

Modelagem e fabricação de um atenuador de impacto aplicado a veículos do tipo formula, utilizando ferramenta CAD.

João P. B. de Miranda¹, Francisco E. N. Fraga²

Resumo: A competição Formula SAE BRASIL, fomentada pela *Society of Automotive Engineers* (SAE) tem como objetivo incentivar estudantes de engenharia desenvolver o projeto de um veículo do tipo Fórmula de propulsão elétrica. Para participar da competição as equipes devem atender a diversos quesitos de engenharia, inclusive de segurança veicular, dentre estes destaca-se o projeto do atenuador de impacto, um elemento que serve para absorção de energia em caso de colisão frontal e fica localizado no anteparo frontal do veículo. O presente trabalho teve como objetivo descrever o processo de modelagem e fabricação de um atenuador de impacto para um veículo do tipo Fórmula Elétrico, utilizando como ferramenta de modelagem um programa de desenho CAD 3D, além de, descrever as condições de contorno que precisam ser adotadas como critérios de projeto de engenharia para uma futura simulação computacional por elementos finitos deste elemento. As propriedades do alumínio 1100 H14 e do aço 1020 precisam ser corretamente inseridas (módulo de Young, coeficiente de Poisson, densidade). A simulação deve prever critérios de deformação e garantir que a desaceleração não exceda 20 g em média e 40 g no pico. O regulamento da SAE BRASIL estabelece parâmetros para o projeto e construção do atenuador, como tamanho máximo e capacidade de absorção de energia mínima. O atenuador foi modelado em 3D no programa SolidWorks versão estudantil. A geometria base de modelagem consistiu de um tronco de pirâmide, com a base maior medindo 195,88mm x 295,88mm e a base menor 200mm x 100mm, vazio, com 1,5 mm de espessura de parede, montado em uma placa de anti-intrusão localizada na parte frontal do cockpit do veículo. Os materiais utilizados para o atenuador e a placa anti-intrusão foram respectivamente chapa de alumínio AL 1100 e chapa de aço carbono ABNT 1020. Este modelo foi escolhido com base no regulamento da SAE BRASIL. A modelagem no programa Solidworks foi utilizada tanto para definir disposição geométrica do atenuador na estrutura do veículo, bem como possibilitar obter impressões bidimensionais em papel A3 das faces do atenuador para realizar a confecção do modelo mais fiel possível ao desenho 3D. Relativo ao delineamento das condições de contorno para simulação por elementos finitos, podemos destacar a fixação rígida à placa anti-intrusão, contato sem penetração com a superfície de impacto e restrição de movimento apenas na direção do impacto, a velocidade inicial deve ser de 7 m/s, com um corpo traseiro pesando 300 kg, que será considerado como o veículo. O resultado final deste trabalho viabilizou a construção de um elemento atenuador de impacto dentro dos quesitos dimensionais estipulados pelo regulamento da SAE BRASIL. O protótipo construído foi submetido à ensaio mecânico em máquina de compressão e gerou resultados que poderão ser usados para validar uma futura simulação computacional por elementos finitos. Relativo às condições de contorno necessárias para simulação, este estudo permitiu apontar o comportamento da deformação do atenuador para validar uma simulação computacional futura.

Palavras-chave: *atenuador de impacto, modelagem 3D, construção mecânica, simulação por E.F.*

1. INTRODUÇÃO

A segurança é uma prioridade constante na indústria automobilística, particularmente em veículos de competição como os carros do tipo Fórmula. Impactos de alta velocidade representam um risco significativo para pilotos e, portanto, a concepção e a fabricação de atenuadores de impacto eficazes são essenciais para minimizar lesões. Este estudo apresenta um procedimento abrangente de modelagem e fabricação de um atenuador de impacto, visando melhorar a segurança dos veículos de Fórmula. Um atenuador de impacto é um elemento projetado para absorver energia em caso de colisão frontal. De acordo com [1], a mecânica é a área responsável pela criação, planejamento e gerenciamento em várias etapas da produção industrial do setor automobilístico, sendo empregada desde a etapa inicial de concepção até as avaliações de segurança após a fabricação do veículo.

Os principais aspectos desta pesquisa foram voltados à dissipação da energia cinética durante o impacto frontal, e sua deformação deve ser o mais progressivo possível, com foco na avaliação da desaceleração inicial, que deve ser a menor possível para evitar danos aos ocupantes [2][7][8] A competição Fórmula SAE BRASIL, organizada pela *Society of Automotive Engineers* (SAE), incentiva estudantes de engenharia a desenvolverem veículos do tipo Fórmula, destacando-se a importância da segurança.

Os dispositivos de segurança, como os atenuadores de impacto, são essenciais para reduzir a velocidade de um veículo de forma gradual em caso de colisão, preservando a estrutura principal (habitáculo) e garantindo a

segurança dos ocupantes [3]. Este dispositivo está localizado no anteparo frontal do veículo.

Embora o regulamento da Fórmula SAE permita flexibilidade no design do atenuador de impacto, ele estabelece dimensões mínimas obrigatórias. O atenuador deve ter a base de no mínimo 200 mm de comprimento, 100 mm de altura e 300 mm de largura. Essa flexibilidade permite que as equipes explorem diferentes formas geométricas, como o tronco de pirâmide ou geometrias retangulares, para otimizar a absorção de energia. O design escolhido deve atender aos requisitos de absorção de energia e desaceleração, sendo que a deformação progressiva e controlada é fundamental para garantir a eficácia do dispositivo.

Em uma colisão frontal, a análise da geometria do atenuador de impacto é fundamental para determinar se ele cumpriu sua função. O atenuador deve se deformar de maneira controlada e previsível, distribuindo a aceleração no tempo de forma progressiva para minimizar o pico de desaceleração. Formas como o tronco de pirâmide são escolhidas frequentemente, pois permitem uma deformação mais progressiva e eficiente. Além disso, a integridade estrutural do atenuador deve ser preservada, sem falhas catastróficas, como fraturas ou colapsos. O desempenho ideal é alcançado quando o atenuador se deforma de maneira eficaz sem comprometer a segurança do piloto ou do veículo.

Muitas equipes da Fórmula SAE utilizam materiais como a espuma de PVC Divinycell H60 e estruturas honeycomb de alumínio na fabricação dos atenuadores de impacto, devido à sua excelente capacidade de absorção de energia e resistência à deformação. A escolha dos materiais é orientada por fatores como peso, custo, disponibilidade e facilidade de fabricação [5][11]. O presente estudo descreve o processo de modelagem e fabricação de um atenuador de impacto para um veículo Fórmula Elétrico, utilizando um programa CAD 3D como ferramenta principal.

Este trabalho contribui para o desenvolvimento de uma das principais formas de projetar um atenuador de impacto, destacando a importância de programa 3D, como o SolidWorks, para otimizar o desempenho final do produto. Além disso, foram delineadas as condições de contorno essenciais para uma futura simulação computacional por elementos finitos, como a fixação do atenuador à placa anti-intrusão, o contato com a superfície de impacto e as propriedades mecânicas dos materiais envolvidos.

Complementando o estudo, foi realizado um ensaio estático destrutivo de compressão de um protótipo do atenuador de impacto, fabricado conforme o projeto, servindo como base de experiência para ensaios futuros, oferecendo dados valiosos para aprimorar o projeto, e também como uma análise preliminar para uma futura simulação computacional.

2. DESENVOLVIMENTO

A modelagem do atenuador de impacto foi realizada utilizando o programa CAD 3D SolidWorks. Este processo envolveu a criação de um modelo tridimensional que representasse fielmente a geometria e as características dimensionais do atenuador. O modelo foi baseado nas diretrizes estabelecidas pelo regulamento da SAE Brasil para garantir a conformidade com os padrões de segurança e desempenho exigidos na competição Fórmula SAE.

O regulamento da SAE Brasil especifica requisitos para dois tipos de atenuadores, um com o modelo padrão e outro com geometria personalizada, que foi o modelo escolhido para este trabalho, garantindo sua eficácia na proteção do piloto em caso de colisões frontais. A modelagem no SolidWorks permitiu a visualização detalhada do atenuador e sua disposição geométrica dentro da estrutura do veículo.

Os requisitos exigidos pelo regulamento são que o atenuador deve ser montado com a sua borda inferior, no mínimo, 220mm acima do ponto mais baixo no topo da estrutura de impacto lateral [11].

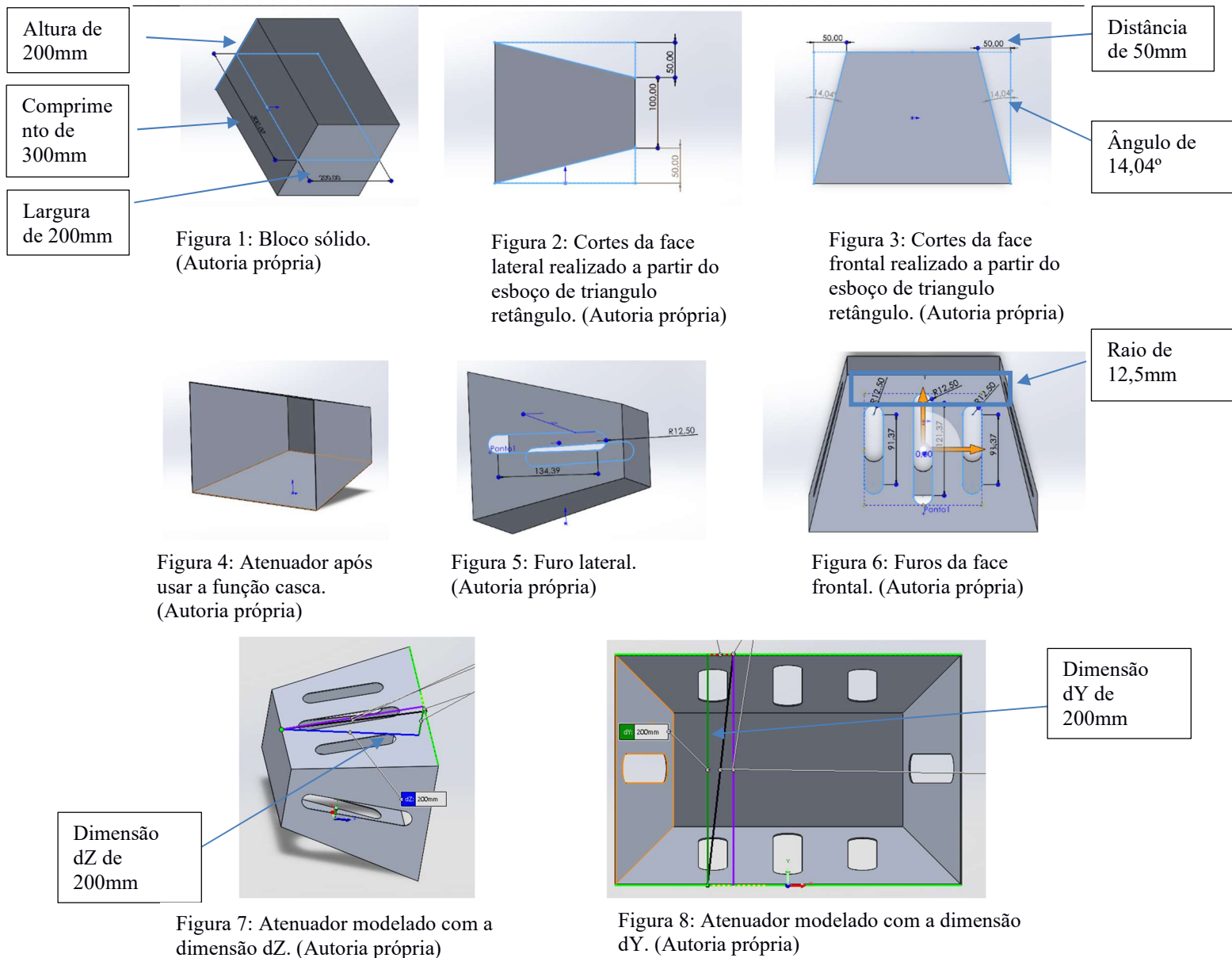
Pensando nessas exigências que o projeto do atenuador foi pensado e desenhado em 3D no programa SolidWorks2022.

2.1. MODELAGEM

Inicialmente, foi criado um bloco sólido com dimensões de 200 mm de largura, 300 mm de comprimento e 200 mm de altura, conforme ilustrado na Figura 1. Posteriormente, em uma das faces laterais, foi esboçado um triângulo retângulo com uma angulação tal que a base superior atingisse o tamanho máximo permitido pelo regulamento. Esse esboço serviu como guia para, por meio da ferramenta "corte", realizar a remoção do material correspondente, conforme ilustrado na Figura 2.

Na sequência, o mesmo processo foi realizado na face frontal do atenuador, utilizando-se de um esboço em formato triangular, conforme representado pela Figura 3. Após a remoção do material nas duas faces, aplicou-se a função "casca" do software, transformando o bloco maciço em uma estrutura oca, deixando uma espessura de 2mm, como demonstrado na Figura 4.

Para a execução dos furos, foi necessário criar esboços em planos paralelos às faces do atenuador. O desenho dos furos foi inspirado em outros modelos de atenuadores, buscando a redução de massa e a mitigação de pontos concentradores de tensão. O diâmetro dos manteve sempre o valor de 25 mm, que corresponde à dimensão da serra copo disponível para a fabricação.



2.3. PLANIFICAÇÃO

A planificação do atenuador é muito importante para podermos usá-lo como gabarito guia para o processo de fabricação, a função “Converter em chapa metálica” do próprio programa SolidWorks, é a função que realiza esse trabalho, nela, há alguns parâmetros que precisamos selecionar para que o programa, como, face da dobra, tamanho da dobra, raio da dobra. Ao selecionar a função, uma janela da função será aberta, representada pela Figura 9, essa janela será onde é possível controlar todos os parâmetros da função.

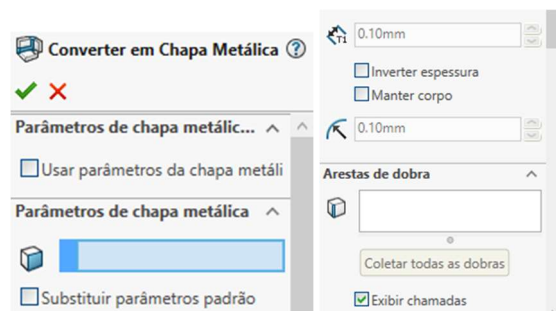


Figura 9: Função Converter em Chapa Metálica do SolidWorks. (Autoria própria)

Para a planificação é preciso selecionar uma face do atenuador, que será usada como a face principal da

planificação, com a face selecionada, o programa pede para selecionar as arestas da face que são dobradas em “Arestas de dobra”, é importante selecionar as arestas da face que foi selecionada no início como mostra a Figura 10. Para o atenuador, deve-se usar o menor raio e o menor tamanho da dobra possível, para que os cortes das laterais do atenuador fiquem retos.

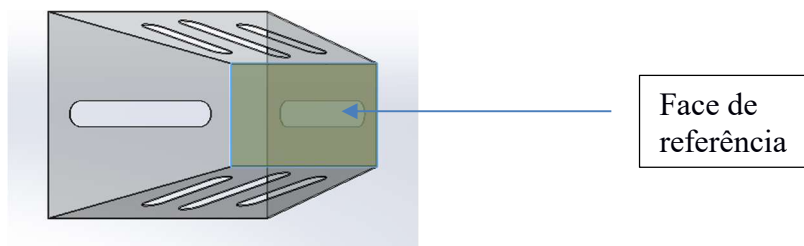


Figura 10: Face de referência para a planificação (Autoria própria)

Ao selecionar as arestas da face, o corpo do atenuador ficará com uma seleção amarela, isso significa que a seleção está correta e pronta para ser finalizada, porém para o atenuador, é importante ativar a caixa “Substituir parâmetros padrão” para ajustar o tamanho e o raio da dobra, para o 0,01 mm, assim como mostrado na Figura 11, esse ajuste reduz o tamanho da dobra e faz com que ela não tenha nenhuma circunferência para o corte. Ao confirmar esses parâmetros da função, os cortes nas laterais do atenuador serão realizados, porém, ele não estará planificado ainda.

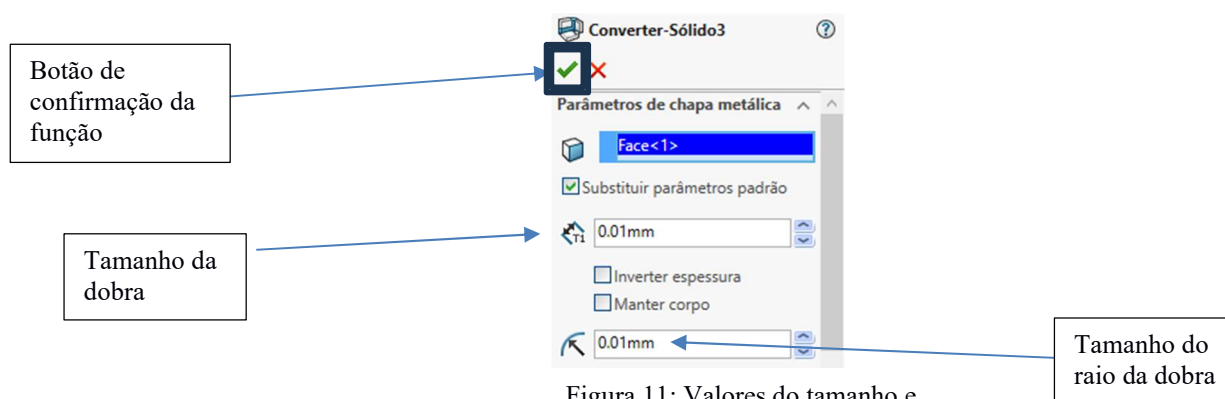


Figura 11: Valores do tamanho e raio da dobra (Autoria própria)

Após esse passo, três novos componentes apareceram no final da árvore de projetos, o componente “Padrão-Plano” que planifica o atenuador com base nos passos realizados antes, para ativa-lo basta cancelar a supressão o padrão plano dentro do componente, como mostra a Figura 12.

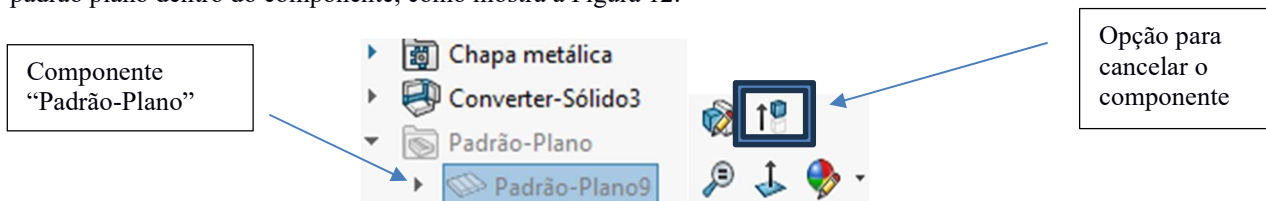


Figura 12: Componentes da função com a opção de cancelar a supressão do componente (Autoria própria)

2.4. CONSTRUÇÃO

Durante a etapa de construção do atenuador de impacto, adota-se métodos específicos para garantir a precisão e a funcionalidade do dispositivo, alinhando-se com o processo de modelagem no SolidWorks que foi feito a planificação do projeto para ser impresso em uma folha A0, que foi colada na chapa de alumínio para melhor orientação. Para os cortes do contorno do atenuador, foi utilizado uma máquina tico tico, com uma serra Starret BU41014 de 100mm de comprimento e passo de 2mm, sendo a máquina de corte disponível para realizar o trabalho.

Os furos nas faces do atenuador, foram puncionados das marcações do centro de cada circunferência definida no programa SolidWorks, foram realizados com o auxílio de uma serra copo de 25mm de diâmetro. A escolha dos furos foram influenciadas com base nos atenuadores observados por outras equipes,. A serra copo foi selecionada por sua capacidade de criar furos de diâmetro adequado para as necessidades do projeto, replicando fielmente a geometria definida no software.

A combinação dessas técnicas, alinhadas com o processo de modelagem no SolidWorks, resultou na formação de um corpo cilíndrico na face do atenuador, essencial para a distribuição uniforme da energia em caso de colisão e para a eficácia do dispositivo na proteção dos pilotos. Essa abordagem integrada entre modelagem virtual e construção física evidencia o cuidado e a precisão empregados na fabricação do atenuador de impacto.

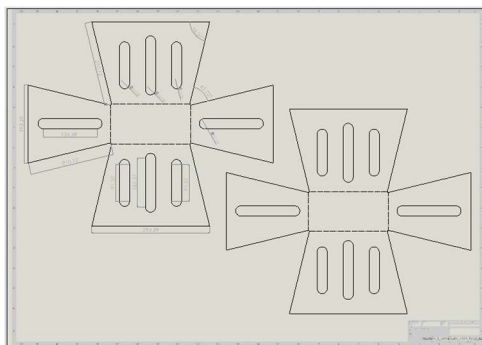


Figura 10: Projeto cotado em uma folha A0 para ser mandado para impressão(Autoria própria)

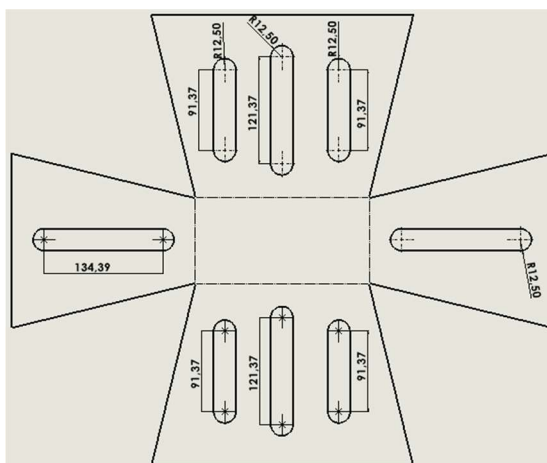


FIGURA 11: Ampliação do atenuador planificado com as cotas. (Autoria própria)

Após a finalização do processo de corte, foi necessário realizar a soldagem do atenuador utilizando uma máquina de solda TIG, uma vez que essa técnica se mostrou a mais adequada para a soldagem de alumínio, garantindo a qualidade e integridade do material. Abaixo, encontra-se a figura do atenuador completamente montado após todos os procedimentos.



Figura 12: Atenuador completo após todos os cortes e a solda. (Autoria própria)

Os materiais escolhidos para a fabricação do atenuador de impacto foram selecionados com base na disposição de encontrar esse tipo de material pela região de Mossoró-RN. O alumínio 1100 h14 foi a opção primária para a construção do atenuador, devido não apenas às suas propriedades mecânicas notáveis, mas também à sua adequação aos requisitos específicos da competição. Destacam-se, entre suas principais características, o limite de escoamento na faixa de 90 a 115 Mpa, um índice de alongamento entre 3% e 9%, e uma dureza medida em 32 Brinell. Usar o teste de dureza de Brinell têm sido o método preferido para avaliar a dureza dos metais durante as operações de conformação [10]

Essas propriedades tornam o alumínio 1100 h14 ideal para a função do atenuador, pois permite que o material deforme-se adequadamente para absorver energia significativa em caso de colisão frontal. Essa capacidade de absorção de energia é crucial para manter a integridade física do piloto. Além disso, a disponibilidade do alumínio 1100 h14 na região de Mossoró RN facilitou ainda mais sua escolha como material principal para o atenuador. Como mostrado o gráfico tensão x deformação da liga de alumínio, para comparação.

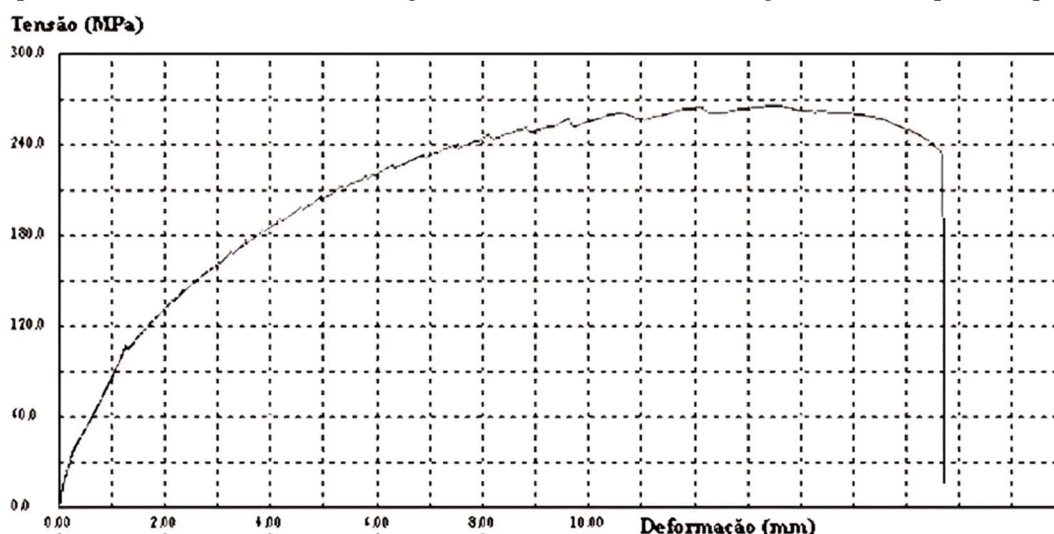


Figura 13: Gráfico tensão x deformação da liga de alumínio. (Krummenauer *et al.* (2010))

No que diz respeito à placa de anti-intrusão, utilizou-se chapa de aço carbono 1020, garantindo a resistência e durabilidade necessárias para suportar impactos frontais. Essa escolha foi feita levando em consideração não apenas as propriedades mecânicas do material, mas também sua disponibilidade e custo adequado para a fabricação do componente.

Essa seleção cuidadosa de materiais, alinhada às especificações do regulamento da SAE Brasil, assegurou não apenas o cumprimento dos requisitos de segurança, mas também a eficácia do atenuador de impacto na proteção dos pilotos durante competições de veículos do tipo fórmula.

2.5. DELINEAMENTO DE CONDIÇÕES DE CONTORNO PARA SIMULAÇÃO POR E.F.

Este tópico tem como objetivo principal a definição das condições de contorno necessárias para a simulação computacional utilizando o método de elementos finitos (MEF). Cabe ressaltar que, neste momento, o foco será na delimitação dessas condições, não sendo realizada a simulação propriamente dita.

De acordo com o regulamento, a Fórmula SAE não exige simulações computacionais para o projeto do atenuador de impacto, mas destaca a importância de testar e validar o desempenho do dispositivo. Embora a construção e o teste físico sejam obrigatórios, a simulação computacional, especialmente usando o Método dos Elementos Finitos (MEF), é uma ferramenta importante para a validação e otimização do projeto, foi analisado que o módulo mais recorrente para realizar a simulação no software *Ansys*, é o módulo de dinâmica explícita.

Para a simulação do atenuador de impacto, é essencial inserir corretamente as propriedades mecânicas dos materiais e as condições de contorno. Isso inclui o coeficiente de Poisson, que descreve a relação entre a deformação lateral e axial, a densidade (massa por unidade de volume), e o módulo de Young, que mede a rigidez do material e sua resistência à deformação elástica. Esses dados são fundamentais para garantir a precisão e confiabilidade dos resultados na simulação.

O regulamento da SAE informa alguns parâmetros de serviço para uma simulação do atenuador, sendo elas, o atenuador deve ser fixado a um corpo de massa total de 300 kg, que corresponde ao peso combinado do veículo e do piloto [11]. Além disso, ele deve ser capaz de absorver energia em uma colisão a uma velocidade de

7 m/s, simulando um impacto frontal típico, o tempo de simulação vai depender da potência da máquina que está realizando a simulação. Para cumprir sua função de segurança, o regulamento diz que o atenuador deve dissipar uma energia mínima de 7350 J, assegurando que uma quantidade suficiente de energia seja absorvida durante o impacto [11].

A desaceleração média suportada pelo piloto não pode exceder 20G, o pico de desaceleração instantânea deve ser limitado a 40G para garantir a integridade física do piloto em uma colisão [5]. Por fim, a deformação máxima da placa anti-intrusão, que serve como uma proteção direta ao cockpit, não pode ultrapassar 25 mm após o impacto, assegurando que a estrutura interna do veículo permaneça intacta e não coloque o piloto em risco.[11]

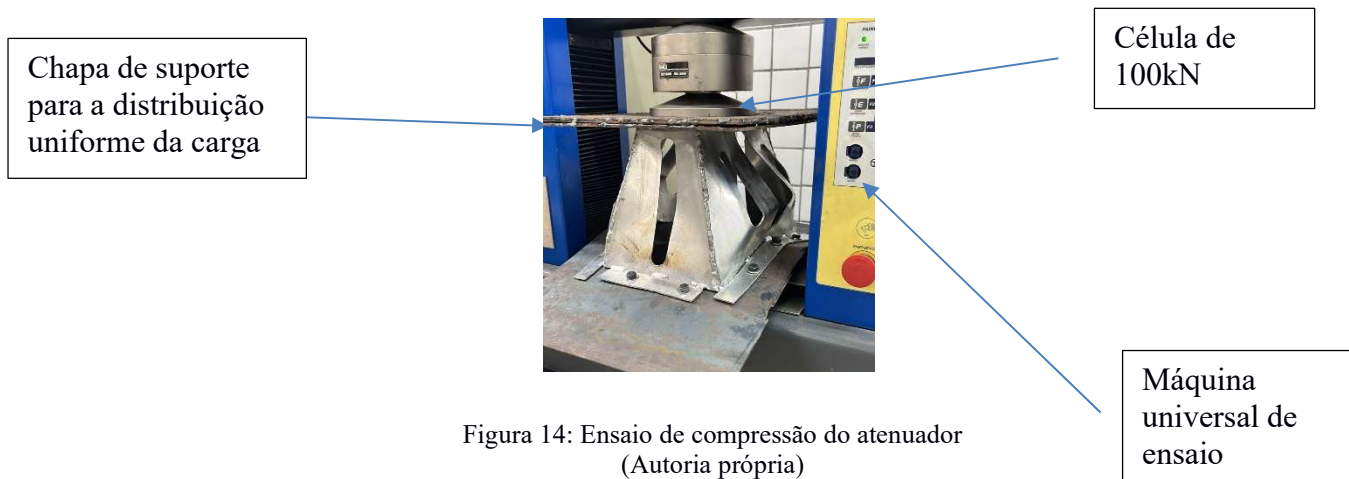
Para a simulação de um atenuador de impacto, é essencial considerar a fixação do dispositivo, que deve ser rigidamente conectado à placa anti-intrusão, simulando a fixação real, que pode ocorrer por meio de solda, parafusos ou adesivos. Na simulação, essa conexão é representada como um vínculo rígido, impedindo qualquer movimento relativo entre as peças. A placa anti-intrusão, por sua vez, deve ser fixada a uma estrutura representativa do chassi do veículo, sendo essa fixação geralmente simplificada como um engaste que restringe todos os graus de liberdade da placa.

A interação entre o atenuador e a superfície de impacto também precisa ser modelada com precisão. O contato entre todas as partes da simulação deve ser representado para evitar erros numéricos, e o contato entre o atenuador e a parede de impacto deve ser definido como sem penetração, garantindo que as peças não se sobreponham durante a simulação, para complementar, a parede deve ser definida como rígida, para evitar deformações. Além disso, o atrito entre o atenuador e a parede de impacto deve ser considerado, utilizando um coeficiente de atrito de 0,02 para os materiais envolvidos [8]. É importante salientar que a definição dos materiais dos corpos, que estão presentes na simulação, e suas propriedades, influencia diretamente no resultado. A malha, deve ser uma malha refinada, para que tenha mais veracidade na simulação

Restrições de movimento adicionais incluem a representação da massa do veículo, que deve ser restringida a se mover apenas na direção do impacto, sem permitir movimentos laterais ou rotações. A velocidade inicial da massa que representa o veículo deve ser definida como 7 m/s, enquanto todas as outras partes da simulação, incluindo a placa anti-intrusão e a parede de impacto, devem ter velocidade inicial nula. [8]

2.6. ENSAIO ESTÁTICO DESTRUTIVO DE COMPRESSÃO

O atenuador foi submetido a um ensaio estático destrutivo de compressão em uma máquina universal de ensaios EMIC, para o ensaio, foi utilizado uma célula de 100kN na máquina, duas chapas de suporte na parte superior do atenuador, para que a força seja distribuída sobre toda a superfície do atenuador, o atenuador foi fixado a placa de anti-intrusão por 4 hastes e 10 parafusos 3/4. No entanto, o ensaio precisou ser interrompido devido a uma limitação estrutural do equipamento: a base da máquina em que o atenuador estava apoiado apresentava uma seção circular de diâmetro menor que a da placa de anti-intrusão. Esse desnível fez com que a placa começasse a se deformar ao redor da base da máquina, comprometendo o ensaio e alterando significativamente os resultados obtidos. Porém, até o momento antes de parar o ensaio, a máquina gerou os resultados que o atenuador deformou 12mm a uma força máxima aplicada de 16677N.



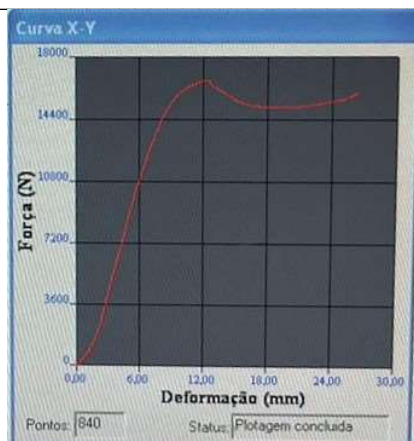


Figura 15: Resultado dos ensaios.
(Autoria própria)

Resultados:	
Força->@Força Max	16677 N
Força->@Ruptura	* N
Tensão->@Força Max	-0 MPa
Tensão->@Ruptura	* MPa
Deformação->@Ruptura	* mm
Deformação->@Força Max	12 mm

Figura 16: Gráfico Força(N) x Deformação (Autoria própria)

3. CONCLUSÕES

Este estudo viabilizou o processo de modelagem e fabricação do elemento atenuador de impacto utilizando o SolidWorks para a equipe Formula E-Cactus da UFERSA. O estudo também proporcionou um entendimento mais aprofundado sobre o processo de simulação do atenuador por elementos finitos. Dados financeiros que merecem destaque neste projeto foram o custo total do atenuador, da ordem de R\$ 431,00, considerando material e serviço de soldagem.

Este trabalho traz também algumas condições de contorno importantes para uma futura simulação computacional por elementos finitos, a saber: a fixação rígida do atenuador à placa anti-intrusão, representada como um vínculo sem movimento relativo entre as partes; o contato sem penetração entre o atenuador e a superfície de impacto, com um coeficiente de atrito adequado; e a restrição de movimento da massa do veículo apenas na direção do impacto, sem movimentos laterais ou rotações.

Por fim, o ensaio de compressão realizado mostrou que o atenuador sofreu uma deformação de 12 mm sob uma força de 16677 N, porém o ensaio teve de ser interrompido, pois que a base de apoio do atenuador, por ser circular e menor que a placa de anti-intrusão, fez com que a placa deformasse ao redor da base de apoio o que comprometeu a execução correta do ensaio. Esse imprevisto abriu a possibilidade para, em um estudo futuro, explorar formas de realizar outro ensaio de maneira mais precisa, garantindo que todas as condições sejam ajustadas adequadamente para obter resultados mais consistentes e confiáveis.

4. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] ANSYS. Learn Simulation with Three Free Downloads of Ansys Student Software – free download. Disponível em: <https://www.ansys.com/blog/ansys-student-version-released-today-free-download>. Acesso em: 9 out. 2024.
- [2] Bazzo, W.A.; Pereira, L.T.V. Introdução à Engenharia – Conceitos, Ferramentas e Comportamentos. Editora da UFSC. Florianópolis, 2006.
- [3] Belingardi, G.; Chiandussi, G. Crashworthiness design of racing car structures. International Journal of Vehicle Design, v. 46, p. 389-412, 2008.
- [4] Belingardi, G.; Obradovic, J. A crashworthy design for race car structures. Journal of Structural Integrity and Maintenance, v. 1, p. 17-25, 2010.
- [5] Belingardi, G.; Obradovic, J. Numerical simulation of the frontal impact crash test of a formula student car body. SEECCM 2009 - 2nd South-East European Conference on Computational Mechanics (Rhodes, Greece), 22-24 June 2009.
- [6] Chiqueto, P.A. Projeto, Desenvolvimento e Análise de Atenuador de Impacto para um Veículo Fórmula SAE. Ponta Grossa: Universidade Tecnológica Federal do Paraná, 2021.
- [7] Krummenauer, E.J.; Da Silva, G.G.; Quevedo, H. Tecnologia para Produção de Biocombustíveis: Compressão de Biogás. 2º Congresso Internacional de Tecnologias para o Meio Ambiente, Bento Gonçalves – RS, 2010.

-
- [8] Pereira, L.O. Projeto de um Atenuador de Impacto para o Protótipo da Equipe Icarus de Formula SAE UFRJ. 2013. 104 p. Trabalho de Conclusão de Curso – Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2013.
- [9] Peroni, L.; et al. Experimental Analysis of Structures Subjected to Frontal Impact. *Journal of Automobile Engineering*, v. 220, n. 8, p. 1201-1210, 2002.
- [10] Peroni, L.; et al. Impact Dynamics of Honeycomb Structures. *International Journal of Impact Engineering*, v. 36, p. 406-418, 2009.
- [11] SAE INTERNATIONAL, 2023 Formula SAE® Rules. Disponível em:
< https://www.google.com/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=&ved=2ahUKEwjYr7-vlpjJAXWXLlkGHX1zNaIQFnoECAEQAQ&url=https%3A%2F%2Fwww.fsaeonline.com%2Fcdsweb%2Fgen%2FDownloadDocument.aspx%3FDocumentID%3Dd2404288-c121-4242-9944-90aa0b1d6a5f&usg=AOvVaw1lIDsUDAW1o_MnqR1clmiO&opi=89978449 >. Acesso em: 18 jun.
- [12] Robert Hill, B.; Storåkers, A.; Zdunek, B. 08 June 1989. <https://doi.org/10.1098/rspa.1989.0056>.
- [13] Rodrigues, G.C. Uma Comparação do Comportamento Estático e Dinâmico de Atenuador de Impacto e Diferentes Modelos de Material Via Método de Elementos Finitos. Porto Alegre: Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2022.
- [14] Souza Neto, A.L. Projeto e Construção de um Dispositivo de Absorção de Impacto para Veículo de Competição Fórmula SAE. 2019. Monografia (Graduação em Engenharia Mecânica) – Universidade Federal de Ouro Preto, Escola de Minas, Departamento de Engenharia Mecânica, Ouro Preto, 2019. Orientador: MSc. Sávio Sade Tayer.