

CARACTERIZAÇÃO E APLICAÇÃO DA ESPUMA METÁLICA NO DESIGN AUTOMOTIVO¹

Eduardo Cardoso²
Branca Freitas de Oliveira³

Resumo

O desenvolvimento tecnológico, com novos materiais e processos fabris, juntamente com as crescentes demandas por novos materiais cada vez mais eficientes, têm gerado necessidades de conhecimentos interdisciplinares, bem como, de profissionais cada vez mais capacitados. Frente a tal situação, verificou-se uma oportunidade para o desenvolvimento deste trabalho, pois o estudo de espumas metálicas tornou-se atrativo para pesquisadores interessados em aplicações tanto científicas quanto industriais no setor automotivo e para tanto precisa-se pesquisar e compreender melhor seu processo de fabricação, caracterização e diferentes possibilidades de aplicação.

Palavras-chave: Espumas metálicas; Aplicação; Design automotivo; Elementos finitos.

CHARACTERIZATION AND APPLICATION OF METALLIC FOAMS IN THE AUTOMOTIVE DESIGN

Abstract

The technological development with advanced materials and processes, together with the growing demand for more efficient materials has created a need for interdisciplinary knowledge and more capacitated professionals. Considering that the study of the metallic foams has become very interesting for the automotive industry taking into account that many applications are envisaged for such materials, it is verified the opportunity for the development of the present work. In order to employ these materials as a main component in structures, it is necessary to have reliable knowledge about the properties, characterization, fabrication and application of the foam and the base material.

Key words: *Metallic Foams, Application, Automotive Design, Finite Elements.*

¹ *Contribuição técnica ao 64º Congresso Anual da ABM, 13 a 17 de julho de 2009, Belo Horizonte, MG, Brasil.*

² *Mestre em Design e Tecnologia – UFRGS, Professor Substituto UFRGS, Professor e Coordenador do Curso de Design de Produto Unilasalle – RS.*

³ *Doutora em Engenharia Civil – UFRGS, Professora adjunta da UFRGS, Bolsista de produtividade em pesquisa do CNPq e Consultora ad-hoc do CNPq.*

1 INTRODUÇÃO

Automóveis e veículos de transporte de todos os tipos tornaram-se símbolos de mobilidade e liberdade. São essenciais em nossa vida diária e, segundo Larica,⁽¹⁾ não é surpresa que a fabricação destes produtos constitua-se no maior conjunto de atividades de negócio no mundo hoje. 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 dos mesmos no mercado mundial. Neste novo cenário, os fabricantes de veículos precisam atender a solicitações cada vez mais complexas integrando, então, estilo, economia, performance, praticidade, tecnologia e, principalmente, nos dias de hoje, preservação da natureza através do desenvolvimento sustentável. Assim sendo, para criar um produto e/ou sistema em condições de competir com os já existentes, é necessário inovar com a pesquisa em design, novos materiais e processos de fabricação, entre outros.

Segundo Condotta,⁽²⁾ o setor automotivo, ao longo de muitos anos, tem guiado o desenvolvimento e o lançamento de novos produtos e materiais no mercado, servindo como referência para outros setores. Trata-se de um setor de intensa renovação tecnológica, em que a pesquisa e o desenvolvimento estão fortemente associados ao sucesso deste mercado.

Assim, a ênfase deste artigo está dirigida ao estudo da aplicação da espuma metálica no design de veículos com o estudo de caso: chassi do veículo Sabiá 5 - UEMG, com o propósito de caracterizar e estudar o comportamento mecânico e possíveis alternativas de projeto e inovação no design automotivo.

1.1 Objetivos

A presente pesquisa propõe-se a estudar, caracterizar, modelar e simular pelo método de elementos finitos a aplicação da espuma metálica no design automotivo como alternativa para redução de peso, ganho de performance e diminuição do impacto no ambiente natural através do estudo de caso: Chassi do veículo Sabiá 5. Objetiva-se, ainda, despertar o interesse por novos materiais, sua caracterização e aplicações, além de ressaltar as responsabilidades e possibilidades da atuação dos designers no desenvolvimento de produtos com redução do impacto ambiental.

1.2 Justificativa

O desenvolvimento e a pesquisa de novos materiais, mais sofisticados e especializados, a um custo mais acessível e dentro de uma cultura de preservação da natureza e maior qualidade de vida, demanda uma maior integração interdisciplinar entre os pesquisadores de diferentes áreas de conhecimento, além de uma comunicação efetiva com o mercado. Na busca de novos materiais, as espumas metálicas vêm se mostrando fortes aliadas na construção de estruturas cada vez mais leves e resistentes, gerando economia e bom desempenho, porém, atualmente, ainda existe carência de estudos computacionais e bibliografia nacional tratando da caracterização e aplicações para estes materiais.

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

confiabilidade dos resultados com dados correlacionados com a realidade, além da diminuição de tempo gasto com alterações do produto.

2 MATERIAIS E MÉTODOS

2.1 Design e Inovação

Para Denis,⁽³⁾ a palavra designer foi empregada pela primeira vez no século 17 pelo *Oxford English Dictionary*. 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 Löbach,⁽⁴⁾ 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 Gomes,⁽⁵⁾ 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,⁽⁶⁾ 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.

2.2 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 Anfavea,⁽⁹⁾ 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 ABAL,⁽¹⁰⁾ 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. Estudos demonstram que as 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,⁽⁷⁾ o valor economizado com aplicação de materiais mais leves no design de transportes pode chegar a US\$ 10.000,00 em um veículo espacial, conforme a Quadro 1.

Quadro 1: Economia com a redução de Peso em Veículos de Transporte⁽⁷⁾

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

2.3 Aplicações para Espumas Metálicas

Segundo Oliveira,⁽¹¹⁾ os metais celulares são uma nova, e ainda não perfeitamente caracterizada, classe de materiais. 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. Para Banhart,⁽¹²⁾ apresentam combinações interessantes de propriedades físicas e mecânicas, como alta rigidez combinada a peso específico muito baixo.

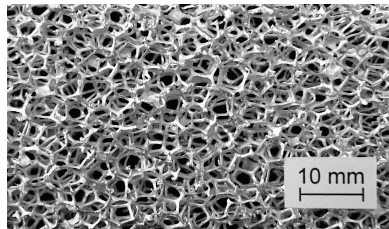


Figura 1: Espuma de alumínio com célula aberta (DUOCEL®).⁽¹¹⁾

Segundo Jorge e Arruda,⁽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.

2.4 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.

De acordo com Banhart,⁽⁸⁾ as espumas metálicas oferecem a possibilidade de solução para alguns destes problemas. Uma aplicação ideal seria quando um mesmo componente, com peso reduzido, capaz de absorver energia em caso de

impacto também é 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), em 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.

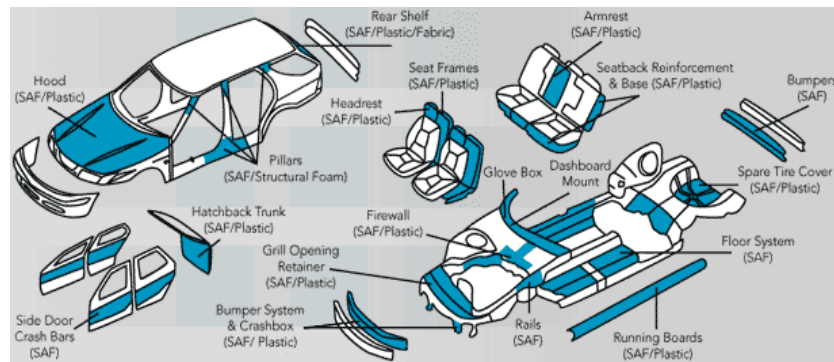


Figura 2: Aplicação de Espuma Metálicas no Design Automotivo.⁽¹⁴⁾

Segundo Banhart,⁽⁸⁾ 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. Tal comportamento é ilustrado pela Figura 3 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.

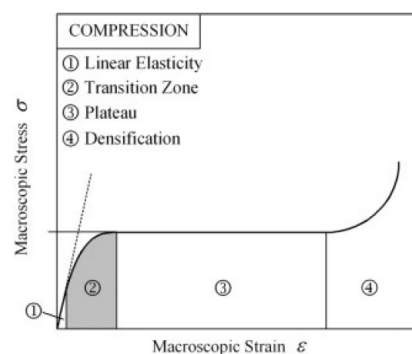


Figura 3: Curva tensão-deformação para Espumas Metálicas mostrando sua capacidade de absorção de energia sob tensão constante.⁽¹⁵⁾

Segundo Jorge e Arruda,⁽¹³⁾ este platô caracteriza, conforme citado anteriormente, uma grande capacidade de absorção da energia mecânica pelo

material celular sob tensão constante. Após esta etapa, a inclinação da curva começa a subir indicando o colapso da estrutura e, portanto, a compactação e adensamento do material empregado.

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%. Segundo Ashby,⁽⁷⁾ 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. 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.

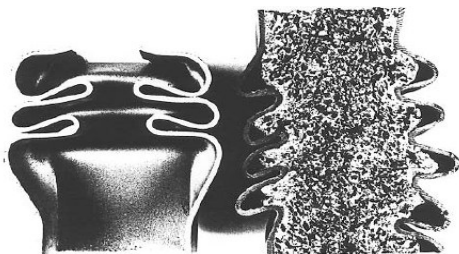


Figura 4: Seções de tubos após impacto parcial, com e sem espuma metálica em seu interior.⁹⁷⁾

Somente para ilustrar, as espumas metálicas tem ainda aplicação na indústria da Construção Civil em painéis para revestimento e aplicação em fachada, na estruturação destes painéis e em painéis de elevadores, além de sua utilidade em decoração, como em painéis internas, 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.

2.5 Metodologia

O presente trabalho caracteriza-se por ser exploratório, realizado através de procedimentos técnicos de Pesquisa e Revisão Bibliográfica para fundamentação teórica dentro do tema proposto e de Estudo de Caso para modelagem, simulação, validação e aplicação da Metodologia Proposta, apresentada conforme estrutura abaixo:

- revisão bibliográfica para caracterização das Espumas Metálicas, seus processos de fabricação, aplicação etc.;
- 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;

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

- simular o comportamento do chassi com materiais convencionais, no caso, aço e alumínio empregando o programa de elementos finitos Abaqus CAE;
- comparar os resultados para análise da estrutura em estudo;
- 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 o novo material para análise da estrutura com o emprego do programa de elementos finitos Abaqus CAE;
- comparação dos resultados da simulação de material com porosidade com resultados experimentais existentes, conforme bibliografia.⁽¹³⁾ Nesta fase o objetivo é validar o modelo para materiais porosos verificando se o mesmo é representativo do comportamento dos metais celulares;
- avaliação dos resultados obtidos com aplicação da espuma metálica na estrutura proposta frente aos materiais convencionais; e
- análise da viabilidade do emprego de espuma metálica em design automotivo através do desenvolvimento inicial de um Modelo de Plano de Negócio como ferramenta para esta avaliação.

2.5.1 Coleta de dados: seleção e propriedades 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.

2.5.2 Métodos de 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. Além disso, muitas vezes, a geometria tem que ser simplificada nos seus detalhes 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 no modelo 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 através do cálculo. 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.

2.5.3 Tecnologia CAE – o método dos elementos finitos – Abaqus/CAE

Segundo Alves,⁽¹⁶⁾ 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. Esses elementos 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 instância e não todos os pontos da estrutura. Porém, julga-se que estes nós, se escolhidos em número suficiente, determinem as tensões e deformações sofridas pela estrutura com precisão, para então avaliar se a mesma atende às solicitações desejadas. Assim, se um modelo possuir 10.000 nós, o software só calculará os deslocamentos, por exemplo, destes pontos, mas supõe-se que eles sejam suficientes para representar o comportamento de todo conjunto. Segundo Moreira,⁽¹⁷⁾ 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. Com estes recursos, diminui-se custos de produção, com utilização da Engenharia Preditiva.

Segundo Moreira,⁽¹⁷⁾ a correção de uma falha no protótipo digital pode levar alguns minutos ou no máximo horas e não custar praticamente nada em comparado a correções em modelos físicos, mas se esta falha não for detectada durante a fase de projeto, chegar à produção e só for detectada quando o produto já estiver no mercado, a reparação do erro pode custar milhões de reais e ainda prejudicar a imagem da empresa.

2.6 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. 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).

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 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.

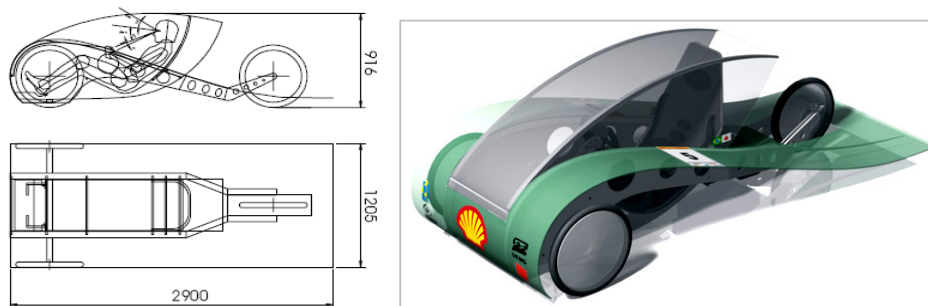


Figura 5: Veículo Sabiá 5 – UEMG – Desenho e conceito volumétrico geral. ⁽¹⁹⁾

3 RESULTADOS

3.1 Simulação do Estudo de Caso: Sabiá 5

Para as simulações estáticas realizadas neste trabalho o material selecionado (espuma metálica) foi caracterizado conforme suas propriedades mecânicas para elasticidade e plasticidade, as condições de contorno foram dadas conforme a Figura 6 e o carregamento aplicado como *body force* (força por volume do modelo) de acordo com a coleta de dados. Foi aplicado primeiramente o peso próprio e depois submetida a estrutura à dois testes de deslocamento, simulando irregularidades da pista, primeiramente na roda traseira e posteriormente em uma das rodas dianteiras. Estes testes foram repetidos, sempre aprimorando a estrutura em espuma metálica para que a mesma atendesse às solicitações da situação (Figura 7).

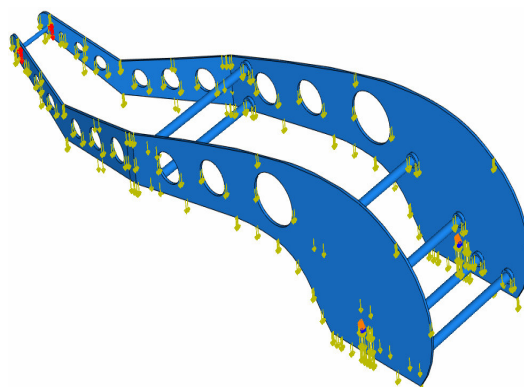


Figura 6: Condições de Contorno.

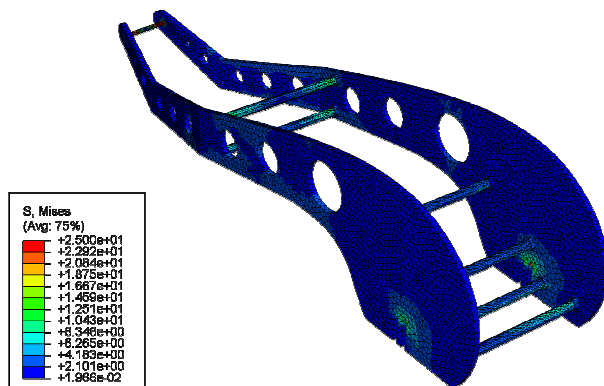


Figura 7: Visualização das Tensões (MPa).

A malha para cada modelo tem, no mínimo 30.000 elementos chegando a 494.000 elementos para o estudo do modelo com aplicação de dois materiais: estrutura externa e barras em alumínio e preenchimento interno (12 mm) em espuma metálica.

De acordo com as simulações estáticas realizadas chega-se ao Quadro 2, onde explica-se a estrutura de cada modelo, propriedades do material aplicado, peso próprio de cada modelo e tensões máximas para os dois deslocamentos simulados: traseiro e dianteiro em uma roda.

Quadro 2: Economia com a redução de Peso em Veículos de Transporte

Material	Limite Elástico (MPa)	Peso Próprio	Deslocamento Traseiro Tensões Máximas	Deslocamento Dianteiro Tensões Máximas
Espuma Metálica Laterais 6mm / Barras 16mm	25 MPa	6,90 kg	Acima de 25 MPa	Acima de 25 MPa
Alumínio Laterais 9mm / Barras 16mm	280 MPa	29,86 kg	90,86 MPa	Acima de 280 MPa
Espuma Metálica Laterais 9mm / Barras 16mm	25 MPa	11,85 kg	20,58 MPa	Acima de 25 MPa
Espuma Metálica Laterais 15mm / Barras 32mm	25 MPa	18,14 kg	1,66 MPa	Acima de 25 MPa
Espuma Metálica Laterais 20mm / Barras 32mm	25 MPa	23,38 kg	2,24 MPa	35 – 52 MPa
Laterais em Alumínio 1mm Barras em Alumínio 32mm Preenchimento em Espuma Metálica 12mm	280 Mpa (Al) 25 MPa(Es. Mt.)	24,88 kg	30,75 MPa (Al) 1,73 MPa (Es. Mt.)	270 MPa (Al) 24,59 MPa (Es. Mt.)

Na prática o modelo estático de elementos finitos está distante de representar a realidade dos problemas de engenharia automotiva. Para tanto, são propostas as simulações dinâmicas a partir das simulações estáticas realizadas. Estas novas simulações têm como função principal chegar a um resultado mais próximo da realidade, para tanto, uma vez que em teste estático o modelo apresentou algumas deficiências, propõe-se novamente a alteração na geometria do modelo para a realização dos testes dinâmicos. Para teste, o modelo é composto por paredes laterais (2 mm) e barras em alumínio (32 mm), estas com sua geometria também alteradas para evitar acúmulo de tensão na ligação barra/lateral. O preenchimento deste sanduíche das laterais é feito com 12 mm de espuma metálica em cada lado (Figura 8).

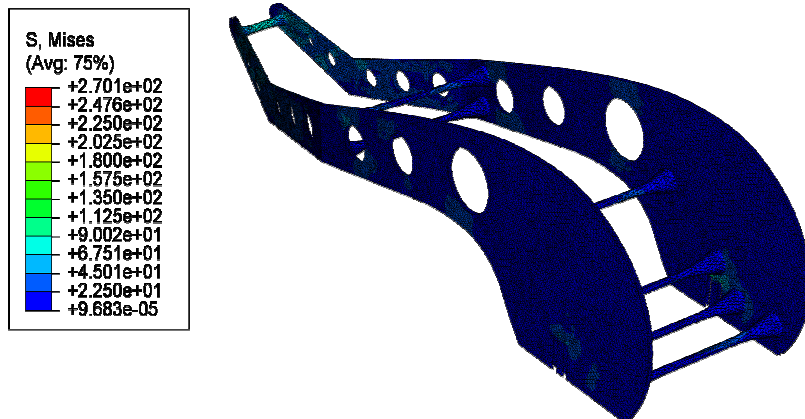


Figura 8: Visualização das tensões de Von Mises (MPa).

No modelo apresentado acima as tensões foram inferiores ao limite elástico de cada material, não apresentando assim deformação plástica nas situações simuladas, nem o acúmulo de tensão nas áreas de ligação entre as barras e as laterais, devido à nova geometria das mesmas.

Uma resposta muito importante que pode ser obtida é a rigidez dinâmica de uma estrutura através da avaliação de seus modos de vibrar e respectivos valores de frequências naturais (análise modal). Estes testes também foram realizados, porém não serão apresentados neste artigo.

4 DISCUSSÃO

Percebe-se ainda que a aplicação da espuma metálica é bastante complexa principalmente em virtude da geometria do modelo e da situação de simulação dinâmica. Porém os resultados das simulações apresentadas, como visto anteriormente, validam a metodologia empregada e explicitam os potenciais recursos das ferramentas computacionais utilizadas para o desenvolvimento de melhorias e otimização da estrutura, como a redução de peso do produto.

5 CONCLUSÃO

De acordo com o estudo de caso, pode-se afirmar que a metodologia apresentada para análise e simulação estrutural de veículos mostrou-se viável de acordo com resultados obtidos no desenvolvimento do trabalho para o modelo em estudo e que esta mesma metodologia pode ser aplicada como ferramenta no desenvolvimento de projeto de produto de outros tipos de veículos.

Pode-se destacar, ainda, que o setor automotivo proporciona constantes desafios para os profissionais e empresas que nele atuam, pelo seu expressivo volume, competição mundial, base tecnológica, capacidade de investimento e alto nível de exigência em aspectos como design, conforto, segurança e desempenho, tanto pela indústria quanto pelo consumidor. E ainda, que, através das simulações realizadas pode-se verificar que, atualmente e no futuro, o ponto chave em design automotivo é a possibilidade de explorar o maior número de alternativas possíveis no menor espaço de tempo para atender às demandas anteriormente citadas.

Como desafios e oportunidades, tem-se o estudo contínuo e sistemático a ser realizado das potenciais aplicações para as espumas metálicas, assim como estudo

mais aprofundado sobre suas propriedades, limitações, métodos produtivos e caracterização detalhada para com isso possibilitar sua produção em larga escala e com devido controle para uma ampla gama de aplicações. Dentre as sugestões para trabalhos futuros pode-se destacar:

- Acrescentar outras análises dinâmicas, tais como frenagem, aceleração e desaceleração em reta e em curva, para estudar os carregamentos advindos de curvas, manobras e frenagens, além de elaborar uma metodologia para definição e análise dos pontos críticos da estrutura. Além destes, ainda realizar *crash tests* com modelos compostos por diferentes materiais para evidenciar as propriedades das espumas metálicas, tais como absorção da energia do impacto, frente aos demais materiais, como visto anteriormente. Estes testes estão em andamento.
- Realizar o ensaio de Bump levando em consideração maiores irregularidades do pavimento isoladamente e em toda estrutura ao mesmo tempo, levando, ainda, em consideração demais sistemas do veículo como de amortecimento.
- Realizar os testes com outros *softwares* de simulação através do método dos elementos finitos, como Adams, Nastran, Ansys, etc.

Agradecimentos

Agradeço ao Programa de Pós-Graduação em Design e Tecnologia – UFRGS, à Profa. Dra. Branca Freitas de Oliveira, orientadora deste trabalho, 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.

REFERÊNCIAS

- 1 LARICA, N. J. Design de transportes – Arte em função da mobilidade. Rio de Janeiro: 2ab ed, 2003.
- 2 CONDOTTA, A. S. Melhoria do Processo de Desenvolvimento de Produto em uma Empresa do Setor Automotivo. Mestrado Profissionalizante em Engenharia – Escola de Engenharia da Universidade Federal do Rio Grande do Sul – UFRGS, Porto Alegre, 2004.
- 3 DENIS, R. C. Uma Introdução à história do Design. São Paulo: Edgard Blücher, 2000.
- 4 LÖBACH, B. Design Industrial: Bases para a configuração dos Produtos Industriais. São Paulo: Edgar Blücher Ltda, 2001.
- 5 GOMES, J., Ergonomia do objeto: Sistema Técnico de Leitura Ergonômica. São Paulo: Escrituras Editora, 2003.
- 6 ASHBY, Michael F. Materials Selection in Mechanical Design. Butterworth-Heinemann, Oxford, 2nd ed, 1999.
- 7 ASHBY, Michael F. Metal Foams: A Design Guide. Butterworth-Heinemann, Oxford, 2000.
- 8 BANHART, John. Manufacturing Routes for Metallic Foams. Bremen, Alemanha, 2000.
- 9 Anfavea – Associação Nacional dos Fabricantes de Veículos Automotores. 50 anos da indústria automobilística no Brasil, 2006.
- 10 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.

- 11 OLIVEIRA, B. F.; CUNDA, L. A. B.; ÖCHSNER, A., CREUS, G. J. Comparison between RVE and Full Mesh Approaches for the Simulation of Compression Tests on Cellular Metals. In: ACE-X - 2007 Advanced Computational Engineering and Experimenting, Algarve 2007.
- 12 BANHART , John. On the road: metal foams find favor. Physics Today, Bremen, Alemanha, 2002.
- 13 JORGE, A. F., ARRUDA, A. C. F. Espumas e Esponjas de alumínio em aplicações automotivas. Universidade Estadual de Campinas, 2008.
- 14 ALUSION METAL FOAMS. Desenvolvida por ALUSION. Informações técnicas - espumas metálicas. <<http://www.alusion.com/product.html>> Acesso em 05 de outubro de 2008.
- 15 OCHSNER, Andréas. On the uniaxial compression behavior of regular shaped cellular metals. Mechanics Research Communications 30, Erlangen, Alemanha, 2003.
- 16 ALVES, F. A. CAE – Entenda o método de análise por elementos finitos. CAD Design, nº 118, Ibéria Editora, 2007.
- 17 MOREIRA, M. E. CAE – Menos erros de projetos e mais lucro. CAD Design, nº 118, Ibéria Editora, 2007.
- 18 RICARDO, L. C. H. CAE – tecnologia ajuda montadoras a aumentar segurança de automóveis. CAD Design, nº 118, Ibéria Editora, 2007.
- 19 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.