólidos frequentemente utilizados, tais como aço e alumínio.
- Despertar o interesse por novos materiais, sua caracterização e aplicações, além de ressaltar as responsabilidades e possibilidades de atuação dos designers no desenvolvimento de produtos com redução do impacto ambiental pela interação com outras áreas de conhecimento.

1.2 Justificativa

Apesar do enorme progresso realizado nos últimos anos através de pesquisas nas mais diversas áreas de conhecimento que tangenciam o design, ainda permanecem grandes desafios tecnológicos. É preciso pesquisar, conhecer, caracterizar e validar através da simulação computacional, por exemplo, a aplicação de materiais ainda mais sofisticados e especializados e, ao mesmo tempo, com possíveis aplicações no mercado que possibilitem a redução de seu custo e/ou de impacto ambiental. Propõe-se neste trabalho a utilização de espumas metálicas no design Automotivo. Atualmente, ainda existe carência de estudos computacionais e de bibliografia publicada tratando da caracterização e aplicações estruturais para estes materiais [2]. Assim reafirmando a importância deste trabalho.

Os automóveis tornaram-se símbolos de mobilidade e liberdade, tornando-se essenciais no dia-a-dia moderno. Assim, não é surpresa que este mercado seja hoje o maior conjunto de atividades de negócio do mundo e que, ao mesmo tempo, a expectativa mais frustrada do usuário é encontrar um caminho livre para trafegar, tanto nos centros urbanos quanto nas principais rodovias, e seu intenso movimento gera um desafio a ser solucionado por pesquisadores de diversas áreas, entre eles os designers.

Ainda, a simulação computacional como ferramenta para o desenvolvimento de produto tem a capacidade de dar vida às idéias com o máximo de velocidade e confiabilidade fundamentais para a competitividade das empresas, proporcionando redução nos investimentos em testes e protótipos, melhoria na qualidade e segurança dos resultados com dados correlacionados com a realidade e, ainda, diminuição do tempo gasto com alterações do produto. As simulações e protótipos virtuais podem ser até 95% mais econômicos que os modelos físicos [3].

2. DESIGN

A palavra designer foi empregada pela primeira vez no século 17 pelo Oxford English Dictionary [4]. Ainda do dicionário, remete a plano, propósito e/ou projeto. Poderia então ser definido como um esforço criativo relacionado à configuração, concepção, elaboração e especificação de algo, normalmente orientado por uma intenção e/ou para a solução de um problema, ou seja, criação com intenção. Design de acordo com [5], é uma idéia, projeto ou um plano para a solução de um problema determinado. É a concretização de uma idéia em forma de projeto ou modelo, mediante a construção e configuração, resultando em um produto industrial passível de produção em série. Segundo [6], é no design que todas as

qualidades desejadas são planejadas, concebidas, especificadas, amarradas à sua natureza tecnológica e aos demais processos que fazem parte de sua produção. O Design possibilita a concepção, a inovação, o desenvolvimento tecnológico e a elaboração de objetos que, dentro de um enfoque sistêmico, possibilitem reunir, integrar e harmonizar diversos fatores relativos à sua metodologia projetual.

Para Ashby [7], o design é o processo de traduzir uma idéia nova ou uma necessidade de mercado numa informação detalhada de um produto a ser manufaturado. Para o mesmo autor, os materiais são o que poderíamos chamar de recheio do design e os processos dão forma a esta matéria-prima do design.

Assim, a inovação em design pode estar relacionada ao uso de um novo material, na combinação criativa da forma do produto com o novo material, com os seus processos produtivos ou ainda com a combinação de um novo material, seus processos produtivos e a possibilidade da criação de novas formas a partir dos mesmos. Estas, não só de produção, mas também de concepção de projeto.

2.1 Seleção de Materiais em Design Automotivo

O universo dos meios de transporte oferece um grande campo para pesquisa e aplicação de novos materiais, principalmente por seu volume de produção e comercialização. Segundo a [8], só o Brasil, teve mais de 36.000.000 de automóveis produzidos desde 1957 e tem hoje capacidade instalada para produzir 3,5 milhões de veículos por ano. De acordo com [9], os automóveis modernos são fonte de oportunidade para novos materiais e novas tecnologias. O uso do alumínio reduz o peso dos veículos, que, mais leves, consomem menos combustível e, conseqüentemente, emitem menos poluentes. Algumas das principais vantagens do alumínio para a indústria automotiva são: segurança, economia, dirigibilidade, reciclagem, durabilidade e leveza. O mesmo potencial tem-se com o emprego de espumas de alumínio. Segundo Ashby [10], o valor economizado com aplicação de materiais mais leves no design de transportes pode chegar a US\$ 10.000,00/kg em um veículo espacial, conforme a Tabela 1.

Tabela 1: Economia com a redução de Peso em Veículos de Transporte [10].

Sistema de Transporte	US\$ (\$/kg)
Veículo Familiar (economia de combustível)	0,50 – 1,50
Caminhão (vida útil)	5,00 – 10,00
Avião Civil (vida útil)	100,00 – 500,00
Avião Militar (Performance e vida útil)	500,00 – 2.000,00
Veículo Espacial (vida útil)	1.000,00 – 10.000,00
Bicicleta (Performance)	1,00 – 1.000,00

3. APLICAÇÕES PARA ESPUMAS METÁLICAS

Os metais celulares são uma nova, e ainda não perfeitamente caracterizada, classe de materiais [11, 12]. Entende-se por metal celular (Figura 1) o material composto por uma matriz metálica com vazios em seu interior, chamados de poros ou células. As espumas metálicas possuem baixa densidade e propriedades físicas, mecânicas e acústicas peculiares, trazendo grandes vantagens em termos de peso e resistência. A estrutura em células (abertas ou fechadas) determina o comportamento macroscópico destes materiais que exibem comportamento mecânico e propriedades físicas que diferem muito dos materiais ditos sólidos, sem a presença de ar incorporado. As espumas metálicas ainda apresentam combinações interessantes de propriedades físicas e mecânicas, como alta rigidez combinada a peso específico muito baixo [2].

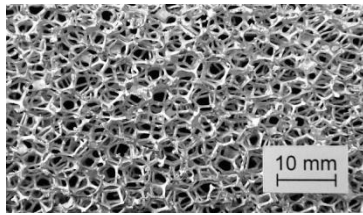


Figura 1: Espuma de alumínio com célula aberta (DUOCEL®) [13].

Para ser classificado como material celular, o mesmo precisa ter densidade igual ou inferior a trinta por cento da densidade do material maciço da matriz. Entre os produzidos pelo homem, as espumas poliméricas, atualmente, são as mais difundidas. Menos difundido é que tanto metais quanto ligas podem ser produzidas como metais celulares ou espumas e que pela interessante combinação de suas propriedades inspiram novas aplicações [14].

3.1 Aplicações para espumas metálicas na indústria automotiva

Com relação à aplicabilidade dos materiais celulares, a indústria automotiva tem se mostrado como um dos campos mais promissores para a utilização e viabilização de seu custo através da produção em massa para um grande mercado. A crescente demanda por segurança no setor automotivo impulsionou a busca por veículos mais resistentes e ao mesmo tempo mais leves. Também há demanda por reduzir as emissões acústicas dos carros com novos “absorvedores” de som e por aumentar a segurança em carros tão compactos, onde a zona de segurança em impactos também é reduzida pelo tamanho do veículo.

As espumas metálicas oferecem a possibilidade de solução para alguns destes problemas. Uma aplicação ideal seria quando um mesmo componente combina várias vantagens como, por exemplo, peso reduzido, capacidade de absorver energia em caso de impacto e, também, isolante de som e/ou calor. Tais propriedades multifuncionais são, é claro, difíceis de se encontrar em um único material.

Tem-se assim, como potenciais aplicações das espumas metálicas na indústria automotiva (Figura 2), painéis sanduíches, reforços estruturais, elementos absorvedores de impacto, amortecimento de vibrações, entre outros, vindo ao encontro das tendências deste mercado: redução de peso para melhor desempenho e menor consumo de combustível, além do aprimoramento em segurança.

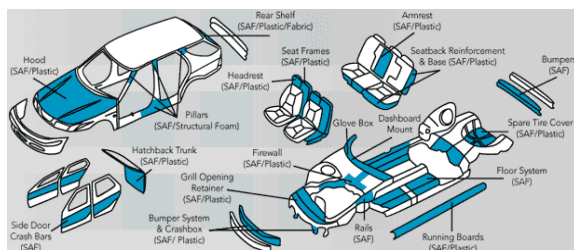


Figura 2: Aplicação de Espuma Metálicas no Design Automotivo [15].

3.2 Absorção de Energia em caso de Impacto

Nos estudos de aplicações para absorção de energia em caso de impacto, um item a ser explorado é a deformação plástica. Muitos materiais celulares são excelentes absorvedores de energia apresentando grandes deformações a níveis praticamente constantes de tensão [16]. Tal comportamento é ilustrado pela Figura 03 que representa a curva tensão-deformação esquemática para uma espuma metálica, na qual

a região do platô representa a grande capacidade de absorção de energia sob tensão constante. Desta forma pode-se verificar, que sob compressão, o corpo em espuma metálica apresenta um comportamento esperado de um material celular, com uma fase inicial elástica, seguida por uma zona de transição, um platô e densificação como verificado na Figura 3. Na fase plástica, o a curva apresenta uma inclinação extremamente baixa, caracterizando um platô, no qual um pequeno aumento de força desencadeia uma grande deformação, que ocorre em consequência da deformação progressiva da estrutura celular.

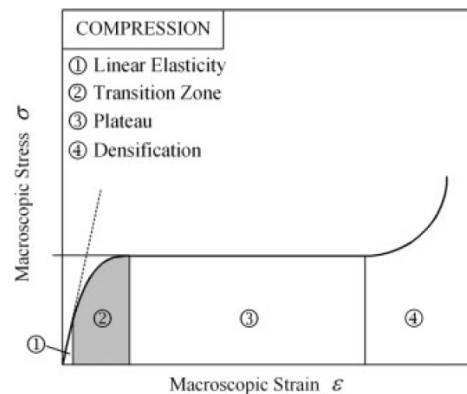


Figura 3: Curva tensão-deformação para Espumas Metálicas mostrando sua capacidade de absorção de energia sob tensão constante [17].

Espumas Metálicas podem ter uma performance muito melhor do que outras espumas convencionais, como por exemplo, as poliméricas, pois são muito mais resistentes. O que faz a espuma de alumínio ser mais atrativa é o seu baixo “ricochete” em situações de impactos dinâmicos, com índice menor de 3%, enquanto espumas de poliuretano celular apresentam em estudo índices de até 15%. Diferentes situações de impacto podem ser citadas na segurança regular em veículos, como quando há colisão e a energia é dissipada em designadas áreas protegendo o local do passageiro [10]. Em baixas velocidades (3 – 10km/h), o impacto pode ser absorvido reversivelmente por materiais elásticos ou dispositivos hidráulicos de impacto. Em velocidades acima de 20 km/h, uma deformação programada é prevista em elementos designados para colisão: *crash boxes*,¹ que podem ser simples tubos circulares de alumínio (Figura 4). Estes elementos podem ser facilmente repostos após a colisão tornando os reparos acessíveis. Somente em altas velocidades o chassi é deformado irreversivelmente com severo dano.

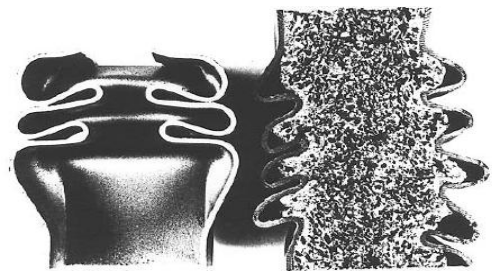


Figura 4: Seções de tubos após impacto parcial, com e sem espuma metálica em seu interior [10].

As espumas metálicas têm ainda aplicação na indústria da Construção Civil em painéis para revestimento e aplicação em

¹ Crash Box – Sistema para absorção da energia de impacto.

fachada, na estruturação destes painéis e em painéis de elevadores, além de sua utilidade em decoração, como em painéis internos, mobiliários, revestimento e sinalização. Também é utilizada em embalagens especiais. No setor da indústria biomédica é utilizada em implantes e na indústria esportiva em material de alto desempenho, como caneleiras especiais com baixo peso a alta absorção de impacto. Por fim, ainda na indústria de transportes, também é utilizada nos setores espacial, aéreo, naval e ferroviário, normalmente em forma de painéis estruturais ou de fechamento.

4. METODOLOGIA

- Coleta de dados: obter os detalhes técnicos como geometria, carregamento e condições de contorno da estrutura definida a ser utilizada como estudo de caso;
- Modelagem tridimensional da peça do estudo de caso no software Autocad;
- Representação do comportamento da espuma metálica, pesquisando suas propriedades gerais, físicas e mecânicas no programa de seleção de materiais CES Edupack, para posterior aplicação em simulação no programa Abaqus CAE;
- Análise da estrutura com aplicação da espuma metálica para análise da estrutura com o emprego do programa de elementos finitos Abaqus CAE em testes estáticos e dinâmicos, entre eles o *crash test*;
- Avaliação dos resultados obtidos com aplicação da espuma metálica na estrutura proposta frente aos materiais convencionais;

4.1 Coleta de dados: seleção dos materiais

A seleção e coleta de dados para posterior aplicação nas simulações computacionais foram realizadas no Software CES Edupack (Cambridge Engineering Selector® - Granta Design®) através do LdsM – Laboratório de Design e Seleção de Materiais da Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Este programa possibilitou realizar, de modo virtual, o cruzamento de informações dotadas de propriedades distintas, em que, a partir de um banco de dados pré-definido, faz-se a triagem dos materiais que coincidem com os requisitos solicitados em etapas progressivas de cruzamento, eliminando os materiais que não apresentam as características requeridas pelo projetista.

4.2 Modelagem e ferramentas computacionais

Antes que a malha possa ser gerada no software de elementos finitos, é necessária a modelagem dos sólidos para posterior importação no Abaqus CAE. Muitas vezes, a geometria tem que ser simplificada para que a malha gerada possa ser representativa da análise em questão. No momento da importação são definidos os tipos de elementos finitos (shell, solid, beam, etc.) a serem utilizados de acordo com os fenômenos físicos que estes são capazes de representar e a necessidade de cada caso, principalmente em tratando-se de custo computacional e tempo disponível. A correta definição dos elementos, suas propriedades e da densidade da malha (número de elementos) é determinante na precisão das respostas obtidas. Para o perfeito funcionamento no software de simulação computacional, o objeto de estudo foi modelado em Autocad 2007 e exportado como um único elemento sólido tridimensional com suas distintas partes unidas. Quando o mesmo é feito para objetos com duas ou mais partes constituídas de diferentes materiais, estas partes podem ser exportadas separadamente ou em um único arquivo, porém não unidas. Para esta etapa do trabalho é

utilizada a estrutura do VID Virtual Design – Laboratório de Design Virtual da Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

4.3 Tecnologia CAE – o método dos elementos finitos

A partir de um software de Elementos Finitos, como o Abaqus CAE, é possível dividir uma estrutura complexa em uma montagem de elementos de geometria simples (malha de elementos finitos), como triângulos, quadriláteros, tetraedros, paralelepípedos, etc, ou seja, a estrutura é formada a partir da montagem de elementos individuais [18]. Esses são conectados uns aos outros por intermédio de nós e está é a grande diferença em relação ao mundo analítico. Nos modelos em elementos finitos apenas os deslocamentos destes nós são determinados em primeira instancia. Porém, julga-se que estes nós, se escolhidos em número suficiente, determinem as tensões e deformações sofridas pela estrutura com precisão. Segundo Moreira [19], hoje, a indústria é movida por três grandes forças tecnológicas: CAD, CAM, CAE. O CAE, terceiro componente deste tripé, que movimenta e impulsiona a economia, é responsável por aumentar a produtividade dos engenheiros e projetistas, melhorando o design e a qualidade dos produtos e conseqüente funcionamento dos produtos. É grande o número de empresas que vêm desenvolvendo os seus produtos com a utilização de modernas ferramentas de análise, como os recursos de CAE, aplicando o método dos elementos finitos (MEF) na solução de problemas estruturais e/ou mecânicos para obtenção de produtos com alta qualidade e desempenho.

4.4 Estudo de caso: Sabiá 5

Os Sabiás são veículos desenvolvidos para competir nas Shell Eco-Maratohn pela Escola de Design da Universidade Estadual de Minas Gerais – UEMG [1]. O evento destaca-se pela demanda de veículos experimentais construídos por escolas e universidades de toda Europa e de alguns outros países como o Brasil. Promovido pela Shell francesa, o evento consolidou-se mundialmente no que se refere ao desenvolvimento e aplicação de soluções automotivas visando evidenciar a importância da interdisciplinaridade entre diferentes áreas de pesquisa e profissionais, ressaltar as responsabilidades e possibilidades da atuação dos designers no desenvolvimento de produtos mais amigáveis.



Figura 5: Veículo Sabiá 5 – UEMG [1].

A possibilidade da utilização de um material com resistência apropriada com menor peso auxiliaria muito no objetivo no projeto Sabiá que é o desenvolvimento de um veículo que tenha melhor rendimento km/litro. A escolha do modelo Sabiá 5 (Figura 5) foi feita por sua morfologia e conceito minimalistas. O modelo constitui-se de poucos

elementos, muitas vezes agrupados em um só, tal como, banco, chassi e cabine formando uma mesma estrutura integrada, explorando as propriedades físicas e plásticas do material.

4.5 Simulações estáticas e dinâmicas

Para iniciar as simulações são realizados testes estáticos onde o material selecionado (espuma metálica) foi caracterizado conforme suas propriedades mecânicas para elasticidade e plasticidade. O carregamento foi aplicado como “body force” (força por volume do modelo) de acordo com a coleta de dados. Primeiramente foi aplicado peso próprio e depois a estrutura foi submetida à dois testes de deslocamento, simulando irregularidades da pista, primeiramente na roda traseira e posteriormente em uma das rodas dianteiras. Destes testes foram selecionados três modelos principais: chassi inteiro em alumínio, chassi inteiro em espuma metálica e sanduíche de alumínio com espuma metálica. Estes três modelos principais foram submetidos aos testes dinâmicos de deslocamento e *crash test*.

Diferentes densidades de malhas foram testadas, mas não resultaram em significativa melhoria nos resultados frente ao custo computacional que representavam. Mais informações podem ser encontradas em [20].

5. TESTE DE IMPACTO - CRASH TEST

A segurança dos automóveis tem sua importância reconhecida pelos usuários em todo o mundo. Já há algumas décadas, esta característica dos veículos divide, juntamente com o design, o consumo, o conforto e a potência dos motores, as páginas das mais renomadas publicações automotivas.

Durante uma colisão veicular, toda a energia cinética tem que ser dissipada de alguma forma até que os corpos (veículo e ocupantes) cheguem à condição de repouso. No caso do veículo, a energia será dissipada através da deformação de sua estrutura e de seu deslocamento. No caso dos ocupantes do veículo, a energia será dissipada através do seu amortecimento pelos componentes do interior do habitáculo [21]. Atualmente vários são os componentes no interior do veículo que agem passivamente de modo a proteger os ocupantes durante uma colisão veicular. O risco para os ocupantes de um veículo em caso de impacto está diretamente associado com o como e o quão rápido eles perdem a sua velocidade no momento da colisão.

5.1 Crash test virtual

Os critérios para se determinar quais as velocidades serão empregadas, as direções de impacto e as barreiras contra as quais os veículos serão chocados dependem do objetivo do ensaio. Para ensaios de homologação de um produto são utilizadas as regulamentações vigentes no mercado em que o modelo será vendido. Na Europa, por exemplo, é exigido o atendimento a um impacto frontal a 56 km/h contra uma barreira deformável de alumínio que atinge no mínimo 40% da frente do veículo, do lado do motorista. Também é uma exigência legal, na Europa, uma colisão de uma barreira móvel padronizada contra a lateral do veículo a 50 km/h (Figura 6) [21]. Existem também critérios definidos por institutos de consumidores e revistas especializadas. A revista alemã *Autobild*, por exemplo, realiza impactos frontais entre dois veículos, ambos a 50 km/h.

Para realização do *crash test*, a geometria do estudo de caso foi determinada, a partir dos três principais testes dinâmicos realizados anteriormente (chassi maciço em

alumínio, chassi maciço em espuma metálica e chassi com painel sanduíche composta por laterais de 1mm e barras de ligação de 32mm em alumínio e preenchimento de 12mm em espuma metálica). De acordo com os resultados das simulações iniciais [20], o modelo que apresentou o mais baixo nível de tensão e não plastificou era o composto de laterais em espuma metálica com 25mm de espessura e com barra traseira em alumínio. Este modelo é o mais leve e mais caro, devido a sua composição [20]. Porém, isto pode não ser uma grande desvantagem considerando a diferença que pode proporcionar em termos de desempenho e segurança em caso de impacto.

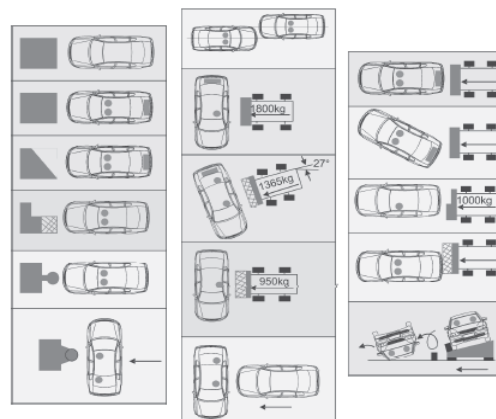


Figura 6: Alguns ensaios de impacto de veículos mais comuns e seus procedimentos [21].

Nas Figuras 7 e 8 pode-se ver os resultados do ensaio de *crash test*, para o modelo com composição de materiais tipo sanduíche. Em seguida, visualizam-se as tensões de von Mises e a deformação plástica equivalente para o modelo todo em espuma metálica (Figuras 9 e 10) e para o modelo todo em alumínio (Figuras 11 e 12). O veículo foi impulsionado contra uma barreira rígida a uma velocidade de 50km/h em todos os casos.

A Figura 13 mostra a distribuição da deformação plástica equivalente para o modelo nas três diferentes composições de materiais. Assim como nos testes anteriores, o modelo de composição tipo sanduíche uniu as propriedades dos dois materiais (alumínio e espuma metálica) resultando em um conjunto mais rígido, com menor deformação, porém com melhor absorção da energia do impacto do que o modelo em alumínio maciço. Já o modelo todo em espuma metálica foi o que sofreu maior deformação plástica, porém, como mostram as Figuras 14 e 16, foi o que desacelerou mais lentamente, chegando a levar três vezes mais tempo para chegar ao mesmo ponto em que o modelo maciço em alumínio. Ou seja, com o *crash test*, fica evidente o comportamento da espuma metálica como um bom absorvedor da energia de impacto, uma vez que é o material que desacelera mais lentamente e conseqüentemente o que tem maior dissipação plástica (deformação), transferindo para o material maior parte da energia do impacto e não para o ocupante do veículo.

O importante no impacto, para que o habitáculo não seja atingido, é que a estrutura frontal seja capaz de absorver o máximo de energia cinética possível, para que esta não seja assimilada internamente ao veículo vindo a atingir os ocupantes. Para esta finalidade, segundo os *crash tests* realizados, a espuma metálica mostrou-se ideal.

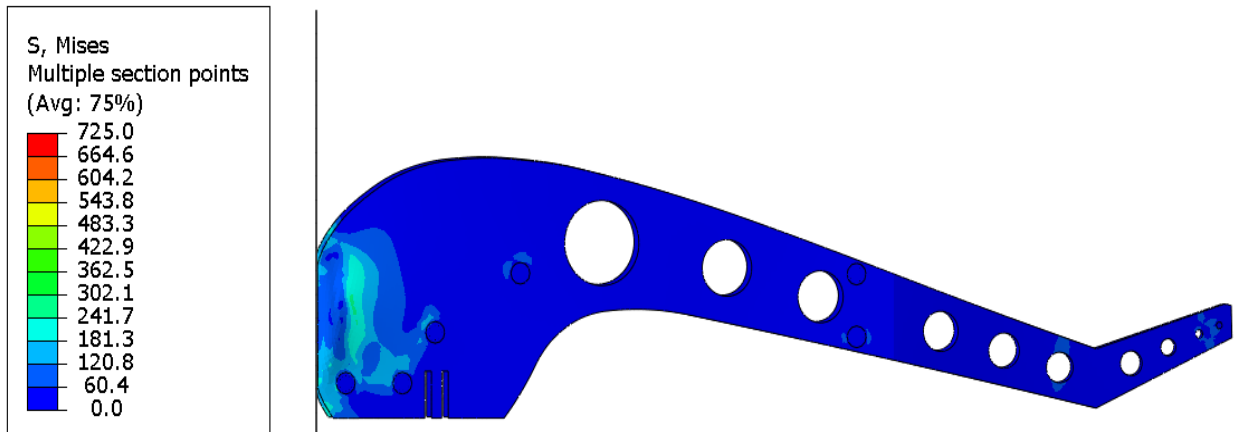


Figura 7: Visualização das tensões de Von mises para o ensaio de crash test. Modelo com laterais e barras em alumínio e preenchimento em espuma metálica. Gerado em parceria com Smarttech – SP (2009).

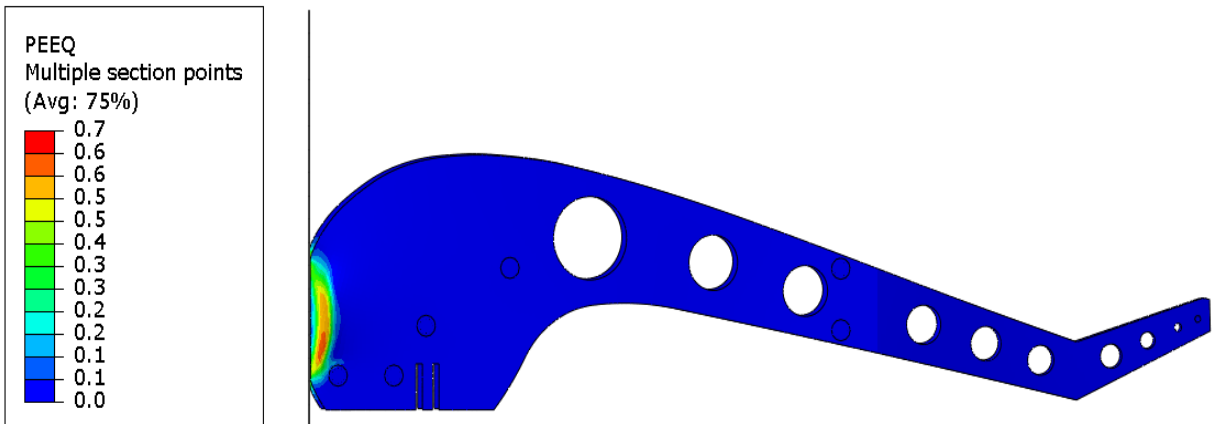


Figura 8: Visualização da deformação plástica equivalente para o ensaio de crash test. Modelo com laterais e barras em alumínio e preenchimento em espuma metálica. Gerado em parceria com Smarttech – SP (2009).

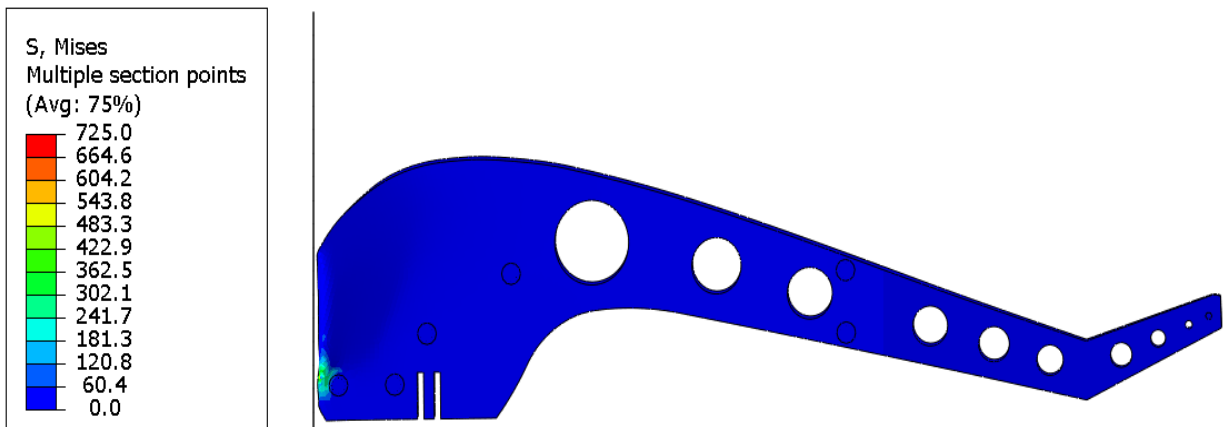


Figura 9: Visualização das tensões de Von mises para o ensaio de crash test. Modelo todo em espuma metálica. Gerado em parceria com Smarttech – SP (2009).

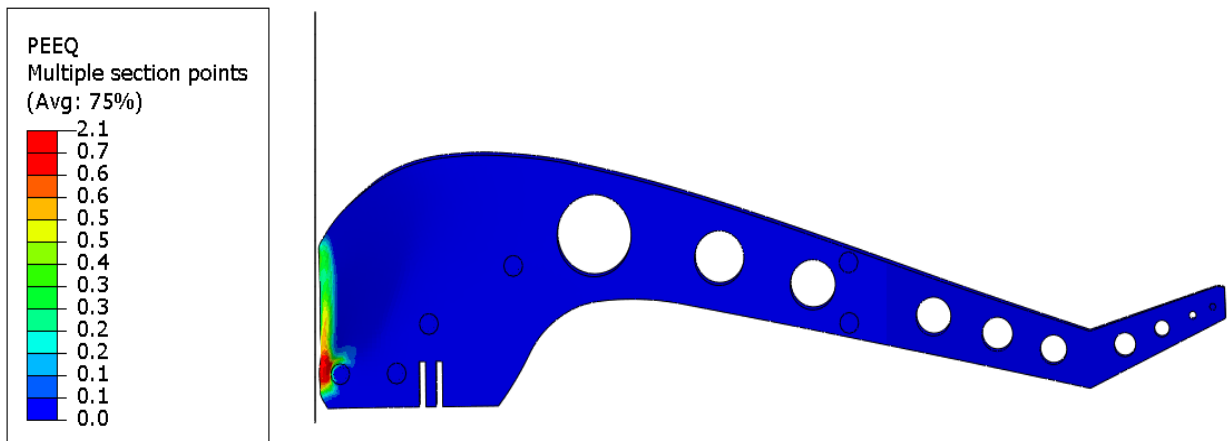


Figura 10: Visualização da deformação plástica equivalente para o ensaio de crash test. Modelo todo em espuma metálica. Gerado em parceria com Smarttech – SP (2009).

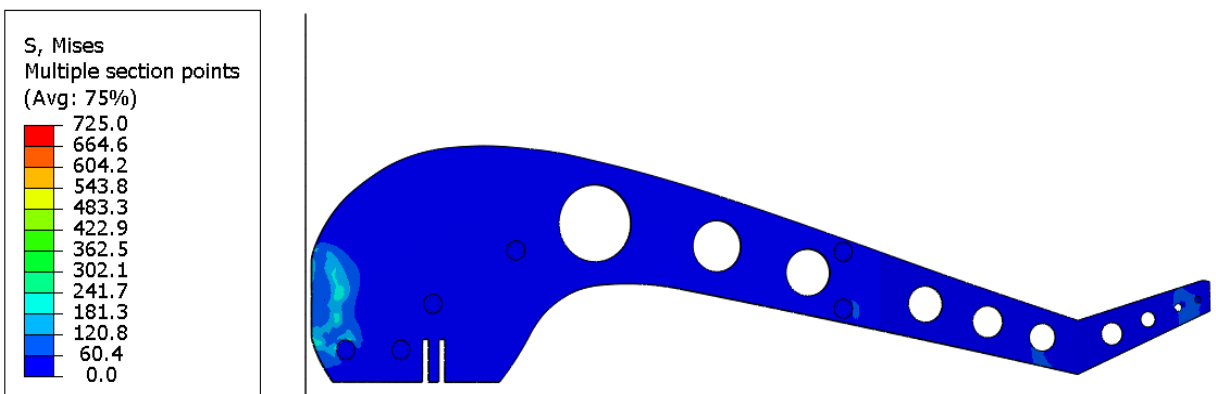


Figura 11: Visualização das tensões de Von Mises para o ensaio de crash test. Modelo todo em alumínio. Gerado em parceria com Smarttech – SP (2009).

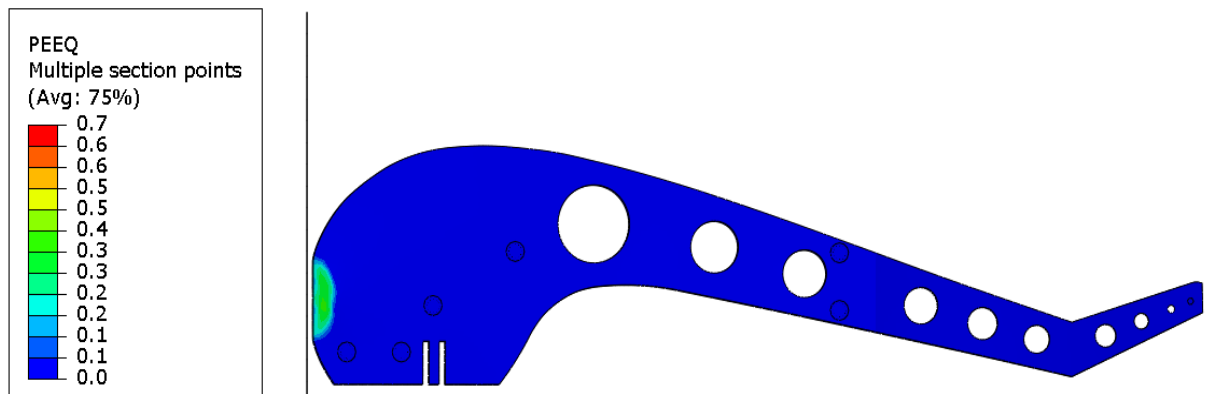


Figura 12: Visualização da deformação plástica equivalente para o ensaio de crash test. Modelo todo em alumínio. Gerado em parceria com Smarttech – SP (2009).

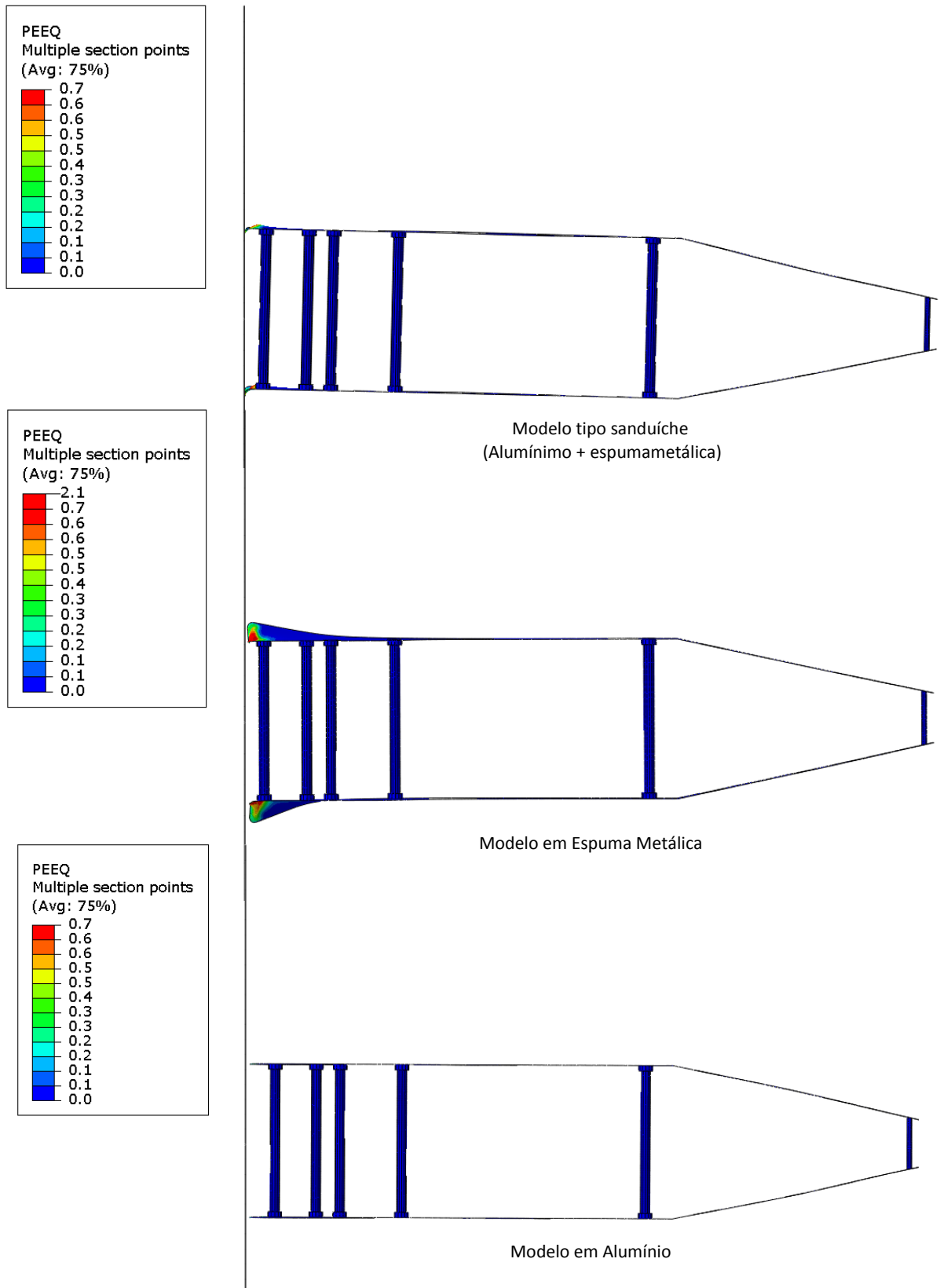


Figura 13: Comparativo da distribuição da deformação plástica no sistema para o modelo em seus três tipos de composição de materiais. Gerado em parceria com Smarttech – SP (2009).

Um veículo a 60km/h apresenta cerca de 44% a mais de energia do que um veículo de mesma massa a 50 km/h [21]. Outro conceito importante é o da conservação de energia. Ele estabelece que a energia total de um sistema se mantém sempre constante a não ser que haja transmissão de energia para fora do sistema. No caso de sistemas mecânicos a energia transmitida equivale ao trabalho realizado pelas forças na superfície dos corpos que é igual a força vezes a distância em que ela atua.

No caso de uma colisão, grande parte da energia será dissipada através da deformação da estrutura do veículo. Considerando-se dois veículos idênticos e na mesma velocidade, em ambos os casos (frenagem e colisão), o produto entre a força para parar o veículo e o tempo necessário para isso ($F \times dt$) é igual. A grande diferença é o balanceamento dessas grandezas. Em uma frenagem tem-se um tempo maior de desaceleração e, portanto, é necessária uma força menor para parar o veículo. No caso de uma colisão, o tempo para o veículo chegar ao repouso

é muito curto e para isso é necessária uma força extremamente maior [21].

A parcela de contribuição do veículo e a do sistema de retenção para absorção de toda a energia varia de veículo para veículo. Abordando sempre as colisões frontais, um veículo com estrutura dianteira mais rígida propicia maiores patamares de desaceleração para o interior do habitáculo, pois deforma relativamente menos. Porém, é capaz de suportar uma severidade maior de impacto sem que haja danos ao habitáculo. O raciocínio inverso também é válido. Veículos com estruturas menos rígidas mostram, até uma faixa de severidade, o benefício de absorver mais energia e propiciar patamares menores de desaceleração para os ocupantes.

Estruturas de materiais leves e resistentes, que não impliquem em aumento de massa, mas que sirvam de reforço e sejam projetadas numa concepção adequada são as mais eficientes em impactos.

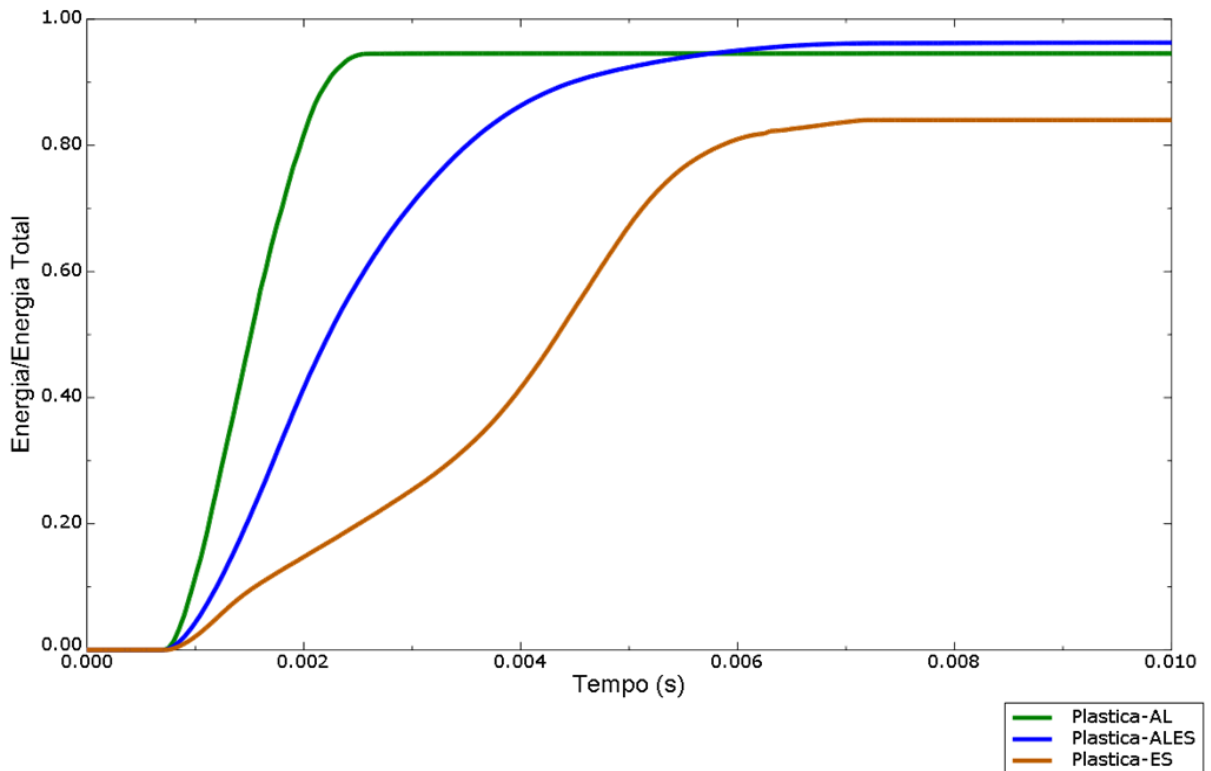


Figura 14: Comparativo da dissipação plástica no sistema para o modelo em seus três tipos de composição de materiais. Gerado em parceria com Smarttech – SP (2009).

Os ensaios de impacto, por serem considerados uma ferramenta poderosa de engenharia, constituem-se na melhor forma de se avaliar e propor soluções para avançar no processo de evolução técnica, no que diz respeito à proteção dos ocupantes em colisões veiculares. Estes, por sua vez, antes de serem realizados com modelo físico, podem ser feitos em ambiente virtual, como propõe este trabalho, para as primeiras análises e otimizações possíveis antes dos testes reais. Com mais esta ferramenta computacional, o projetista e empresa investidora têm a possibilidade de economizar tempo e investimentos que seriam empregados em testes físicos.

Além dos *crash tests*, ensaios dinâmicos em carrocerias, como *sled tests*, são muito comuns no desenvolvimento de

sistemas de retenção. As carrocerias são fixadas sobre um trenó de impacto que através de um sistema de desaceleração controlada (hidráulico, pneumático ou através da deformação de estruturas metálicas) propicia aos componentes do habitáculo patamares de desaceleração similares aos encontrados nas colisões reais. O mesmo procedimento pode ser simulado virtualmente, assim como todos os outros ilustrados na Figura 6.

5.2 Reparabilidade veicular

Durante o desenvolvimento de um veículo, a performance do mesmo em colisões à baixa velocidade também é avaliada no que diz respeito ao custo de reparo. O objetivo é que, após esse tipo de acidente, o menor número possível de peças

sejam danificadas. Essa avaliação determina, em alguns mercados, os valores do seguro que serão aplicados aos diferentes modelos de veículos. O foco principal de desenvolvimento recai sobre os sistemas de pára-choques (dianteiros e traseiros) e longarinas dianteiras e traseiras (Figura 15) [21]. A principal dificuldade reside em obter-se uma estrutura que atenda aos requisitos de baixo custo de reparo, mas que ao mesmo tempo atenda também aos requisitos de boa performance em colisões em altas velocidades. Desta forma, assim como vê-se na Figura 17, com a aplicação da espuma metálica além da estrutura, como em peças e sistema do veículo, pode-se desenvolver sistemas mais econômicos e de fácil reparabilidade.

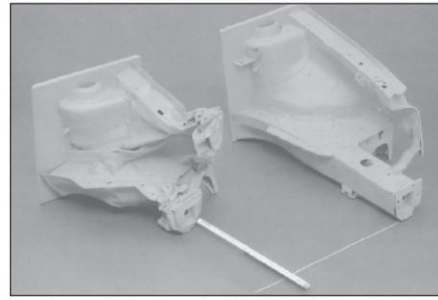


Figura 15: Longarinas dianteiras antes e após a deformação - otimização da absorção de energia do impacto [21].

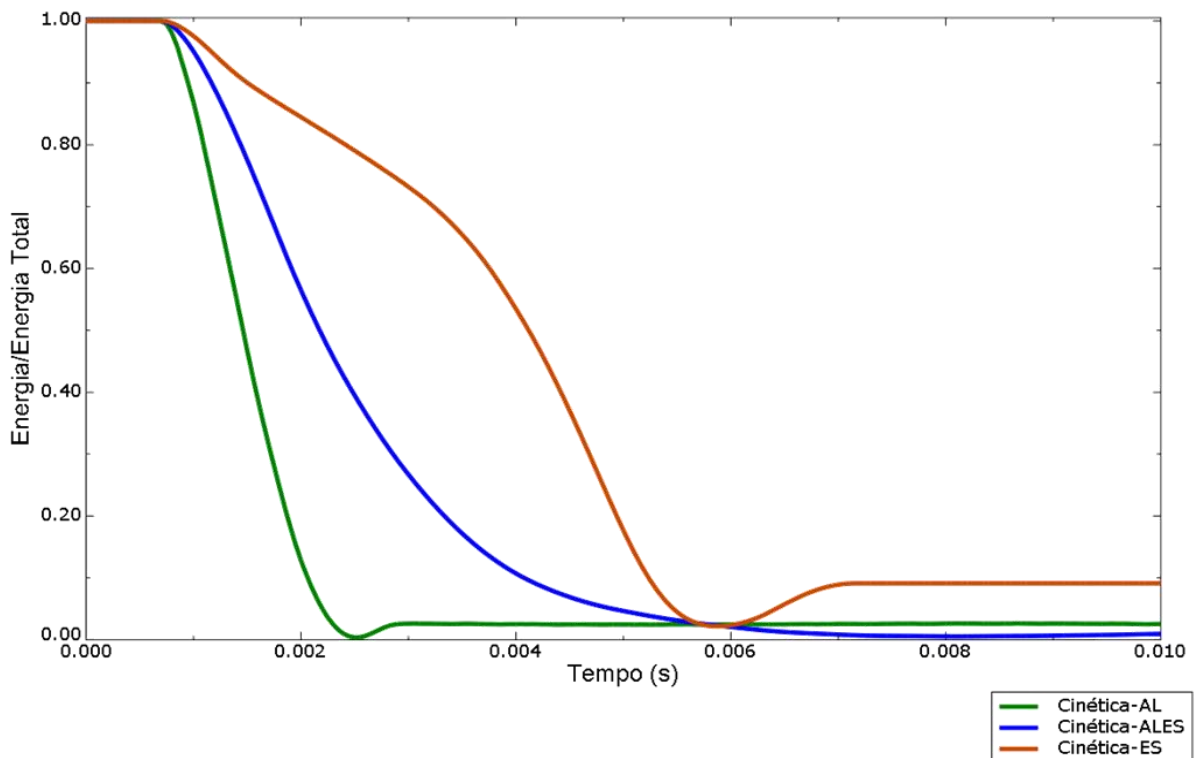


Figura 16: Comparativo da energia cinética no sistema para o modelo em seus três tipos de composição de materiais. Gerado em parceria com Smarttech – SP (2009).



Figura 17: Exemplos de modos de dissipação da energia de impacto frontal na estrutura do veículo – crash box [22].

Assim, dependendo da intensidade do impacto, pode-se trocar apenas uma parte do sistema ou até ele todo. Este tipo de aplicação diferenciada para o material contribui também para a viabilidade do mesmo e sua inserção do mercado.

6. CONSIDERAÇÕES FINAIS

A participação da estrutura do veículo no processo de absorção da energia envolvida nas colisões é fundamental. O compromisso que deve ser encontrado no que diz respeito à rigidez da estrutura é de extrema importância. Tomando como exemplo as colisões frontais, pode-se dizer que veículos com baixa rigidez em sua região frontal deformarão mais rapidamente, diminuindo, portanto, o tempo que os ocupantes possuem para chegar ao repouso. Por outro lado, caso o veículo apresente a região frontal muito rígida, a desaceleração será maior, havendo a necessidade de uma compensação no sistema de retenção dos ocupantes, através da utilização de recursos como *airbags* e *crash Box*, entre outros. Tudo é uma questão de gerenciamento da energia envolvida na colisão.

Como visto, pode-se afirmar que a boa proteção dos ocupantes durante o impacto depende principalmente de três fatores: uma conversão eficiente da energia cinética em trabalho de deformação; baixos níveis de desaceleração para

o ocupante e manutenção da integridade do habitáculo. De acordo com os testes realizados, segundo estes critérios, a espuma metálica apresenta bom comportamento para atender aos dois primeiros fatores, assim auxiliando muito para atender ao terceiro também.

Ainda, deveriam ser executados outros testes como *bump test* que considera irregularidade na pista para a estrutura inteira, considerando todos os sistemas do veículo, como o amortecedor.

Por fim, um estudo específico e detalhado sobre a viabilidade da aplicação de espumas metálicas em design automotivo, considerando a produção em massa e seu uso em casos em que o valor do investimento significa também valor agregado, como em segurança, pode tornar sua aplicação cada vez mais atrativa.

AGRADECIMENTOS

Ao Programa de Pós-Graduação em Design e Tecnologia – UFRGS, ao VID Virtual Design – Laboratório de Design Virtual da Universidade Federal do Rio Grande do Sul e ao LdsM – Laboratório de Design e Seleção de Materiais da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, ao suporte financeiro do CNPq, CAPES e PROPESQ/UFRGS, à REDEMAT – Rede Temática em Engenharia de Materiais (Projeto Sabiá 5) – Universidade do Estado de Minas Gerais, ao Engenheiro Newton Kiyoshi Fukumasu da Smarttech serviços SP.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1]. BOTELHO, R. D. *Eco-Design e Seleção de Materiais como Ferramentas para o Transportation Design – Estudo de Processos*. Dissertação de Mestrado. REDEMAT – Rede Temática em Engenharia de Materiais, Minas Gerais, 2003.
- [2]. BANHART, John. On the road: metal foams find favor. *Physics Today*, Bremen, Alemanha, 2002.
- [3]. ARBOR, A. *Driving Design*. Discovery Chanel, - EUA, 2003.
- [4]. DENIS, R. C. *Uma Introdução à história do Design*. São Paulo: Edgard Blücher Ltda, 2000.
- [5]. LÖBACH, B. *Design Industrial: Bases para a configuração dos Produtos Industriais*. São Paulo: Edgar Blücher Ltda, 2001.
- [6]. GOMES, J. *Ergonomia do objeto: Sistema Técnico de Leitura Ergonômica*. São Paulo: Escrituras Editora, 2003.
- [7]. ASHBY, Michael F. *Materials Selection in Mechanical Design*. Butterworth-Heinemann, Oxford, 2nd ed, 1999.
- [8]. Anfavea – Associação Nacional dos Fabricantes de Veículos Automotores. 50 anos da indústria automobilística no Brasil, 2006.
- [9]. ABAL - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DO ALUMÍNIO. Desenvolvida ABAL. Apresenta informações Gerais sobre o mercado do Alumínio no mundo e no Brasil, extração, aplicações, impacto. <<http://www.abal.org.br/desenvsust/introducao.asp>> Acesso em 11 de outubro de 2008.
- [10]. ASHBY, M. F. *Metal Foams: A Design Guide*. Butterworth-Heinemann, Oxford, 2000.
- [11]. OLIVEIRA, B. F., CUNDA, L. A. B., ÖCHSNER, A. and CREUS, G. J. Comparison Between RVE and Full Mesh Approaches for the Simulation of Compression Tests on Cellular Metals, *Materialwissenschaft und Werkstofftechnik*, Vol.39, No. 2, pp. 133-138, 2008.
- [12]. OLIVEIRA, B. F., CUNDA, L. A. B., ÖCHSNER, A. and CREUS, G. J. Hollow Sphere Structures: a Study of Mechanical Behaviour Using Numerical Simulation, *Materialwissenschaft und Werkstofftechnik*, Vol.40, No. 3, pp. 144-153, 2009.
- [13]. ÖCHSNER, A. and LAMPRECHT, K. On the uniaxial compression behavior of regular shaped cellular metals, *Mechanics Research Communications*, Vol. 30, pp. 573-579, (2003).
- [14]. JORGE, A. F., ARRUDA, A. C. F. *Espumas e Esponjas de alumínio em aplicações automotivas*. Universidade Estadual de Campinas, 2008.
- [15]. ALUSION METAL FOAMS. Desenvolvida por ALUSION. Informações técnicas - espumas metálicas. <<http://www.alusion.com/product.html>> Acesso em 05 de outubro de 2008.
- [16]. BANHART, J. *Manufacturing Routes for Metallic Foams*. Bremen, Alemanha, 2000.
- [17]. ÖCHSNER, A. On the uniaxial compression behavior of regular shaped cellular metals. *Mechanics Research Communications* 30, Erlangen, Alemanha, 2003.
- [18]. ALVES, F. A. CAE – Entenda o método de análise por elementos finitos. *CAD Design*, no 118, Ibéria Editora, 2007.
- [19]. MOREIRA, M. E. CAE – Menos erros de projetos e mais lucro. *CAD Design*, nº 118, Ibéria Editora, 2007.
- [20]. CARDOSO, E. *Estudo do emprego da espuma metálica no design automotivo*. 2009. Dissertação (Mestrado em Design) PgDesign, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2009.
- [21]. BERTOCCHI, M. *Segurança Veicular*. Skill Ed., Curitiba, Paraná, 2005.
- [22]. ERGAEROSPACE. Desenvolvida por ERGAEROSPACE. Apresenta informações técnicas e comerciais sobre Espumas Metálicas. Disponível em: <<http://www.ergaerospace.com/FAQ.htm#rawprice>> Acesso em 10 de janeiro de 2009.