

DESENVOLVIMENTO DE MECANISMO PARA ESTRIBO AUTOMOTIVO RETRÁTIL

Ramon Ribeiro, ramonribeiro86@hotmail.com¹
Luciane Calabria, luciane.calabria@fsg.edu.br¹

¹Centro Universitário da Serra Gaúcha – FSG, Rua Os Dezoito do Forte, 2366, São Pelegrino, Caxias do Sul - RS

Resumo. As caminhonetes, ganham cada vez mais espaço no mercado mundial. Houve um aumento de 33,19% nas vendas totais do seguimento, com isso a venda de acessórios automotivos cresce da mesma forma. O estribo para caminhonetes para alguns é um item muito importante para complementar seu veículo. Buscando um novo mercado, surge-se a necessidade do desenvolvimento de um estribo retrátil para aqueles usuários que aprovam sua utilidade, mas não sua aparência. Os mecanismos estão presentes em grande parte dos itens que utilizamos em nosso dia a dia. Foi desenvolvido um mecanismo que é capaz de retrain o estribo quando o mesmo não for necessário para o usuário. Foi feita a utilização de softwares, para esboçar o sistema e adequá-lo aos dimensionais do veículo. A carga de trabalho é estabelecida por meio do peso médio calculado pela fórmula do IMC. No software Ftool a simulação trouxe o valor exato de reação gerada nos apoios por meio dos carregamentos aplicados. A análise de elementos finitos (MEF) fez a união de todos os dados gerados com o material escolhido e mostrou os resultados das tensões e deformações máximas do produto em uso, com isso o dimensional definido para o mecanismo atende os objetivos.

Palavras chave: Estribo. Mecanismo. Automotivo. Acessórios. Retrátil.

Abstract. The mid-size pickup trucks are gaining more and more acceptance in the global market. There was an increase of 33.19% in total sales of this segment, and therefore, the sales of automotive accessories grow in the same way. For some people, running boards for pickup trucks are very important items to complement their vehicles. In search of a new market, there is the necessity of developing a retractable running board for those users who approve of its usefulness, but not its appearance. Mechanisms are present in most of the items we use in our daily lives. A mechanism that is capable of retracting the running board when it is not necessary for the user was developed. Software programs were used to sketch the system, adapt it to the dimensions of the vehicle. The workload is established taking into account average weight calculated by the BMI formula. In Ftool software, the simulation brought the exact reaction value generated in the supports through the applied loads. The finite element analysis (FEA) made the union of all data generated with the chosen material and showed the results of the maximum tension and deformation of the product in use, thereby the dimensional generated for the mechanism meets the objectives.

Keywords: Running board. Mechanism. Automotive. Accessories. Retractable.

1. INTRODUÇÃO

Em funcionamento a mais de um século, tornando-se valioso a partir do século XIX (LUCHEZI, 2010), os automóveis tiveram muitos avanços tecnológicos em todos os sentidos, que vai do seu princípio de funcionamento, motor a vapor ao motor de combustão interna ciclo Otto (LIMA, 2017), até suas maneiras de operação. Um modelo em questão vem resolvendo inúmeros problemas dos consumidores e ganhando muito espaço no mercado, as caminhonetes médias e SUV's (MOBIAUTO, 2021).

As vendas de camionetes tiveram um aumento de 33,19% (AUTOO, 2020) no número de emplacamento desde janeiro de 2016, decaindo apenas pela situação de pandemia hoje presente, esta que prejudicou inúmeros setores. Com esse aumento no número de modelos e vendas de veículos (AUTOO, 2020) aumentou o desenvolvimento e crescimento das empresas que atuam na fabricação e comercialização de acessórios automotivos. Estes acessórios podem ser tanto para fins estéticos quanto funcional, como engates de reboque, para-choques de impulsão ou estribos laterais.

Os estribos laterais têm como objetivo principal auxiliar o passageiro durante o acesso ou saída de veículos, como caminhonetes, SUV's e vans (KEKO, 2021). Devido sua elevada altura do solo o acesso a esse tipo de veículo se torna dificultoso, o estribo projetando uma espécie de degrau, que fica entre a altura real do veículo e o solo.

Com a intenção de satisfazer a parte estética e funcional do produto, uma solução para o problema é o estribo retrátil. Com esta necessidade estabelecida, neste trabalho será desenvolvido um mecanismo articulado capaz de projetar um degrau de auxílio ao acesso a veículos quando necessário. São utilizados aplicativos como de modelagem CAD para obtenção das geometrias do protótipo. Conhecendo a geometria, o uso de *software* de análise de elementos finitos é utilizado para se determinar se os carregamentos pré-estabelecidos para um correto funcionamento do acessório serão suportados pelas geometrias definidas. Desta forma, o objetivo geral do estudo concretiza-se em desenvolver um mecanismo para um estribo automotivo retrátil.

2. METODOLOGIA

Os produtos possuem metodologias de projeto diferentes e são desenvolvidas conforme sua complexidade particular. O processo metodológico utilizado para o desenvolvimento foi o destacado por Filho (2006) de uma forma resumida. Um dos passos presentes no método trata-se da definição de algumas condições de contorno para o produto, tais como identificação da durabilidade do produto, obrigações, capacidades, proibições de substâncias, o foco na utilização de componentes já existentes etc.

As condições destacadas como mais importantes em um primeiro momento são:

- Articular o mecanismo de forma que não colida com o veículo;
- Capacidade de carga de 160 kg com 20% de fator de segurança;
- Suportar diferentes métodos de distribuição de carga.

A capacidade de carga estabelecida do acessório está ligada diretamente as condições de uso. O limite determinado está baseado no acesso de duas pessoas simultaneamente ao veículo, levando em consideração a estatura média do brasileiro (a), 1,73 m e 1,60 m para homens e mulheres, respectivamente (BBC, 2016).

A estatura considerada é inserida no cálculo do IMC (índice de massa corporal) para se obter a classificação quanto a massa do indivíduo assim como seu grau de obesidade. Com a Equação 1 é possível determinar o IMC de cada indivíduo (GRECCO, 2012).

$$IMC = \frac{MASSA}{ALTURA^2} \quad (1)$$

Na Equação 1 a massa deve ser inserida em quilogramas (kg) e a altura em metros (m). Para a obtenção dos valores utilizados como contorno é considerada a situação de sobrepeso, ou obesidade grau 1. É realizada a média do range de IMC e considerada as alturas médias do brasileiro (a) tendo como resultado uma massa de 82,15 kg para homens e 70,2 kg para mulheres. O somatório de tais indivíduos ao ingressar no veículo permanece dentro da condição de contorno de 160 kg em um total (GRECCO, 2012).

Destinado a movimentação do acessório, a criação do mecanismo partiu-se de um esboço da trajetória necessária de seu ponto inicial para o ponto final. O esboço da trajetória foi realizado no aplicativo *Paint*. O *Linkage* foi utilizado para aprimorar o desenvolvimento do esboço desenvolvido no *Paint*. O esboço convertido em imagem foi dado como imagem de fundo da área de trabalho do *Linkage*, desta forma os traços criados foram sobrepostos por elos e em seguidas unidos pelas juntas.

Com o mecanismo pré-desenvolvido, a próxima etapa consiste em corrigi-lo para o dimensional do veículo proposto, a camionete L200 da marca Mitsubishi. Corrigi-lo refere-se a aprimorar as dimensões para que o mecanismo não colida com nenhuma parte do automóvel ao efetuar sua trajetória e não limite o vão livre entre a carroceria e o solo. É necessário ter o acesso a uma unidade do veículo para se obter os dimensionais dos pontos de fixação do mecanismo na carroceria do automóvel. As dimensões coletadas foram utilizadas no aplicativo de modelamento *AutoCad*, nele com a utilização das ferramentas de desenho 2D, foi criado o esboço da parte de chapa metálica que terá a função da indexação do mecanismo a carroceria do veículo.

Utilizou-se o *software Linkage*, com o esboço foi dado entrada com suas cotas dimensionais, utilizou-se da ferramenta que transmite medidas reais aos elos dos mecanismos. Com essa utilização de medidas reais aos elos, tem início à parte de ajustes finos do mecanismo utilizando da variação do dimensional, da posição e ângulo dos elos. Com cautela para não atingirmos os pontos críticos analisados no veículo, após cada alteração foi rodado a movimentação do mecanismo buscando desta forma a melhor trajetória com o conjunto de componentes dimensionados.

Nesta etapa do processo foi obtido um mecanismo com o número de elos, juntas e seus dimensionais necessários para que o problema seja solucionado. Inicia-se o modelamento 3D, esta etapa de desenvolvimento deve ser realizada em um aplicativo de modelagem, no caso foi utilizado o *software SolidWorks*.

O mecanismo já elaborado foi realizada a análise de MEF. Com a etapa do pré-processamento já realizada, foi iniciada a fase de processamento onde o mecanismo originado foi submetido a uma simplificação. A simplificação é utilizada para remover do produto toda e qualquer parte que não se torne importante durante a análise final. Esta parte é realizada ainda no *software* de modelamento *SolidWorks* e é primordial para que o *software* escolhido para o MEF não ocupe muito tempo e poder de processamento analisando áreas e componentes do produto que não vão interferir diretamente no seu comportamento.

O *software* escolhido para a análise foi o *Ansys Workbench*. Para o início da análise, o modelo simplificado foi exportado para o *Ansys*. Em seu primeiro ambiente, de *design*, os elementos do produto foram transformados para elementos de casca 2D, passo aplicando quando as geometrias apresentam medidas de comprimento e largura maiores que a espessura. O próximo ambiente disponibilizado pelo *Ansys* denominado de *mechanical* (mecânico) é utilizado para gerar a malha. É nesta etapa onde a simplificação da geometria modelada se torna tão importante, assim a malha será gerada com precisão.

Ainda no *mechanical*, alguns pontos importantes são definidos, como as fixações e aplicações de carga. O mecanismo simplificado teve como definição dois pontos de engaste chamados de suporte fixo, onde ele será fixado e unido à estrutura e um ponto onde será aplicada a carga de cisalhamento, simulando a utilização do produto.

Como a articulação do produto se dá em torno de eixos, o método de união por parafusos originados pela ferramenta de juntas foi utilizado e considerado como sem defeito, a estrutura será analisada na sua posição estendida, assim considera-se como fixado, sem movimento.

O acesso ao modelo do veículo originou a coleta de dados dos dimensionais para instalação do acessório. Utilizando destes dados de dimensionais de instalação e a carga pré-determinada, o *software Ftool* foi utilizado para validar algumas situações de carregamentos possíveis. Esta etapa utilizou do método da teoria elementar de viga onde a carga a ser aplicada como força cisalhante durante o MEF foi estabelecida conforme a reação dos apoios, considerados como o mecanismo a ser utilizado.

3. RESULTADOS E DISCUSSÕES

O esboço gerado no aplicativo *Paint* foi utilizado no aplicativo *Linkage* como imagem de fundo, assim possibilitando utilizá-lo como guia para criar o primeiro mecanismo com movimentação real. Foram utilizados dois engastes sendo um deles com a possibilidade de adição de movimento, simulando um motor. O restante dos componentes são elos unidos automaticamente por juntas.

O acesso ao veículo para coletas de dado é crucial. As medições realizadas foram transcritas para o *AutoCad*. Foi desenhada a chapa metálica de fixação com o objetivo de indexar o mecanismo nas fixações e locais originais do veículo, sem ser necessário qualquer tipo de adaptação ou dano à estrutura.

O desenho gerado foi utilizado para produção de uma peça modelo. Uma máquina de corte laser foi necessária para efetuar o corte em um retalho de chapa de aço SAE 1020. O material não foi tão importante nesse momento devido ser apenas uma peça teste para verificações de dimensional e instalação.

Feita a confirmação da fixação da chapa metálica, novamente no *Linkage* foi dado o aprimoramento do mecanismo e sua rota de articulação. A Figura 01 mostra o desenho da chapa como fundo, foi pré - dimensionado seguindo as dimensões do suporte metálico visando não obstruir os pontos de fixação, alturas e larguras. O mecanismo gerado está disposto na posição A, B e C, sendo B uma posição intermediária, ou seja, durante o trajeto.

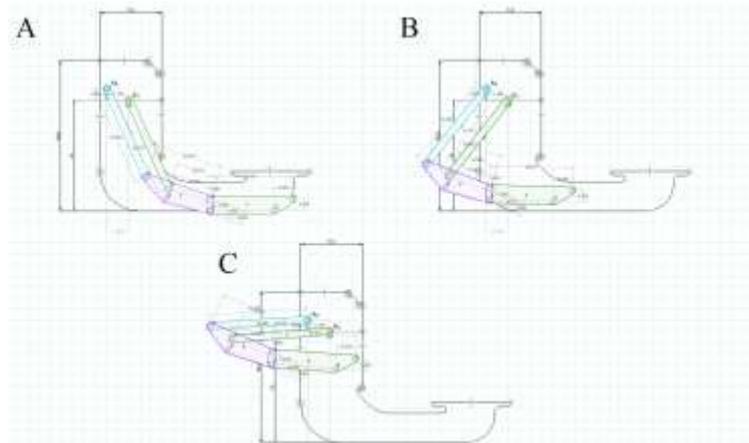


Figura 01. Mecanismo aprimorado com medidas de fixação a) Estendido b) Intermediário c) Recuado (Autor, 2021)

O mecanismo gerado é classificado como um mecanismo simples de 4 barras com o movimento de saída gerado na barra L3, a barra acopladora.

Utilizando o método de modelamento via rascunho, o contorno gerado em *AutoCad* foi utilizado para gerar a chapa metálica de fixação do mecanismo ao veículo via *SolidWorks*. Com as dimensões obtidas, os elos também foram criados no mesmo ambiente.

O resultado obtido da montagem dos componentes é mostrado na Figura 02, dividido entre ponto inicial A e ponto final B da articulação. Foi reproduzida a vista frontal (A1 e B1) e isométrica (A2 e B2) para o modelamento ser compreendido da melhor forma.

Todos os elos e demais componentes tiveram raios adicionados a suas extremidades para que durante a movimentação do mecanismo não houvesse colisão entre as partes. O mecanismo gerado foi capaz de seguir o mesmo trajeto pré-determinado no *Linkage*, conforme Figura 01.

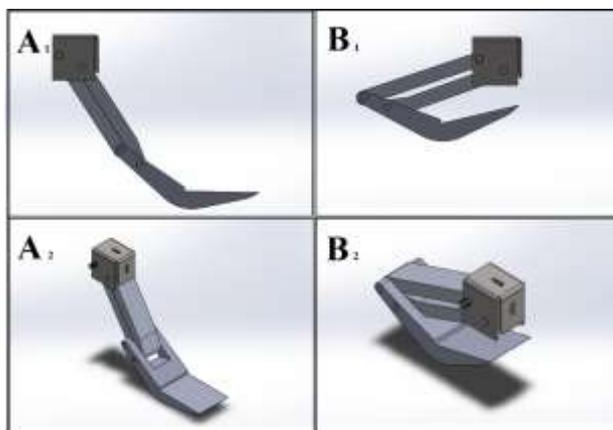


Figura 02. Modelamento do mecanismo a e a²) Estendido b e b²) Recuado (Autor, 2021)

O protótipo do mecanismo mostrado na Figura 02 contém algumas regiões e detalhes que se detém a princípios de funcionamento e fixação. A chapa localizada na parte superior do suporte tem como função indexar o mecanismo articulado as fixações originais do veículo. O eixo estriado é o responsável pela transmissão de movimento do futuro acionador ao braço principal do mecanismo. Os dois eixos utilizados nas ligações entre as barras L2, L3 e L4 tem como objetivo proporcionar além do link entre as partes, a rotação entre elas, sendo travadas lateralmente. Todos os itens destacados foram removidos ou simplificados da modelagem ainda no *SolidWorks*.

Com a simplificação realizada o mecanismo é importado para o *Ansys* e tem início na área de *design*. Neste ambiente o efeito de casca 2D foi aplicado ao modelo simplificado. O modelo inserido no *Ansys* foi importado como sendo uma extensão *part* (parte). Com essa simplificação antes da importação não há a necessidade da indicação das uniões das partes, o *software* interpreta como um único componente.

No ambiente mecânico, foi efetuada a geração da malha que é mostrada na Figura 03. A qualidade da malha está ligada diretamente aos métodos utilizados durante a simplificação. A malha do componente foi estabelecida em 05 mm o que resultou em um total de 5760 elementos unidos por 22190 nós.

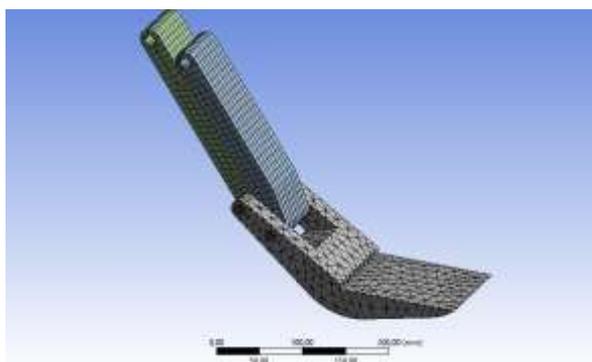


Figura 03. Malha (Autor, 2021)

O ambiente mecânico foi utilizado para estabelecer os pontos de engaste e aplicação da carga cisalhante. Os pontos de rótula dos braços L2 e L4 foram considerados como engastados e a carga cisalhante foi aplicada no centro da face horizontal do braço L3.

É possível notar a existência de inúmeras combinações de carregamentos a serem analisados no componente, uma vez que muitas pessoas, em suas mais variadas características físicas pode fazer o uso do produto, além de em certas ocasiões se tratar de mais de uma pessoa por vez.

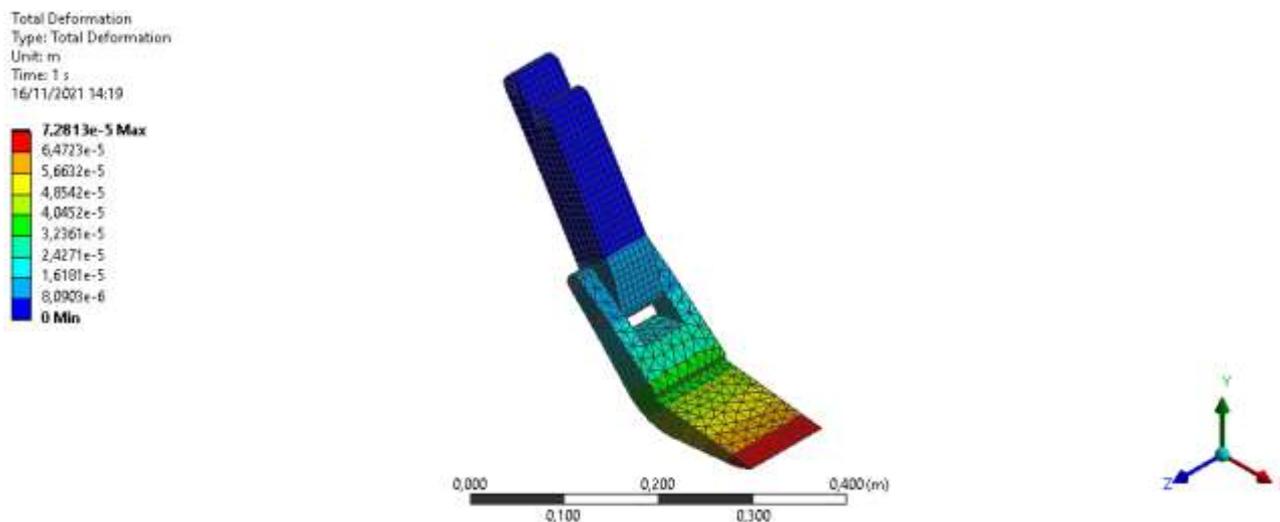
A Tabela 1 apresenta o resultado de 5 combinações possíveis de carregamentos aplicados durante a utilização do acessório. Os resultados são obtidos após o cálculo de força aplicada originado por massas pré-determinadas e um número de pessoas variando de 1 a 2 pessoas simultaneamente. As forças aplicadas no *Ftool* originaram as reações dos apoios, os suportes, valores que foram aplicados como cargas para o MEF.

Tabela 1. Valores de cargas e reações (Autor, 2021)

Situação	Carregamento (kN)		Reação Apoio 1 (kN)	Reação apoio 2 (kN)	Reação apoio 3 (kN)
1	0,640	0	0	0,1	0
2	0,880	0	0	0,1	0
3	0,700	0,790	0	0,1	0
4	0,880	0,833	0,1	0,1	0
5	0,550	0	0	0	0

O material selecionado para a produção do item é o alumínio, escolha baseada em diversas características como sua elevada relação resistência/peso, devido sua densidade girar próximo dos 2770 kg/m^3 quando comparado a 7750 kg/m^3 do aço carbono. Sua alta resistência a ambientes corrosivos e boa condutividade térmica e elétrica são pontos fortíssimos nesta comparação (NISBETT e BUDYNAS, 2016). Além disso ele é facilmente obtido no mercado em diversas formas como tubos, maciços, chapas, lâminas, barras e até mesmo em perfis extrudados de estrutura. Como o ponto de fusão do alumínio é em média de $660 \text{ }^\circ\text{C}$, ele torna-se um dos materiais mais versáteis do ponto de vista da manufatura podendo ser facilmente fundido em moldes de areia, coquilhas ou injeção em moldes fixos e permanentes (NISBETT e BUDYNAS, 2016).

Com posse de todos os dados e condições de contorno o MEF esta pronto para ser rodado. As análises realizadas na estrutura foram a de *Equivalente Stress* (von-Misses) e *Total Deformation*. A Figura 04 mostra a deformação máxima para um carregamento de 100 N. O local da deformação é na extremidade da barra L3, local destinado ao apoio da plataforma do acessório. Tal deformação foi originada nesta região devido seu perfil geométrico ser reduzido nesta parte, o valor máximo de deformação foi de $0,0728 \text{ mm}$.



Para o teste da Tensão Máxima, os resultados são mostrados na Figura 05. O valor máximo de tensão encontrado para um carregamento de 100 N foi de $5,02 \text{ MPa}$ localizado no pino de ligação entre as barras L3 e L4. O máximo valor de tensão ficou dentro do valor para resistência a tração do material de 280 MPa , este resultado confirma que mesmo na região mais crítica o protótipo não entraria em fase de escoamento com o uso.

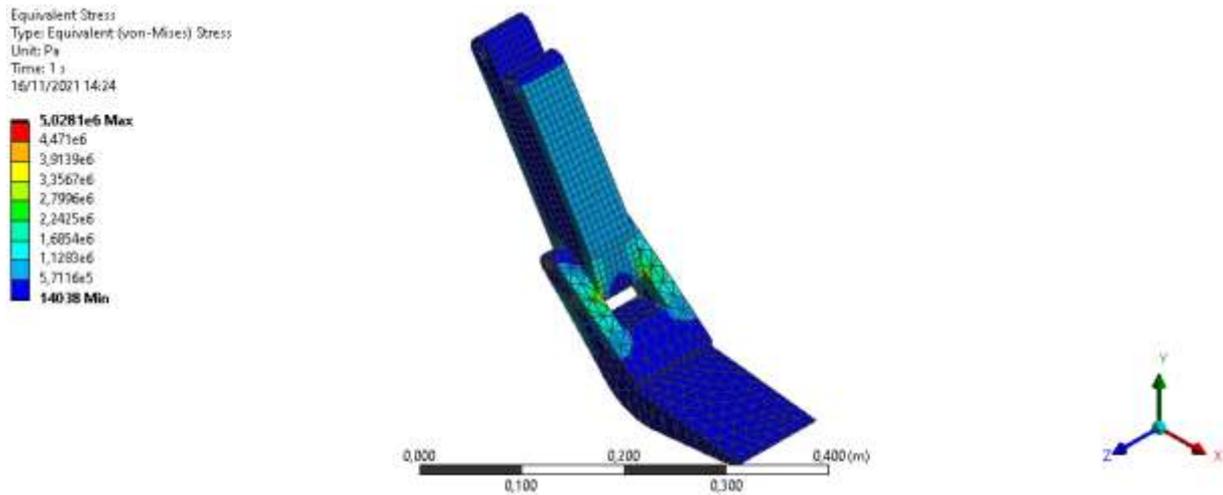


Figura 05. Tensão máxima para 100N. (Autor, 2021)

Em uma segunda análise foi utilizado o valor de 1568,6 N como carregamento. O valor aplicado visa um carregamento concentrando toda a massa estipulada para o uso diretamente em cima de um dos apoios. Mesmo com esse aumento a deformação máxima foi de 1,14 mm e a tensão máxima de carregamento foi de 78,8 MPa.

Os resultados obtidos no MEF mostram que as geometrias obtidas para a confecção do mecanismo atendem os carregamentos e limites do material determinado para sua confecção. Com isso conclui-se que os objetivos do estudo, gerar um mecanismo capaz de cumprir uma trajetória isento de colisões com o veículo e suportar as condições de contorno como dimensional de instalação e carregamentos variados, foram atingidos com sucesso.

3. CONCLUSÃO

A pesquisa realizada sobre o assunto da cinemática dos mecanismos foi crucial para a solução do problema. O mecanismo previamente esboçado pode ser desenvolvido, adequado aos dimensionais reais de um veículo comercial e cumpre com o seu objetivo, movimentar a sua plataforma do ponto A ao ponto B sem obstruções.

O *software* de análise MEF, *Ansys*, é uma ferramenta computacional muito completa e de grande auxílio para o desenvolvimento de peças e projetos. Entender seus métodos e processos de análises reduzem o tempo de *setup* e solução dos problemas a serem analisados. Seu maior ponto positivo consiste em poder aprovar ou reprovar uma peça antes mesmo de sua produção, reduzindo custos e tempo, caso utilizado neste trabalho, podemos concluir que em uma possível produção do primeiro protótipo do produto não se originaria uma peça problemática ou fraca. Os resultados mostram que sua geometria, dentro das condições de uso estipuladas e matéria correta, estaria apta para realizar a sua função.

O esboço do mecanismo e sua trajetória se encaixou bem no modelo de quatro barras. Determinar sua trajetória foi uma tarefa simples visando que já havia a sua posição inicial e final.

A transição para um *software*, no caso o *Linkage*, foi realizada com sucesso devido ser um *software* simples e muito didático, a manipulação dos elos e suas ligações é realizada por simples comando bem localizados na sua barra de tarefas.

Após a coleta das dimensões de um veículo real, utilizando as informações coletadas como imagem de fundo, ótima ferramenta, a adaptação do mecanismo para os dimensionais reais foi realizada com sucesso e agilidade.

Quanto ao modelamento 3D, a maior parte do trabalho já estava concluído. Os dados coletados até o momento foram aplicados aos esboços e assim criados os volumes correspondentes as partes do primeiro protótipo.

Com o modelo simplificado, cargas estabelecidas via reações obtidas pelo *Ftool*, material selecionado e seguindo a ordem das três principais etapas de uma análise MEF, os resultados foram obtidos facilmente, sem gerar erros durante o processo e com resultados muitos satisfatórios, até mesmo para uma aplicação fora do determinado como condições de contorno. Como os primeiros resultados já se mantiveram positivos, não foi necessário nenhum retrabalho dimensional ou de carregamento para que fosse aprovado o mecanismo e seus dimensionais.

O objetivo, o mecanismo de estribo retrátil para um estribo automotivo de um veículo L200, foi desenvolvido com sucesso.

4. AGRADECIMENTOS

Agradecimento a IES FSG pela disponibilidade da infraestrutura.

5. REFERÊNCIAS

- AUTOO. **Picapes Médias Mais Vendidas 2020**. Disponível em <<https://www.autoo.com.br/emplacamentos/picapes-medias-mais-vendidas/2020/>>. Acesso em: 5 de abril de 2021.
- BBC NEWS. **Brasileiro cresce em altura nos últimos cem anos, mas ainda é ‘baixinho’; conheça o ranking mundial**. Disponível em <<https://www.bbc.com/portuguese/geral-36892772>>. Acesso em: 23 de setembro de 2021.
- FILHO, Eduardo Romeiro. **Projeto do Produto**. 8 ed. Universidade Federal de Minas Gerais. Belo Horizonte, 2006.
- GRECCO, Mirele Savegnago Mialich. **Validação de Índice de Massa Corporal (IMC) ajustado pela massa gorda obtido por impedância bioelétrica**. Tese (Doutorado em Clínica Médica) em Universidade de São Paulo, Faculdade de Medicina, Ribeirão Preto, 2012.
- KEKO. **Estribo Tubular K1**. Disponível em <<https://keko.com.br/produtos/Chevrolet/S10%20CD/s10-cd-2>>. Acesso em: 16 de abril de 2021.
- LIMA, Renato Gavassa. **Evolução dos Motores a Combustão Interna Ciclo Otto no Brasil**. Trabalho de conclusão de curso (Tecnólogo Mecânico Automobilístico). Faculdade de Tecnologia de Santo André. São Paulo, 2017.
- LUCHEZI, Tatiana de Freitas. **O Automóvel Como Símbolo da Sociedade Contemporânea**. Mestrado em Turismo. Universidade Nove de Julho, UNINOVE, São Paulo, 2010.
- MOBIAUTO. **Picapes explodem em vendas na crise e viram queridinhas do mercado**. Disponível em: <<https://www.mobiauto.com.br/revista/picapes-explodem-em-vendas-na-crise-e-viram-queridinhas-do-mercado/398>> Acesso em: 24 de maio de 2021.
- NISBETT, J K.; BUDYNAS, Richard G. **Elementos de Máquinas de Shigley**. 10^o. ed. [S.l.]: McGraw Hill Brasil, 2016.

5. RESPONSABILIDADE PELAS INFORMAÇÕES

O autor é o único responsável pelas informações incluídas neste trabalho.