

Sistema FIEB



CENTRO UNIVERSITÁRIO SENAI - CIMATEC

CURSO DE ENGENHARIA MECÂNICA

ALESSANDRO BARRETO DA SILVA

CAIO CARVALHO BASTOS OLIVEIRA

CAIO SÁVIO ALMEIDA BELO

CLINTON DA SILVA SANTOS

MARCOS PAULO FERREIRA DE SOUZA

THEOPRAX
PROJETO DE UM DISPOSITIVO DE RETENÇÃO TEMPORÁRIA DA TAMPA DO
PORTA-MALAS DE UM VEÍCULO DA FORD

SALVADOR- BA

2021

CENTRO UNIVERSITÁRIO SENAI – CIMATEC

CURSO DE ENGENHARIA MECÂNICA

ALESSANDRO BARRETO DA SILVA

CAIO CARVALHO BASTOS OLIVEIRA

CAIO SÁVIO ALMEIDA BELO

CLINTON DA SILVA SANTOS

MARCOS PAULO FERREIRA DE SOUZA

THEOPRAX

PROJETO DE UM DISPOSITIVO DE RETENÇÃO TEMPORÁRIA DA TAMPA DO
PORTA-MALAS DE UM VEÍCULO DA FORD

Trabalho de conclusão de curso apresentado ao Centro
Universitário SENAI CIMATEC, como parte das
exigências para a obtenção do título de Engenheiro
Mecânico.

SALVADOR- BA

2021

AGRADECIMENTOS

Gostaríamos de expressar nossos agradecimentos:

Primeiramente a Deus por ter nos mantido na trilha certa durante este projeto com saúde e forças para chegar até o final.

Às nossas famílias pelo apoio e dedicação prestados, nos ajudando a superar os desafios ao longo desta caminhada árdua. Pelos valores ensinados, que levaremos para o resto da vida guardados na nossa essência. E, principalmente, por todo crédito e confiança depositados em nós.

Aos nossos colegas de curso de pelas trocas de ideias, compartilhamento de experiências e ajuda mútua. Juntos conseguimos avançar e ultrapassar diversos obstáculos e desafios ao longo do curso, que nos proporcionaram amadurecimento pessoal e profissional.

Ao nosso coordenador de curso, Guilherme Souza, por estar sempre tão presente ao longo de toda trajetória, oferecendo-nos o suporte devido sempre que necessário.

Ao nosso orientador, Luis Antônio, pelas valiosas contribuições dadas durante todo o processo, e por ser sempre solícito nos momentos desafiadores que surgiram ao longo do projeto.

À empresa Ford Motor Company por acreditar em nós para este desafio. E ao cliente Davi Silva e Felipe Pinheiro por todo suporte prestado.

A todos os professores e funcionários do Centro Universitário SENAI CIMATEC que contribuíram direta e indiretamente para o nosso crescimento acadêmico e pessoal.

Ao Centro Universitário SENAI CIMATEC por nos oferecer boas condições de ensino e uma estrutura acadêmica de excelência.

Por fim, gostaríamos de agradecer imensamente a todas as pessoas que passaram por nossas vidas e contribuíram de alguma forma para o nosso crescimento, cada palavra ou atitude contribuíram para nos tornarmos quem somos hoje.

Muito obrigado!

RESUMO

Diante de um problema de viabilidade do processo de montagem da mola gás e seus componentes para o novo veículo em estudo pela Ford Motor Company (Camaçari), foi requisitado pelo cliente a concepção de um dispositivo de retenção temporária que mantivesse a tampa da mala aberta durante a execução do processo. Para tal, observou-se a necessidade de conceber um conceito de dispositivo estruturalmente robusto e funcional, constituindo uma solução objetiva e eficaz para o problema proposto deste projeto, respeitando todos os requisitos técnicos, de segurança, ergonomia e operação requeridos pelo cliente. O projeto foi dividido em 3 fases-macro: informacional, conceitual e detalhado. O principal objetivo da primeira fase consistiu em reunir as informações mínimas necessárias que serviram de alicerce para composição do projeto como um todo. A fase conceitual, por sua vez, envolveu a pesquisa dos princípios de solução mais adequados para o projeto em questão, bem como a definição do conceito preliminar junto ao cliente. Já na fase detalhada, foi feito o dimensionamento final do conceito anteriormente selecionado e a verificação estrutural pelo método de elementos finitos, a fim de obter uma viabilidade numérica do seu funcionamento. Por fim, as informações definidas anteriormente foram reunidas para obter a validação final do projeto de engenharia do dispositivo desenvolvido, inteiramente virtual, alinhado com os requisitos estabelecidos pelo cliente.

Palavras-chave: Ford Motor Company; Dispositivo; Retenção Temporária; Segurança; Ergonomia; Operação.

ABSTRACT

Faced with the problem in the viability of the assembly process of the gas spring and its components for a new Ford Motor Company (Camaçari) vehicle currently under analysis, the conception of a temporary retainment device which could hold the trunk lid open during the installation process was requested by the client (Ford Motor Company). For this, it is necessary to conceive a structurally robust and functional device concept which constitutes an effective and objective solution for the problem proposed in this project, respecting all technical, safety, ergonomic and operational requisites put forth by the client. The project was divided in 3 macro-phases: Informational, conceptual and detailed. The main objective of the first phase is to gather the minimal required information that serves as the basis of the project's composition. The conceptual phase consisted of researching the most adequate solution principles for the project at hand, as well as defining the preliminary concept together with the client. In the detailed phase, the final dimensioning for the before selected concept and the structural verification via finite elements analysis were done with the aim of obtaining a numerical confirmation of viability. Finally, all previously defined information was gathered for final validation of the device's engineering project, which was entirely virtual, in alignment with the requisites defined by the client.

Key words: Ford Motor Company; Device; Temporary retention; Safety; Ergonomics; Operation.

Lista de Figuras

Figura 1 – Dispositivo <i>Lisle Corporation</i>	21
Figura 2 - Componentes do dispositivo <i>Lisle Corporation</i>	22
Figura 3 - Dispositivo “ <i>Prop for trunk compartment lids</i> ”	23
Figura 4 - Detalhes do dispositivo e seus componentes.....	24
Figura 5 - Dispositivo “ <i>Prop for lids of vehicle trunk compartments</i> ”	25
Figura 6 - Detalhes do dispositivo e seus componentes.....	25
Figura 7 - Dispositivo “Automotive trunk lid support”	26
Figura 8 - Vista lateral do dispositivo e seus componentes	27
Figura 9 - Vista em perspectiva do dispositivo e seus componentes	27
Figura 10 - Dodge Durango	28
Figura 11 - Posições de abertura do porta-malas	29
Figura 12 - Acessório em “T”	30
Figura 13 - Soquete esférico com carcaça flexível	30
Figura 14 - Dobradiça de mola	30
Figura 15 - Conceito inicial do dispositivo.....	32
Figura 16 - Alteração de design do dispositivo.....	32
Figura 17 - Redefinição da 4ª posição	33
Figura 18 - Proporção dos custos do projeto.....	34
Figura 19 - Desenho técnico ilustrativo do dispositivo.....	35
Figura 20 - Dispositivo anterior (em vermelho)	36
Figura 21 - Novo dispositivo	36
Figura 22 - Dispositivo “Prop-N-Lock” para o porta-malas.....	38
Figura 23 - Dispositivo em acrílico.....	38
Figura 24 - Dispositivo em metal.....	38
Figura 25 - Ciclo de vida do produto	39
Figura 26 - Layout da Linha de Montagem	50
Figura 27 - Liftgate Striker	51
Figura 28 - Liftgate Latch	52
Figura 29 - Função Global do dispositivo.....	52
Figura 30 - Funções específicas do dispositivo.....	53
Figura 31 - Proposta de conceito I	59
Figura 32 - Batente de borracha e haste lateral	60
Figura 33 - Encaixe macho no “rear cab back”	61
Figura 34 - Corpo tubular	62

Figura 35 - Mecanismo de ajuste “pino e “rasgo”	63
Figura 36 - Poka yoke de posicionamento	64
Figura 37 - Proposta de conceito II.....	65
Figura 38 - Encaixe por forma	66
Figura 39 - Mecanismo por pino.....	67
Figura 40 - Representação da mão do operador.....	70
Figura 41 - Hastes concêntricas deslizantes.....	72
Figura 42 - Cilindro de aço maciço entre as seções tubulares para acomodar o pino.....	73
Figura 43 - Indexação superior: Batente de borracha (1) e haste lateral (2)	73
Figura 44 - Indexação inferior e as suas partes	74
Figura 45 - Dispositivo instalado	79
Figura 46 - Idealização da análise por Elementos Finitos em um ambiente de simulação	80
Figura 47 - Malhas de Elementos Finitos: Tubo externo (a), tubo interno (b) e base (c).....	81
Figura 48 – Modelo “sólido – casca”: região de contato pino e alojamento.....	82
Figura 49 – Modelo “sólido – sólido”: região de contato pino e alojamento.....	83
Figura 50 – Curva Tensão x Deformação característica dos Aços SAE 1012 e 1045 respectivamente	83
Figura 51 – Contato “ <i>Frictional</i> ” para os tubos.....	84
Figura 52 – Contato com atrito entre o pino e o tubo discretizados com elemento de sólidos e de casca, respectivamente	85
Figura 53 – Contato com atrito entre o pino e o tubo ambos discretizados como elementos sólidos... 85	85
Figura 54 – Contato do tubo interno com o pino (a) e tubo externo com a base (b).....	86
Figura 55 – Força aplicada na coordenada -Y	87
Figura 56 – Sistema de coordenada do tipo “Cilíndrica” (“ <i>Coordinate Systems</i> ”).....	88
Figura 57 - Condição de restrição do modelo	88
Figura 58 – Deslocamento total na direção Y da base e do pino respectivamente	91
Figura 59 – Tensões no dispositivo.....	92
Figura 60 – Curva S-N para o aço SAE 1012	92
Figura 61 – Vida útil global do dispositivo.....	93
Figura 62 – Tensão Equivalente (Von Mises) no pino	94
Figura 63 – Convergência de malha	94
Figura 64 – Singularidade de tensão devido ao contato face e aresta.....	95
Figura 65 – Configuração do contato da face do pino e do alojamento.....	95
Figura 66 – Tensão equivalente (Von Mises) para o alojamento.....	96
Figura 67 – Distribuição das tensões encontradas no pino	96
Figura 68 – Tensão Máxima Principal.....	97
Figura 69 – Tensão Mínima Principal.....	97
Figura 70 – Curva S-N para o aço SAE 1045	98

Figura 71 – Vida útil do pino.....	98
Figura 72 – Montagem (Parte 1).....	102
Figura 73 – Montagem (Parte 2).....	103
Figura 74 – Montagem (Parte 3).....	103
Figura 75 – Montagem (Parte 4).....	103
Figura 76 – DCL da tampa do porta-malas e do dispositivo.....	115
Figura 77 - Largura da parede de travamento.....	117
Figura 78 - Alojamento do pino e o ângulo de abrangência do pino (θ).....	118
Figura 79 - Modelo adotado na base do dispositivo.....	119
Figura 80 - Gráfico de momento fletor na base.....	119
Figura 81 - Encaixe oblongo na base.....	120
Figura 82 - Modelo Virtual do Tubo Interno.....	121
Figura 83 - Classes de Resistência para Parafusos de Aço.....	122
Figura 84 - Verificações Dimensionais para o Furo de Parafusamento.....	122
Figura 85 - Verificação do Comprimento e_1	123
Figura 86 – Dimensões das roscas do pino e alojamento.....	124
Figura 87 - Passo, rasgo passante e rasgo para rosca ISO.....	125

Lista de Quadros

Quadro 1 - Ciclo de vida do produto	39
Quadro 2 - Requisitos do Cliente.....	46
Quadro 3 - Critérios de Atribuição	46
Quadro 4 - Diagrama de Mudge	46
Quadro 5 - Hierarquização dos requisitos do cliente	47
Quadro 6 - Conversão de necessidades em requisitos técnicos	48
Quadro 7 - Tempo das operações associadas ao dispositivo	50
Quadro 8 - Dimensões da estação de montagem das peças	50
Quadro 9 - Parâmetros dimensionais do veículo	51
Quadro 10 - Descritivo das funções específicas do dispositivo.....	53
Quadro 11 - Matriz morfológica inicial para o dispositivo.....	55
Quadro 12 - Requisitos de Engenharia do projeto	56
Quadro 13 - Configurações iniciais apresentadas ao cliente	56
Quadro 14 - Comparativo das configurações.....	57
Quadro 15 - Propostas de conceito	58
Quadro 16 - Matriz de decisão.....	68
Quadro 17 - Propriedades dos materiais selecionados.....	75
Quadro 18 - Tensões obtidas nos elementos do dispositivo	76
Quadro 19 - Dimensões principais do dispositivo (parte 1)	77
Quadro 20 - Dimensões principais do dispositivo (parte 2)	78
Quadro 21 – Propriedades Mecânicas dos Aços SAE 1012 e 1045 respectivamente	84
Quadro 22 - Parâmetros referenciais para estimativa de ciclos	90
Quadro 23 – Quantidade de ciclos de utilização do dispositivo	90
Quadro 24 - Quadro guia para o número correspondente aos níveis de criticidade da falha	100
Quadro 25 - Quadro guia para o número correspondente aos níveis de frequência da falha	100
Quadro 26 - Quadro guia dos níveis de dificuldade de detecção da falha.....	101
Quadro 27 – Resultados atingidos	104
Quadro 28 - Dados dimensionais.....	121
Quadro 29 - Dimensões Geométricas da Rosca.....	124

Lista de Abreviaturas e Siglas

BR – Butadiene Rubber

CAD – Computer-Aided Design

CAE – Computer-Aided Engineering

DCL – Desenho de Corpo Livre

DFMEA – Design Failure Modes and Effects Analysis

DIN – Deutsches Institut für Normung

INPI – Instituto Nacional da Propriedade Industrial

ISO – International Organization for Standardization

Lri – Comprimento de Rosca Interna

Lrp – Comprimento de Rosca do Pino

LRT – Limite de Resistência à Tração

NPR – Número de Prioridade de Risco

NR – Norma Regulamentadora

PMP – Profundidade Mínima de Parafusamento

SAE – Society of Automotive Engineers

S-N – Stress - Number of Cycles

Sumário

1. Introdução.....	14
1.1 Considerações iniciais.....	14
1.2 Justificativa do projeto.....	15
1.3 Objetivos.....	15
1.3.1 Objetivo geral.....	15
1.3.2 Objetivos específicos.....	15
1.4 Escopo do projeto.....	16
2. METODOLOGIA.....	16
2.1 Planejamento do projeto.....	16
2.2 Projeto informacional.....	16
2.3 Projeto conceitual.....	17
2.4 Projeto detalhado.....	18
3. DESENVOLVIMENTO.....	20
3.1 FASE INFORMACIONAL.....	20
3.1.1 Objetivo da fase.....	20
3.1.2 Busca de anterioridade.....	20
3.1.3 Benchmarking.....	28
3.1.3.1 Histórico de Desenvolvimento de similares.....	28
3.1.4 Ciclo de vida do produto.....	39
3.1.4.1 Projeto.....	40
3.1.4.2 Lançamento.....	41
3.1.4.3 Reconhecimento.....	41
3.1.4.4 Maturidade.....	42
3.1.4.5 Declínio.....	42
3.1.4.6 Substituição.....	43

3.1.5	Identificação e Hierarquização dos requisitos do cliente	43
3.1.5.1	Estabelecimento dos requisitos dos clientes	43
3.1.5.2	Hierarquização dos requisitos do cliente.....	44
3.1.6	Definição dos requisitos de Engenharia	47
3.1.7	Especificações meta do produto.....	48
3.1.8	Atualização do escopo do projeto	49
3.1.9	Observações finais da fase informacional.....	49
3.2.	FASE CONCEITUAL	49
3.2.1.	Verificação do escopo do problema	49
3.2.2.	Estabelecimento da estrutura funcional.....	52
3.2.3.	Pesquisa dos princípios de solução para o dispositivo.....	55
3.2.4.	Combinações dos princípios de solução	55
3.2.5.	Propostas de conceito para o dispositivo.....	58
3.2.5.1.	Conceito I.....	59
3.2.5.2.	Conceito II.....	65
3.2.6.	Conceito preliminar adotado	68
3.2.7.	Atualização do escopo do projeto	69
3.2.8.	Observações finais da fase conceitual.....	70
3.3.	FASE DETALHADA	71
3.3.1.	Objetivo da fase.....	71
3.3.2.	Definição dos materiais.....	71
3.3.2.1.	Corpo	72
3.3.2.2.	Indexação superior.....	73
3.3.2.3.	Indexação inferior.....	74
3.3.3.	Requisitos de Engenharia cumpridos	75
3.3.4.	Dimensionamento analítico.....	76
3.3.5.	Modelo idealizado para o dispositivo.....	79

3.3.6.	Verificação estrutural por elementos finitos	80
3.3.6.1.	Malha de elementos finitos.....	81
3.3.6.2.	Materiais aplicados ao modelo	83
3.3.6.3.	Contatos aplicados.....	84
3.3.6.4.	Condições de contorno	87
3.3.6.5.	Critérios de aceitação.....	89
3.3.6.6.	Resultados da análise por elementos finitos	91
3.3.6.7.	Considerações finais do método de elementos finitos.....	99
3.3.7.	Análise dos modos e efeitos das falhas do projeto do dispositivo (DFMEA).....	99
3.3.7.1.	Parâmetros do DFMEA	100
3.3.7.2.	Considerações finais sobre o DFMEA	101
3.3.8.	Guia de montagem do dispositivo.....	102
4.	RESULTADOS ALCANÇADOS NO PROJETO	104
5.	CONSIDERAÇÕES FINAIS DO PROJETO	106
	REFERÊNCIAS.....	108
	APÊNDICE A – ESPECIFICAÇÕES META DO PRODUTO	115
	APÊNDICE B – MEMORIAL ANALÍTICO DO DISPOSITIVO	1155
	APÊNDICE C – DFMEA DO DISPOSITIVO.....	126
	APÊNDICE D – DESENHO TÉCNICO PARA FABRICAÇÃO	127
	APÊNDICE E – MANUAL DO PROPRIETÁRIO	138

1. Introdução

1.1 Considerações iniciais

O processo de desenvolvimento de um novo veículo envolve uma série de etapas que vão desde à identificação das necessidades dos consumidores à produção em larga escala. No meio deste processo, a etapa de testes e simulações virtuais é de fundamental importância na antecipação e previsibilidade de erros que podem vir a ocorrer durante a montagem do veículo. Neste sentido, um problema foi detectado pelo time de “Montagem Final” da Ford Motor Company durante a análise de viabilidade virtual para montagem da mola-gás e seus componentes para um novo carro em estudo de lançamento.

Essa peça é um elemento que desempenha o papel de sustentar e manter a tampa da mala aberta, quando sua abertura é acionada pelo usuário. A problemática reside na necessidade de manter o porta-malas aberto durante o processo de instalação deste componente crucial para o veículo. Diante disso, alguns estudos iniciais foram feitos pelo time da Ford, a partir dos quais verificaram que o operador não seria capaz de segurar a tampa da mala e executar o processo simultaneamente.

A operação de montagem exige que o operador tenha as mãos livres para com o auxílio de um apertadeira elétrica seja capaz de aparafusar os componentes secundários da mola-gás. Além disso, mesmo que o processo fosse executado por dois operadores, o longo tempo de exposição para manutenção manual do porta-malas na posição aberta colocaria o operador em uma condição anti-ergonômica crítica, que poderia trazer impactos significativos sobre sua saúde física.

Sob esta ótica, o time chegou à conclusão que seria necessário desenvolver uma solução de engenharia para sustentar e garantir a posição aberta do porta-malas, auxiliando o operador durante o processo de instalação das peças já citadas. Sendo assim, foi requisitado pelo cliente a concepção de um dispositivo de retenção temporária da tampa da mala capaz de viabilizar o processo de montagem da mola gás e seus constituintes, através de um conceito funcional capaz de atender aos requisitos técnicos, ergonômicos e operacionais internos de forma segura e eficaz.

1.2 Justificativa do projeto

Dificuldade de executar o processo de montagem da mola gás e seus componentes na tampa da mala do novo veículo proposto pela Ford Motor Company.

1.3 Objetivos

1.3.1 Objetivo geral

Desenvolvimento de um projeto de engenharia de um dispositivo de retenção temporária da tampa da mala destinado à aplicação única do novo veículo estudado pela empresa Ford Motor Company – Camaçari, referente à etapa de montagem da mola gás e seus componentes, para conferir viabilidade ao processo produtivo. O propósito desse projeto consiste em entregar o melhor dispositivo dentro do prazo planejado de 6 meses com eficiência e boa performance, alcançando todos os requisitos propostos no plano de trabalho.

1.3.2 Objetivos específicos

- Levantar uma base de dados informacionais que irão fornecer elementos de sustentação para a conceituação do dispositivo;
- Realizar uma definição adequada dos materiais dos componentes do dispositivo, capaz de conferir boa resistência mecânica e durabilidade;
- Promover o dimensionamento analítico como caráter preliminar de obtenção das dimensões mínimas necessárias para conceber o dispositivo;
- Verificar a integridade estrutural do dispositivo através de simulações numéricas, aplicando o método dos elementos finitos;
- Elaborar um DFMEA para previsibilidade de falhas e um plano de manutenção para o dispositivo, atendendo aos requisitos de segurança pré-estabelecidos;
- Fornecer o desenho técnico (2D) do dispositivo, promovendo o direcional mínimo necessário para fabricação.

1.4 Escopo do projeto

O presente trabalho aborda o projeto de um dispositivo de retenção do porta-malas de um veículo da Ford Motor Company, expondo todo o processo e todas as informações base utilizadas para chegar no resultado final: Um projeto de engenharia virtual do dispositivo, com a entrega do modelo CAD 3D, desenhos técnicos 2D, um DFMEA e manual do usuário com um plano de manutenção. O trabalho não aborda questões de custos associados ao dispositivo e a fabricação de um protótipo não será feita.

2. METODOLOGIA

O presente projeto foi fundamentado na metodologia do PDP – Processo de desenvolvimento do produto, considerando somente as fases de planejamento do projeto, projeto informacional, projeto conceitual e projeto detalhado. As demais etapas da metodologia não foram abordadas pois não fazem parte do escopo inicial do estudo.

2.1 Planejamento do projeto

O planejamento representa o passo inicial no desenvolvimento do produto, apresentando como etapa primordial a definição do time de trabalho e indicação dos interessados no projeto. Reuniões para a formalização são determinantes para a definição do escopo, que determina de forma clara as intenções do projeto e formaliza a sua abertura. Para isto, todas as áreas envolvidas precisam estar de acordo com as informações contidas neste documento. Com esta etapa concluída e o documento gerado e aprovado pela contratante do projeto, bem como as demais partes interessadas, pôde-se avançar para a próxima fase do desenvolvimento.

2.2 Projeto informacional

Na fase do projeto informacional, o primeiro passo consistiu na busca de anterioridade e benchmarking, como parte da construção de uma base informacional referencial daquilo que se deseja conceber. Por conseguinte, foi realizada a pesquisa

e definição do ciclo de vida do produto, onde fica definida a necessidade de pesquisar e determinar as fases de vida do produto, bem como os clientes para cada uma destas fases.

À vista disso, realizou-se a identificação das necessidades do cliente, a qual foi direcionada ao contratante do projeto e sua equipe técnica, que reconhece as necessidades do usuário final do produto e visa determinar as especificações do mesmo. A coleta destas informações ocorreu em forma de reuniões, onde questões diretas foram direcionadas aos responsáveis técnicos do departamento (no tocante às áreas de segurança, ergonomia e operação) e as informações coletadas foram dispostas para atender a atividade seguinte.

Munidos das informações coletadas, os requisitos do cliente foram estabelecidos. Estes foram convertidos em requisitos de engenharia, elaborados de forma técnica e quantitativa, permitindo assim a conferência e indicação de atingimento dos objetivos esperados.

Logo depois, o diagrama de Mudge foi utilizado nesta etapa do projeto para a hierarquização dos requisitos do cliente. Esta ferramenta indicou, de forma decrescente, os aspectos de maior importância para o desenvolvimento do produto. Após essa hierarquização, valores meta foram associados a cada requisito e a forma de validação para o atingimento destes valores foi determinada. Com estas etapas concluídas, e os documentos aprovados, foi possível dar seguimento ao processo e avançar para a fase seguinte.

2.3 Projeto conceitual

Nesta etapa, tornou-se relevante realizar uma **verificação do escopo do problema**, para obter uma visão mais clara acerca das nuances relacionadas ao mesmo, o que possibilitou uma maior assertividade para concepção produto. Em seguida, **os princípios de solução foram indicados** e o produto passou a ganhar forma, as informações coletadas anteriormente serviram de base para estas definições e nortearam as pesquisas desta fase.

A primeira etapa proposta pela metodologia referiu-se ao estabelecimento da **estrutura funcional do produto**, em que se tornou possível descrever de forma abstrata a estrutura do produto sem restringir as pesquisas a soluções específicas. A

função global pôde ser representada de forma a relacionar as entradas e saídas requeridas com a função principal do produto. Após a indicação da **função global**, esta precisou ser decomposta e as **funções específicas** foram indicadas. Com as funções listadas, os trabalhos de pesquisa para determinar as soluções foram iniciados.

A **matriz morfológica** foi o método utilizado para a geração de alternativas de solução para as funções do produto de uma forma estruturada, que permitiu a combinação de parâmetros para prover a adequada solução ao problema do projeto. As **pesquisas** foram realizadas de forma direta em busca de **soluções existentes no mercado e também direcionadas a utilização de itens já aplicados na empresa** (onde o projeto estava sendo desenvolvido), revisitando também as informações outrora coletadas na fase informacional do projeto.

Tendo as propostas de solução definidas, se fez necessário determinar a associação das soluções para atender as especificações e requisitos do cliente. Os possíveis itens informados na matriz morfológica foram analisados e confrontados com os requisitos do cliente e de engenharia, a fim de selecionar a proposta de solução que melhor atendesse à concepção do produto.

Para a escolha da concepção do produto **a matriz de decisão foi aplicada**. Com todos os requisitos listados, as propostas receberam um valor para determinar o nível de importância para o produto, sendo que o mais importante recebeu o maior valor e aos demais a associação de valores em ordem decrescente. Em seguida, as propostas de concepção foram comparadas. Com todos os valores determinados, o somatório foi realizado e o conceito com maior pontuação demonstrou estar em maior concordância com os requisitos do projeto.

A conclusão das etapas anteriores determinou a concepção do produto e a possibilidade de evoluir em suas variantes, permitindo o amadurecimento do conceito na fase posterior do projeto.

2.4 Projeto detalhado

Com o conceito definido na fase anterior, a primeira etapa do projeto detalhado consistiu na estratificação do produto em partes elementares, de acordo com as funções previamente estabelecidas. Com isso, caminhou-se para definição dos materiais aplicáveis às respectivas partes do dispositivo, alinhados com os requisitos

técnicos funcionais esperados, bem como os demais requisitos de engenharia pré-estabelecidos.

Após a definição dos materiais, partiu-se para o dimensionamento analítico do dispositivo, por meio do qual obteve-se as dimensões globais mínimas necessárias para o desenvolvimento do modelo virtual do produto. Este modelo foi utilizado como base para o processo de verificação estrutural pelo método de elementos finitos.

O processo de análise virtual do dispositivo foi executado através da ferramenta computacional ANSYS Workbench, que permitiu realizar uma verificação estrutural robusta, do ponto de vista de engenharia, possibilitando a simulação de resistência a carga sobre o qual o dispositivo será exposto. Por meio das análises, verificou-se também a condição de durabilidade do produto, provendo uma estimativa para o cliente acerca do tempo de vida útil do mesmo.

Depois de averiguar virtualmente que o dispositivo foi capaz de suportar aos esforços que lhe serão impostos, elaborou-se um DFMEA do produto. Este documento reúne as informações dos possíveis modos e efeitos de falha que podem se manifestar no dispositivo, antecipando os problemas e, permitindo dá a melhor tratativa para cada um deles.

Por conseguinte, foi elaborado um desenho técnico do produto, que fornece o direcional mínimo necessário para fabricação do mesmo pela empresa contratante do projeto. Por fim, a equipe do projeto se propôs a dispor para o cliente um manual do proprietário, que consolida todas informações referente aos constituintes do dispositivo, as instruções de uso e cuidados necessários, especificações dimensionais, plano de manutenção, bem como aspectos relacionados ao meio ambiente, ergonomia e segurança no trabalho.

3. DESENVOLVIMENTO

3.1 FASE INFORMACIONAL

3.1.1 Objetivo da fase

Reunir as informações mínimas necessárias que servirão de alicerce para composição do estudo, como parte das atividades da fase informacional do projeto celebrado com a *FORD (CAMAÇARI)* intitulado **Dispositivo de retenção temporária da tampa da mala**. Esse conjunto de informações visa refletir as características que o produto deverá ter para atender às necessidades do cliente.

3.1.2 Busca de anterioridade

Ao realizar as pesquisas no banco de dados do Instituto Nacional da Propriedade Industrial (INPI) do Brasil, não foram encontradas patentes de dispositivos de retenção temporária que são utilizados na tampa da mala dos veículos automotivos. Deste modo, partiu-se para pesquisas no banco de dados internacional, onde existe um leque de informações, estudos e pesquisas muito mais amplo se comparado ao âmbito nacional.

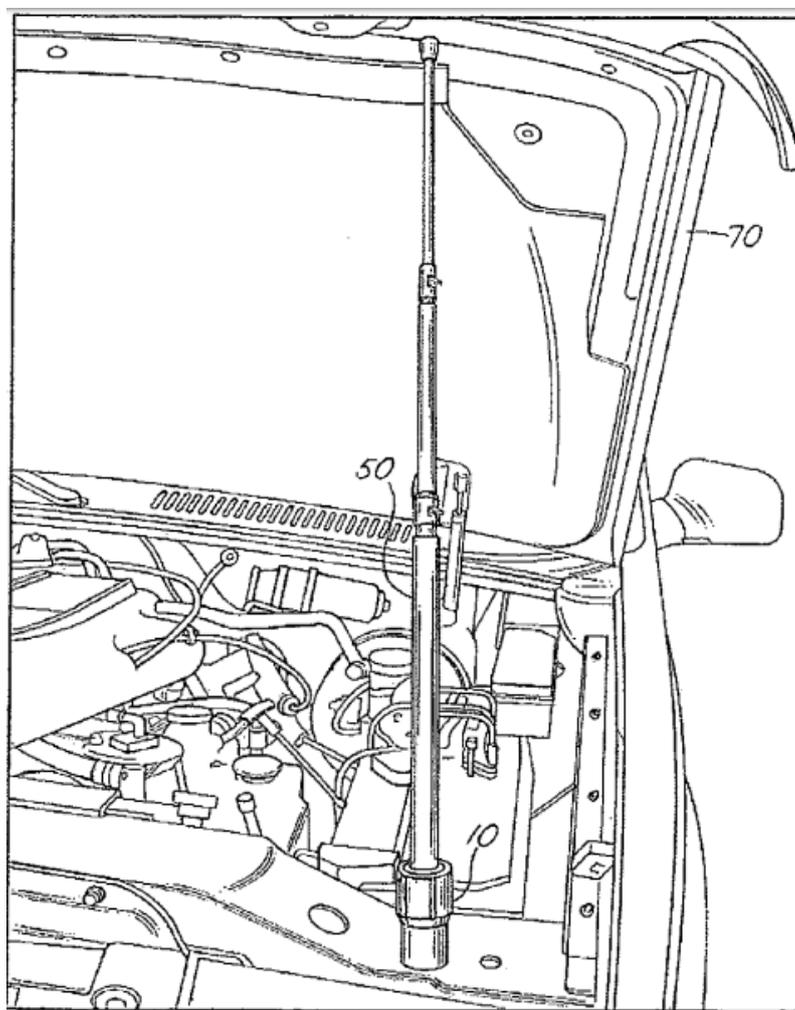
Nesse novo contexto, foi possível encontrar algumas patentes de dispositivos similares ao que está se propondo desenvolver. Seguem abaixo alguns registros de patentes encontrados:

Hood prop with support

- Companhia: *Lisle Corporation*
- Inventores: Scotty R. Kurtz; Al R. Rohrbach
- Data da patente: 12 de agosto de 2008
- Ano de expiração: 2027
- Número de patente: US741014B2

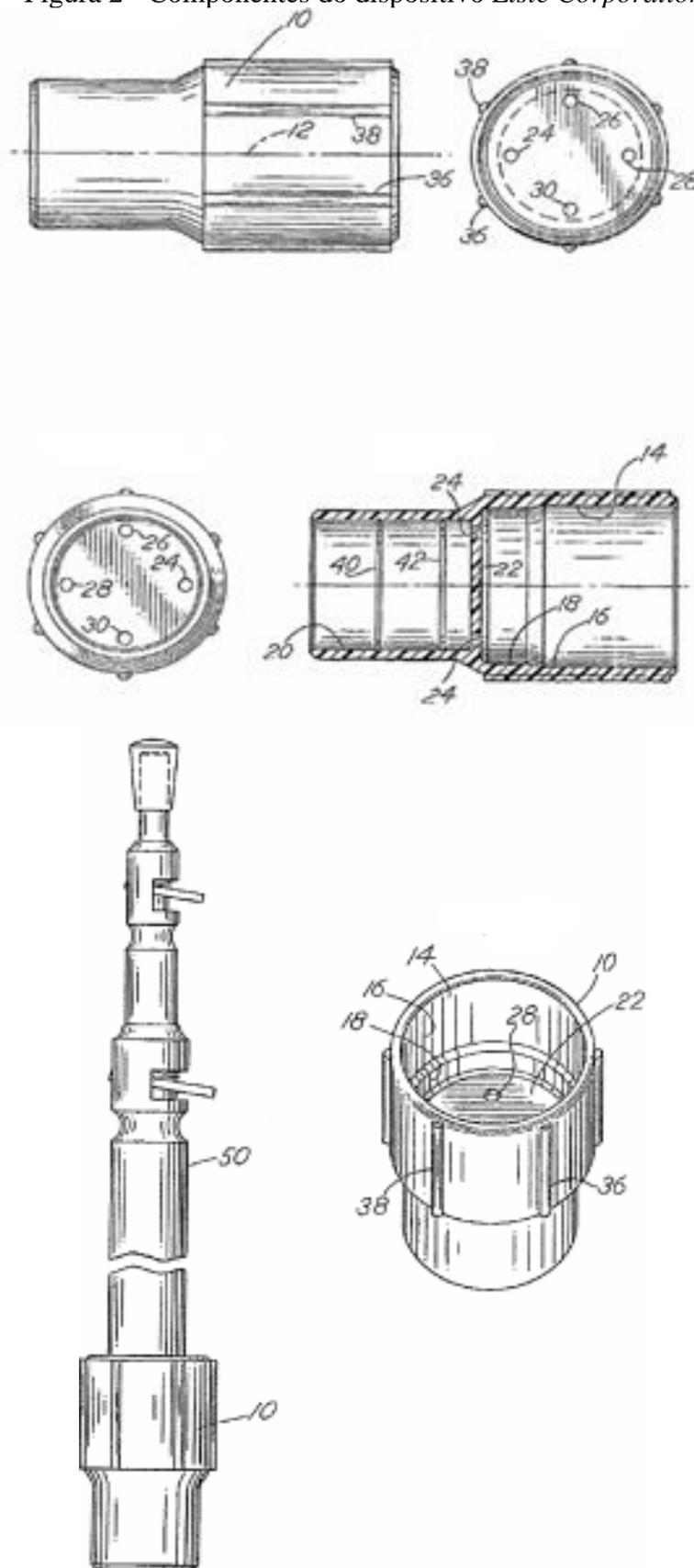
- Descrição: Consiste em um adaptador para um suporte de capô que inclui contra-furos que se estendem de forma oposta em um alojamento cilíndrico separado por uma parede transaxial. O adaptador foi projetado para ser montado sobre um batente do capô e receber o final de um suporte telescópico do capô.
- Comentários: Apesar desse dispositivo não ser aplicado a tampa da mala especificamente, conforme prevê o trabalho aqui proposto, o mesmo está sendo incorporado na pesquisa de patentes, visto que constitui um dispositivo de referência para o desenvolvimento do projeto.

Figura 1 – Dispositivo *Lisle Corporation*



Fonte: Kurtz e Rohrbach (2008).

Figura 2 - Componentes do dispositivo *Lisle Corporation*

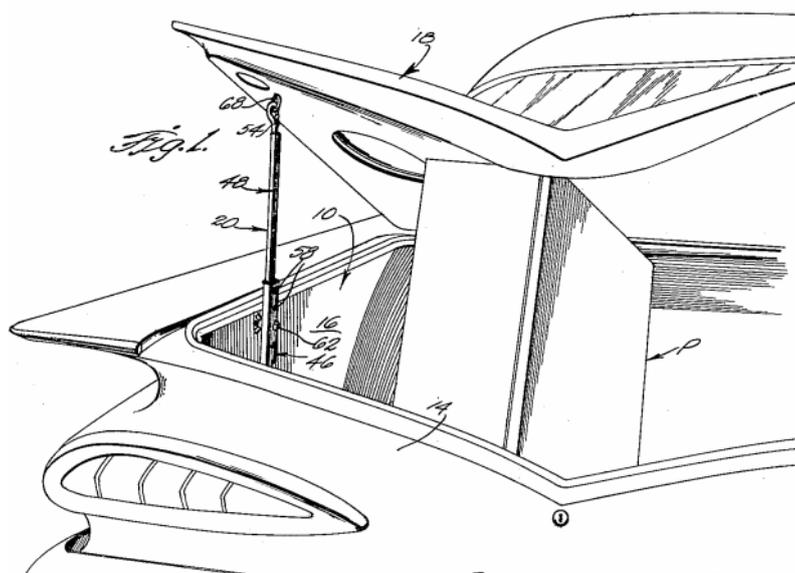


Fonte: Kurtz e Rohrbach (2008).

Prop for trunk compartment lids

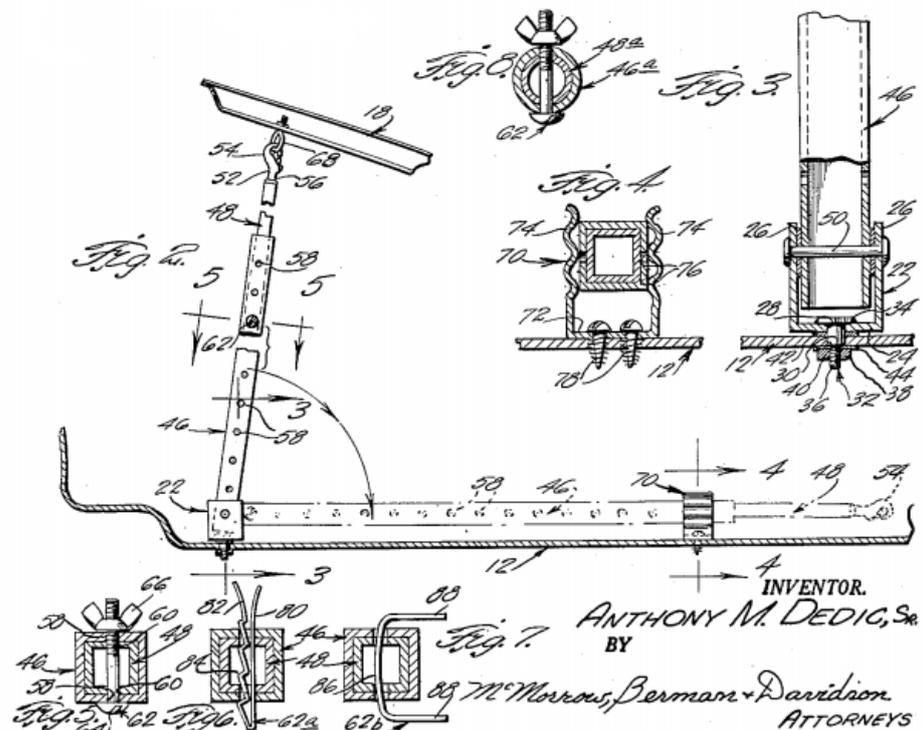
- Patente privada
- Inventor: Anthony M. Dedic
- Data da patente: 14 de janeiro de 1964
- Ano de expiração: 1981
- Número de patente: US3117689A
- Descrição: A presente invenção refere-se a um novo suporte para tampas de compartimento de porta-malas de automóveis e similares. O objetivo principal da invenção é o fornecimento de um dispositivo eficiente, robusto e facilmente ajustado do tipo indicado, permanentemente montado no chão do compartimento do porta-malas e que, quando não estiver em uso, seja adaptado para ser rebatido no chão, ao longo de um lado do compartimento ou transversalmente ao compartimento, em uma posição afastada; e que inclui meios para conectar de forma segura e desmontável o suporte à parte inferior da tampa, em uma posição aberta da tampa, de modo que esta seja impedida de bater e danificar a si mesma e grandes pacotes presentes no compartimento mais elevado que o próprio.

Figura 3 - Dispositivo “*Prop for trunk compartment lids*”



Fonte: Dedic (1964).

Figura 4 - Detalhes do dispositivo e seus componentes

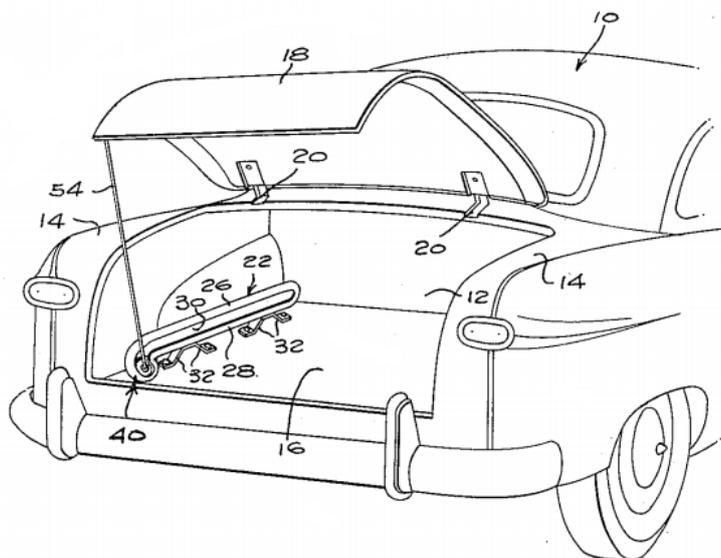


Fonte: Dedic (1964).

Prop for lids of vehicle trunk compartments

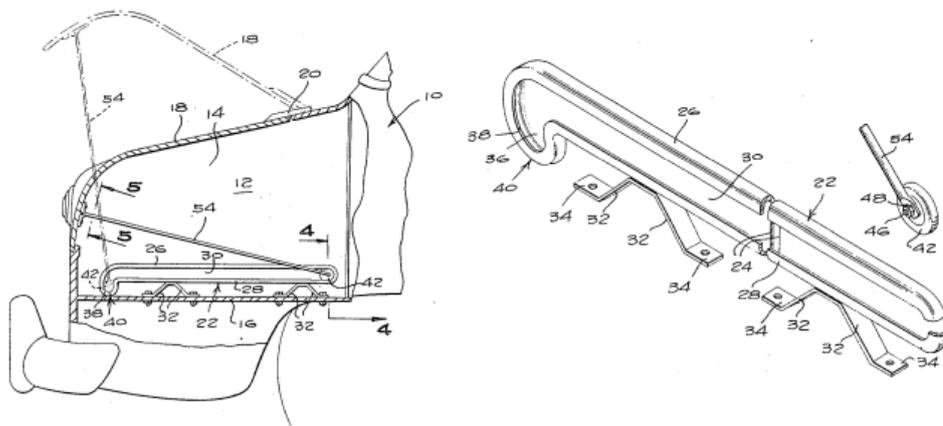
- Patente privada
- Inventor: Ennis L. Holmes
- Data da patente: 29 de outubro de 1957
- Ano de expiração: 1974
- Número de patente: US2811273A
- Descrição: A presente invenção refere-se a um suporte aprimorado para manter abertas as tampas dos compartimentos do porta-malas do veículo e tem como objetivo principal fornecer um acessório que complementa os aparelhos convencionais fornecidos para este fim, o que assegura que as tampas permaneçam abertas até que uma ação positiva seja tomada e o usuário solte o suporte, permitindo que as tampas sejam fechadas e, assim, evite ferimentos e inconvenientes através do fechamento acidental destas.

Figura 5 - Dispositivo "Prop for lids of vehicle trunk compartments"



Fonte: HOLMES (1957).

Figura 6 - Detalhes do dispositivo e seus componentes

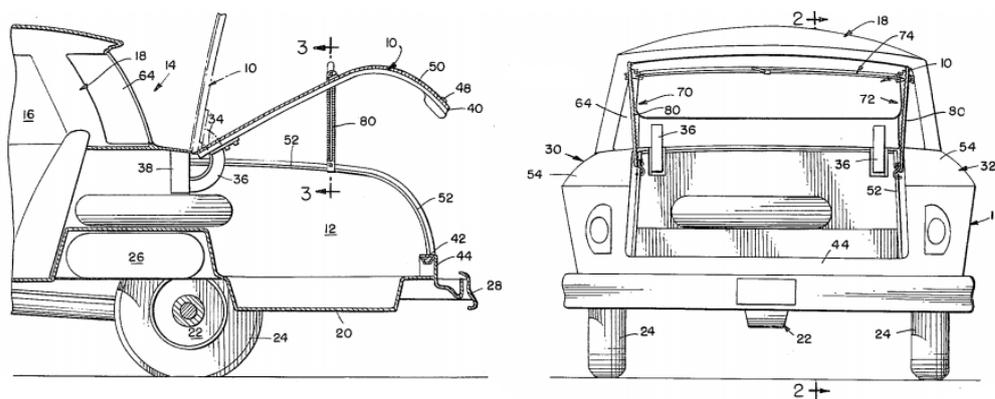


Fonte: HOLMES (1957).

Automotive trunk lid support

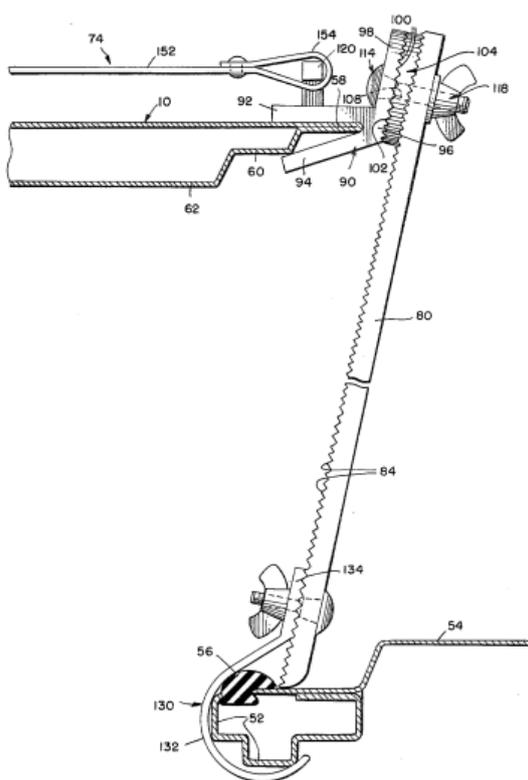
- Patente privada
- Inventor: Dennis R. Hughes
- Data da patente: 9 de novembro de 1965
- Ano de expiração: 1982
- Número de patente: US3216605A
- Descrição: A presente invenção refere-se a um conjunto de suporte que foi projetado para uso como um suporte de tampa automotiva e é seletivamente operável para manter a tampa de fechamento articulada de um porta-malas ou compartimento de bagagem de automóveis em várias posições parcialmente abertas até o fim, objetos que são grandes demais podem ser acomodados e a tampa permanece firmemente segura contra os movimentos de balanço para cima e para baixo.

Figura 7 - Dispositivo “Automotive trunk lid support”



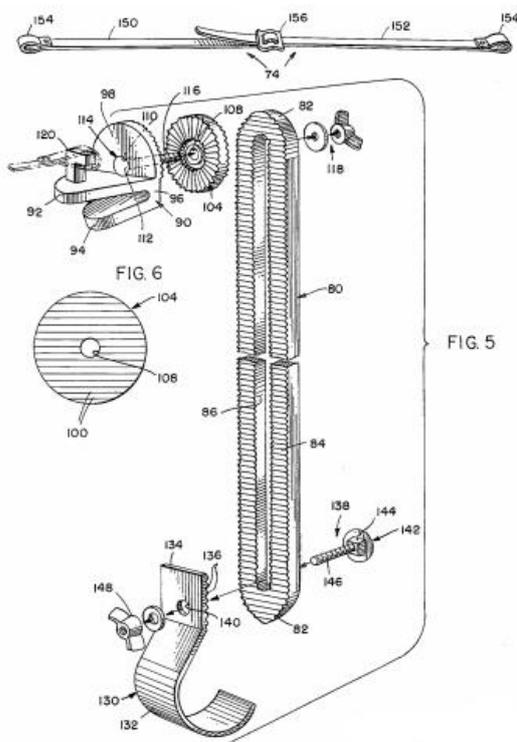
Fonte: Hughes (1965).

Figura 8 - Vista lateral do dispositivo e seus componentes



Fonte: Hughes (1965).

Figura 9 - Vista em perspectiva do dispositivo e seus componentes



Fonte: Hughes (1965).

3.1.3 Benchmarking

3.1.3.1 Histórico de Desenvolvimento de similares

A busca pelo histórico de desenvolvimento de similares constitui uma das etapas mais importantes do desenvolvimento do projeto, pois é através dessa coleta de informações que será possível construir uma base referencial para a confecção do dispositivo proposto. Sob esta ótica, partiu-se para busca de dispositivos similares já fabricados e existentes no mercado:

Daimler Chrysler Prop Tool

A Daimler Chrysler solicitou aos projetistas da *University of Delaware* o desenvolvimento de um dispositivo no formato de uma haste para apoiar o porta-malas do Dodge Durango (vide Figura 10). Este dispositivo seria utilizado durante o processo de pintura, viabilizando o acesso às partes internas e a pintura dessas regiões no veículo. O mesmo deveria ser capaz de satisfazer às necessidades do processo e algumas restrições impostas pelo departamento de pintura da empresa contratante.

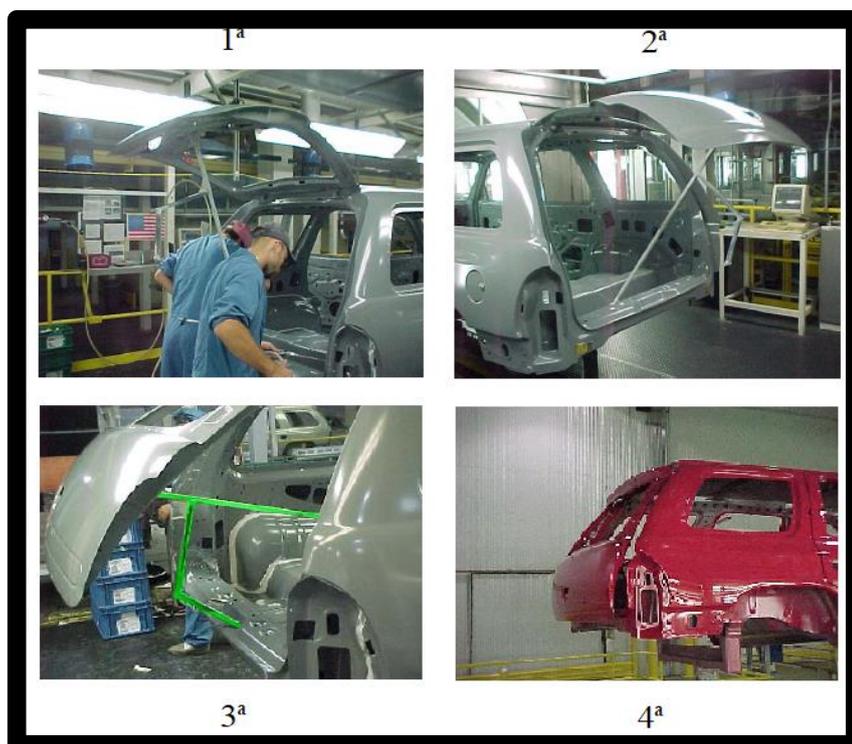
Figura 10 - Dodge Durango



Fonte: HLDI (2001).

Para confecção do dispositivo, a empresa contratante atribuiu alguns requisitos necessários para o desenvolvimento do produto: deveria atender às condições operacionais (ergonomia, segurança e processo) já existentes; ser leve e compacto; apresentar boa relação custo-benefício; suportar a carga em 4 posições de abertura diferentes (vide Figura 11). Além disso, o dispositivo deveria respeitar as condições de validação experimental definidas pela empresa para o dispositivo.

Figura 11 - Posições de abertura do porta-malas

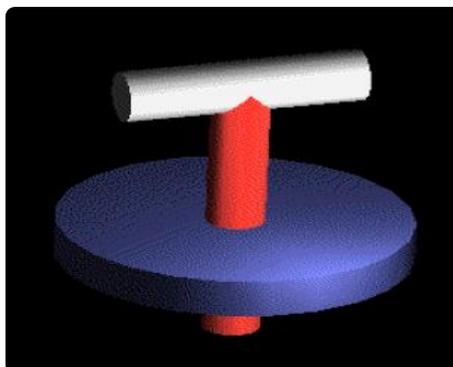


Fonte: University of Delaware (2001).

Uma vez conhecendo o contexto delimitado pela empresa para o desenvolvimento do produto, a equipe do projeto trabalhou no levantamento de alguns conceitos para a dobradiça e no mecanismo utilizado para ancoramento do dispositivo na carroceria do veículo. Para o mecanismo foram cogitadas algumas propostas de soluções: componente no formato em “T”, ilustrado esquematicamente na Figura 12; utilização de uma mola de compressão; dispositivo magnético; mecanismo de sucção; ou conexão aparafusada resistente à pintura. Para a dobradiça, foram levantadas as seguintes ideias: não apresentar

dobradiças, esta estaria dentro do acessório e livre para reposição; soquete esférico com carcaça flexível (ver Figura 13); ou dobradiça de mola, conforme mostrado na Figura 14.

Figura 12 - Acessório em “T”



Fonte: University of Delaware (2001).

Figura 13 - Soquete esférico com carcaça flexível



Fonte: LEXIVON (2020).

Figura 14 - Dobradiça de mola



Fonte: Source (2020).

Os critérios de escolha dos principais constituintes do dispositivo, citados anteriormente, foram: a classificação do mais relevante feita pelo cliente e a priorização das necessidades; benchmarking usando um comparativo de escala de performance do dispositivo; correlação cruzada das métricas determinadas; avaliação e seleção do conceito mais aplicável às características necessárias. Nesse âmbito, foi selecionado o mecanismo no formato em “T”, pois o mesmo satisfazia as principais métricas/exigências do cliente: ausência de partes móveis, nova estratégia de ancoramento e eliminação da necessidade de dobradiça.

O conceito inicial (vide Figura 15) traçado pela equipe de projeto apresentava as seguintes características: mecanismo de ancoramento em “T”, barra sólida em ângulo, revestimento resistente à pintura, e material diferente (não revelado) do que era anteriormente empregado pela Daimler Chrysler (aço de baixo carbono termicamente tratado). Uma vez definido o conceito inicial do dispositivo, partiu-se para análise de engenharia onde se fez necessário compreender a força de impacto imposta ao dispositivo em operação. Para tal, a equação de conservação de energia e a equação de impulso e quantidade de movimento foi empregada.

$$\Delta PE = \Delta KE \text{ (Eq. 1 - Conservação de Energia)}$$

$$m \cdot g (h_2 - h_1) = \frac{1}{2} \cdot m \cdot (V_2^2 - V_1^2)$$

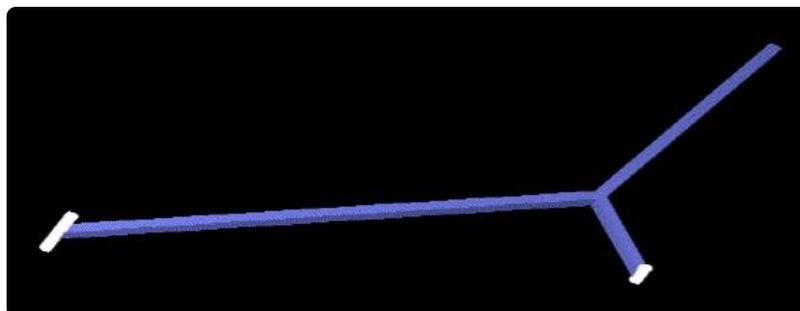
$$F_{\text{impacto}} = \frac{m \cdot V_2}{T_{\text{contato}}} \text{ (Eq. 2 - Impulso e Qtd. de movimento)}$$

Onde:

- ΔPE = Variação da energia potencial;
- ΔKE = Variação da energia cinética;
- m = massa;
- g = constante gravitacional;
- h_2 = altura final;
- h_1 = altura inicial;
- V_2 = Velocidade final;

- V_1 = Velocidade inicial;
- F_{impacto} = Força de impacto;
- T_{contato} = Tempo de contato.

Figura 15 - Conceito inicial do dispositivo

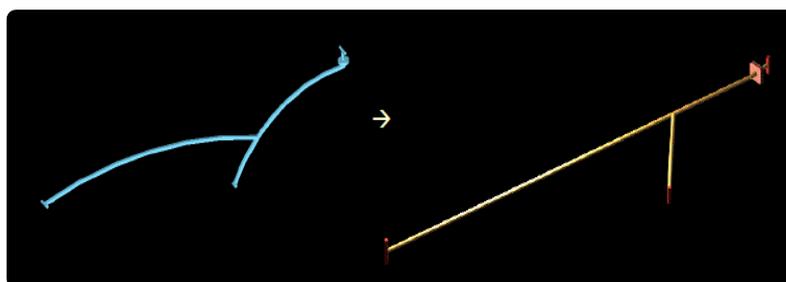


Fonte: University of Delaware (2001).

Adicionalmente, as seguintes considerações foram feitas para analisar os esforços que o dispositivo estaria sujeito: flexão no disco do mecanismo em “T” e cisalhamento na junção entre o disco e a haste do dispositivo. Após essas considerações, foi realizada a aquisição de dados experimentais. No 1º estágio foi executado um teste de impacto. No 2º estágio foi feita a conexão e encaixe do acessório em “T”.

O projeto sofreu modificações de design (vide Figura 16) para facilitar o processo de fabricação e, com isso, a haste do dispositivo anteriormente com formato curvado passou a ser retilínea. Os resultados dos testes realizados no 1º protótipo apontaram: problemas durante a montagem, pois a haste utilizada era muito longa e o acessório em “T” estava promovendo arranhões no porta-malas do veículo, danificando o mesmo.

Figura 16 - Alteração de design do dispositivo

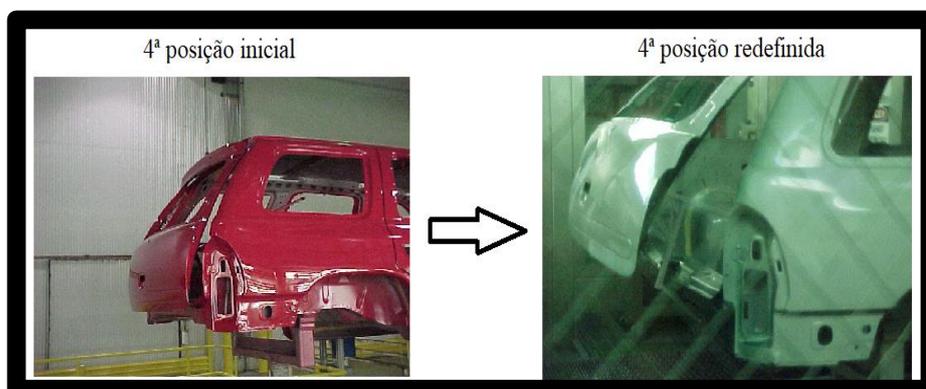


Fonte: University of Delaware (2001).

Com base nos problemas apresentados no primeiro teste, foram feitas melhorias no 2º protótipo: O acessório em “T” e a haste foram redesenhados formando uma única peça, eliminando a necessidade de união soldada. Adicionalmente os cantos vivos do elemento em “T” foram removidos. O 2º protótipo desenvolvido foi avaliado pelos operadores de processo, o qual apresentou os seguintes resultados: sucesso obtido durante a instalação do dispositivo e acionamento dos ajustadores; foram relatadas algumas preocupações quanto ao ajustador da cabine de pintura, pois a 4ª posição não estava em uma altura adequada; a haste era muito estreita e isso dificultava o manuseio com o uso de luvas; leve rotação apresentada no dispositivo, devido ao mecanismo “T” empregado.

Com base na avaliação fornecida pelos operadores da linha de pintura, a altura para a 4ª posição foi redefinida a fim de atender às exigências do cliente (vide Figura 17). Atrelado a isso, as seguintes melhorias foram realizadas no 3º protótipo: redução do comprimento do acessório em “T”, além da adição de um elemento de “pega” à haste para melhorar o manuseio e controle do operador durante a instalação e ajuste do dispositivo. Posteriormente, foi realizada a transferência e validação do produto, que consistiu na demonstração da utilização do novo dispositivo para os operadores, associado a um treinamento para que os mesmos fossem capazes de operar de forma correta o dispositivo, além de realizar a integração na linha de pintura.

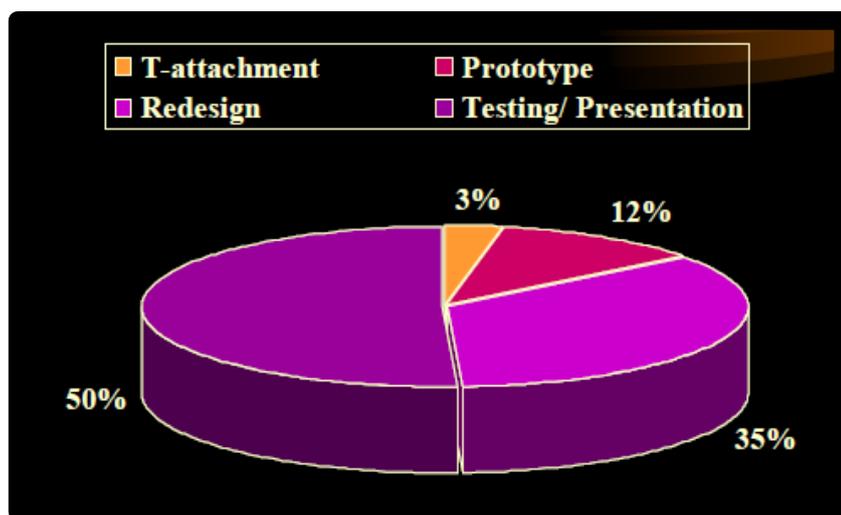
Figura 17 - Redefinição da 4ª posição



Fonte: University of Delaware (2001).

O projeto apresentou um custo total de US\$ 436.31, onde 50% foi destinado ao redesign do dispositivo já existente, 35% aplicado para testes/apresentações, 12% voltado à confecção do protótipo e somente 3% atribuído para o desenvolvimento do novo acessório em “T” (vide Figura 18). Como resultados finais, o dispositivo apresentou uma redução geral no tamanho (54 x 16 in) e peso (< 8 lbs) se comparado ao dispositivo já existente na companhia, exibiu também uma redução no custo (cerca de US\$ 10 a menos) do dispositivo quando confrontado com o anterior. Além disso, o mesmo foi manufaturado internamente nas instalações da Daimler Chrysler, proporcionando uma maior integração do time de pintura voltado para desenvolvimento de soluções de problemas na linha.

Figura 18 - Proporção dos custos do projeto

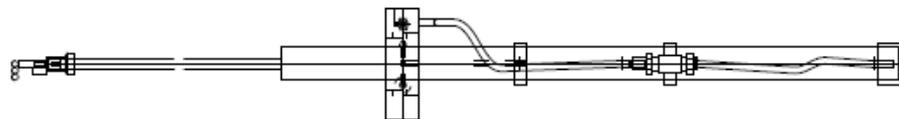


Fonte: University of Delaware (2001).

Ford Ranger - Hood device

Dando continuidade às pesquisas pelo histórico de desenvolvimento de similares, foi feito um benchmarking interno na Ford Motor Company e, verificou-se que na planta de Pacheco (Argentina) é utilizado um dispositivo pneumático (vide Figura 19) para realizar a elevação do capô da Ranger durante o processo de pintura do veículo. O dispositivo é posicionado na parte frontal da carroceria na região conhecida como “hood latch” e também no capô, mais especificamente no “hood striker”. Na sua parte central possui uma entrada para alimentação de ar comprimido, em que uma vez feita essa alimentação, a haste é deslocada de forma retilínea, proporcionando a elevação do capô do veículo, sem que haja a necessidade de esforços do operador para executar a operação.

Figura 19 - Desenho técnico ilustrativo do dispositivo



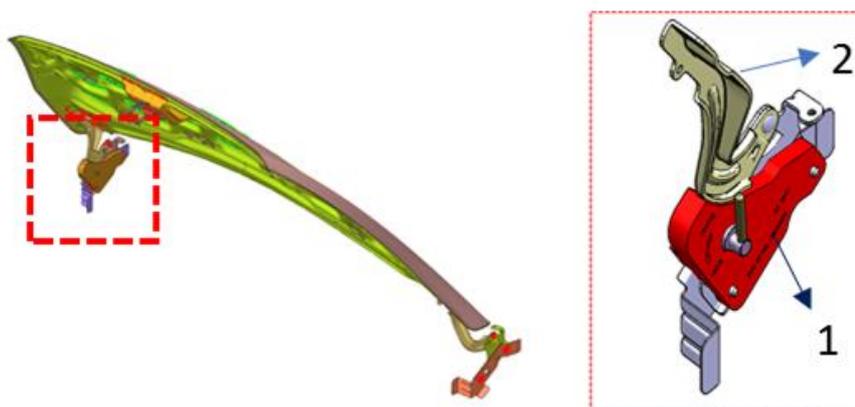
Fonte: Ford (2020).

Apesar do dispositivo acima ser empregado em outro contexto (elevação do capô na linha de pintura) se comparado ao dispositivo que está sendo proposto (elevação da tampa da mala na linha de montagem final), o conceito deste serve de referência para início do esboço dos conceitos do dispositivo que serão tratados futuramente. Nesse sentido, a análise deste dispositivo torna-se de grande valia para o desenvolvimento do presente projeto, uma vez que já é aplicado dentro da própria empresa.

Ford Ka - Hood device

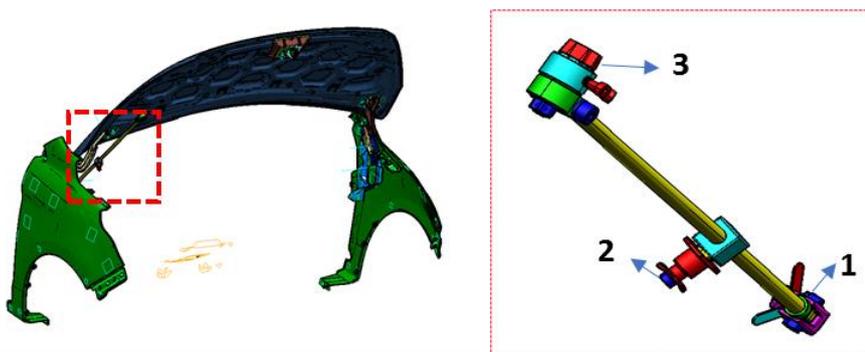
Ainda na Ford (Planta de Camaçari), foi identificado um estudo de desenvolvimento de um novo dispositivo aplicado para promover a elevação do capô, empregado na linha de montagem final. O propósito inicial do estudo consistia em avaliar a causa-raiz das deformações existentes no capô do veículo e, uma vez identificada, conceber um novo dispositivo capaz de mitigá-las. O dispositivo originalmente utilizado (vide Figura 20) foi mal dimensionado, uma vez que toda a carga suspensa era suportada por apenas um dos lados, criando deformações na dobradiça e no capô.

Figura 20 - Dispositivo anterior (em vermelho)



Fonte: Ford (2019).

Figura 21 - Novo dispositivo



Fonte: Ford (2020).

O novo dispositivo (vide Figura 21) foi projetado no formato de uma haste metálica, apresentando 3 pontos de ancoramento. O primeiro deles fixado na parte lateral da carroceria do veículo, o segundo ancorado na porção média do capô no momento em que este encontra-se na posição fechada e o terceiro fixado na parte superior intermediária do capô, quando este está totalmente suspenso.

Por apresentar um maior comprimento e ser ancorado na porção superior intermediária do capô, a geometria do novo dispositivo, propiciou uma redução significativa dos esforços impostos sobre a estrutura. Além disso, esta solução mitigou os danos sobre a dobradiça e também sobre a superfície do capô.

Apesar do dispositivo acima referido ser aplicado ao capô, diferente do contexto designado do proposto (tampa da mala) para o presente projeto, algumas ideias poderão ser utilizadas pela equipe como um referencial para concepção do produto em desenvolvimento.

Outros similares

Analisando o mercado de peças e dispositivos em geral foi possível encontrar alguns similares ao que se deseja conceber no presente trabalho. Um conceito foi identificado no site da empresa privada estadunidense, Bandd tools, especializada na produção de dispositivos/ferramentas automotivas. A ferramenta deles é chamada de “*Prop-N-Lock*” (vide Figura 22) e é aplicável em todas as marcas de carro e caminhões. Basicamente o dispositivo possui um design de trava deslizante de duas peças permitindo a quem for utilizá-lo travar o painel na posição desejada. O dispositivo apresenta modelos aplicáveis ao porta-malas, capô e as portas dos veículos.

Figura 22 - Dispositivo “Prop-N-Lock” para o porta-malas



Fonte: B&D Tools (2018).

Além do conceito apresentado acima, dispositivos de acrílico (vide Figura 23) ou metal (vide Figura 24) foram encontrados em várias configurações geométricas.

Figura 23 - Dispositivo em acrílico



Fonte: Props (2018).

Figura 24 - Dispositivo em metal



Fonte: Crazy Horse Performance (2018).

3.1.4 Ciclo de vida do produto

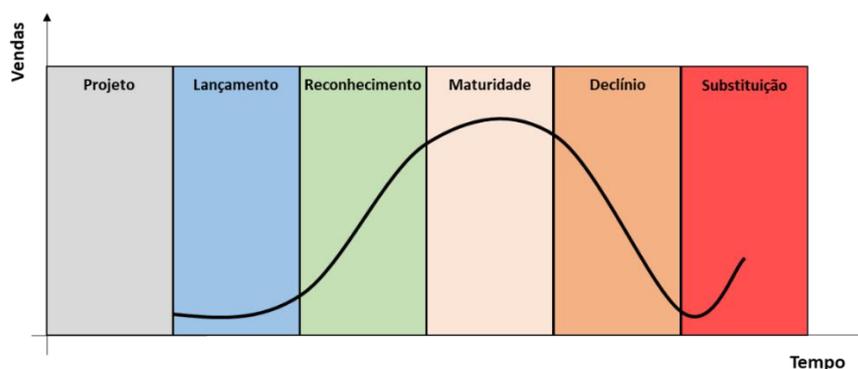
Antes de adentrar no detalhamento do ciclo de vida do produto propriamente dito, torna-se necessário primeiramente compreender o que se trata e qual a sua importância para o processo de desenvolvimento de produto. O ciclo de vida de um produto pode ser entendido como uma história completa (vide Figura 25) do mesmo: desenvolvimento ou projeto, lançamento, reconhecimento, maturidade, declínio e substituição. Desta forma, no quadro abaixo, ilustra-se as fases do ciclo de vida do referido dispositivo correlacionando-as com os seus respectivos clientes (vide Quadro 1).

Quadro 1 - Ciclo de vida do produto

Fases do ciclo de vida	Clientes	
	Internos	Externos
Projeto	Equipe Técnica de análise estrutural e simulação CAE / Gestor do projeto / Professor orientador do projeto	Equipe de Engenharia do departamento de Montagem Final da FORD / Senai Cimatec (Suporte Acadêmico)
Lançamento	Equipe de Engenharia da Companhia Ford	Equipe do projeto do desenvolvimento do produto
Reconhecimento	Outros departamentos/plantas da FORD	Outras montadoras de veículos
Maturidade	Equipe do projeto do desenvolvimento do produto	Equipe de Engenharia do departamento de Montagem Final da FORD / Operadores de Linha / Fornecedores e Fabricantes do dispositivo
Declínio	Equipe de Engenharia do departamento de Montagem Final da FORD/ Manutencistas / Team Leader / Operadores de linha	Não existente
Substituição	Equipe de Engenharia do departamento de Montagem Final da FORD/ Manutencistas / Team Leader / Operadores de linha	Fornecedor responsável pela manufatura do dispositivo

Fonte: Própria.

Figura 25 - Ciclo de vida do produto



Fonte: Própria.

3.1.4.1 Projeto

A demanda pelo desenvolvimento do presente projeto surgiu da necessidade do cliente, Ford Motor Company, em solucionar um problema apresentado em sua linha de montagem. Tal adversidade está diretamente associada à dificuldade em realizar a operação de montagem da mola-gás – elemento pneumático instalado na tampa da mala do carro que garante a sua elevação e permanência na posição aberta – do novo veículo em desenvolvimento pela companhia. Para executar tal operação seria necessário a presença de um dispositivo que garantisse a estabilidade e manutenção do porta-malas aberto com segurança, enquanto o operador pudesse realizar as devidas operações para instalação dos componentes do sistema que permitiriam a montagem do elemento já citado.

Por este motivo, introduziu-se as primeiras discussões juntamente com o cliente, a fim de coletar os requisitos e restrições do projeto, compreendendo dessa forma as necessidades e anseios relacionados ao conceito do dispositivo a ser desenvolvido. Por meio dessa coleta de informações, estabeleceu-se a base referencial para início do planejamento do projeto de engenharia e desenvolvimento do produto solicitado. As etapas constituintes do projeto têm como pontapé inicial toda construção da base informacional que norteará o projeto nas fases seguintes.

Posteriormente, é realizada a fase conceitual na qual o conceito do dispositivo começa a ser esboçado, fornecendo uma ideia geral do produto idealizado, respeitando os requisitos de engenharia pré-estabelecidos.

Uma vez traçado o conceito do dispositivo de forma preliminar, inaugura-se a fase detalhada do projeto, na qual o produto começa a apresentar um nível de detalhamento maior. Nesta fase, é realizada a seleção dos materiais apropriados para o dispositivo, o dimensionamento e as análises de verificação estrutural, a fim de garantir a sua funcionalidade e desempenho de forma segura.

Após algumas iterações e refino do design do dispositivo projetado, o desenho para fabricação do produto é elaborado, fornecendo todo direcional ao cliente, que irá contatar o fornecedor responsável pela manufatura do produto. Uma vez concluída esta etapa, será desenvolvido o plano de manutenção do dispositivo proposto, bem como o manual do usuário do produto, contemplando o conjunto de informações e recomendações referentes à operação do produto desenvolvido.

3.1.4.2 Lançamento

O produto em desenvolvimento será utilizado dentro da própria organização como parte de um processo operacional, não havendo uma disponibilização desse produto para o mercado. Diante disso, torna-se necessário adaptar essa etapa para uma nova realidade do produto, na qual o mesmo fará parte de um processo operacional dentro da empresa, onde precisa se fazer conhecido por parte dos operadores de linha, responsáveis por lidar diretamente com o produto. Assim sendo, é essencial que a empresa crie estratégias que possibilitem os operadores tomarem conhecimento acerca de como esse dispositivo vai estar agregando no processo, bem como facilitando as atividades de operação diária.

3.1.4.3 Reconhecimento

Com o passar do tempo espera-se que o produto seja reconhecido em função do seu bom desempenho, resistência e boa durabilidade ao longo do seu período de uso. Isto posto, é possível que seja solicitado pela empresa contratante do projeto (Ford Motor Company) a fabricação de novos dispositivos destinados à resolução de problemas similares em outros departamentos e/ou aplicados à novos veículos, como por exemplo, no setor de pintura o qual também requer dispositivos similares para aplicação em atividades análogas.

Por fim, o reconhecimento desse produto está intrinsicamente ligado, primordialmente, ao sucesso do seu desenvolvimento, além de ter sua performance assegurada e testada ao longo dos anos de utilização. Além disso, esse projeto pode servir de referência para outras plantas da Ford, bem como para outras montadoras de veículos que apresentam desafios semelhantes.

3.1.4.4 Maturidade

O dispositivo em desenvolvimento, como qualquer produto, está sujeito à maturidade no seu ciclo de vida, uma vez que sua novidade e benefícios já foram exploradas. Devido ao fato de não ser um produto direcionado ao público geral, e sim à uma empresa específica, a maneira que o dispositivo sentirá os efeitos da maturidade será um pouco diferente daquilo que se enxerga quando se trata de produtos produzidos em larga escala e destinado a um público geral. O dispositivo passará por um pico de unidades requisitadas e, em seguida, uma queda de demanda ocasionada por competição, obsolescência ou redundância.

No que tange ao marketing, não existe a necessidade de promover o produto, uma vez que não há objetivo de maximizar vendas. Diferente de produtos voltados para o grande público, o projeto desenvolvido não requer alterações para se diferenciar e conquistar novos consumidores no mercado, pois a empresa requisitou o projeto e usará o quão longo for necessário para uma aplicação pré-definida. Qualquer alteração no produto será feita pela abertura de outro contrato.

3.1.4.5 Declínio

Quando o produto ou dispositivo estiver chegando ao final de sua vida útil, o mesmo apresentará sinais de desgastes devido ao seu esgotamento, sendo notável seu estado e assim necessária a substituição imediata. A fim de preservar a integridade do operador e de prolongar a sua vida útil, as manutenções devidas devem ser realizadas, nesta fase,

evitando que qualquer tipo de acidente ocorra através de uma falha inesperada. Com isso, seguir as recomendações descritas no manual do dispositivo tanto para manutenção do mesmo como para seu correto uso é de fundamental importância.

Neste contexto, o operador deve realizar, periodicamente, inspeções visuais e avaliações do comportamento do dispositivo, relatando ao seu superior o estado corrente do produto.

3.1.4.6 Substituição

A obsolescência do produto em desenvolvimento deve ser programada para que se tenha tempo suficiente de contatar seu fornecedor ou os responsáveis pela manufatura do dispositivo, sem comprometer o seu respectivo processo produtivo.

3.1.5 Identificação e Hierarquização dos requisitos do cliente

3.1.5.1 Estabelecimento dos requisitos dos clientes

Nesta etapa, o time de projeto analisou as informações coletadas anteriormente durante reuniões e discussões com a contratante, trabalhando de forma a agrupar e organizar as necessidades expostas pelo cliente. Essas necessidades serão transformadas posteriormente nos requisitos de engenharia do projeto.

Os requisitos do cliente foram organizados e classificados em 4 categorias: técnico, segurança, ergonomia e operação. Por fim, os requisitos atribuídos a cada categoria foram listados conforme segue abaixo:

- **Requisitos Técnicos**
 - O dispositivo deve ser simples;
 - O dispositivo deve ser leve, resistente e de baixo custo;

- O dispositivo deve ser capaz de realizar a retenção temporária do porta-malas do novo veículo proposto;
- O dispositivo deve contemplar ajuste da abertura do porta-malas para a posição de montagem dos componentes, sendo este adaptável às variações dimensionais da carroceria do veículo.
- **Requisitos de Segurança**
 - O dispositivo deve ser à prova de erros, não permitindo que a operação de montagem seja realizada antes do seu travamento;
 - O dispositivo deve ser resistente às vibrações do veículo;
 - Desenvolvimento de um plano de manutenção para o dispositivo;
 - O material deve apresentar alta durabilidade;
 - Choques mecânicos não podem ocasionar o destravamento do dispositivo.
- **Requisitos de Ergonomia**
 - Baixo esforço de travamento/destravamento;
 - Fácil manuseio no momento do travamento/destravamento.
- **Requisitos de operação**
 - Interferência reduzida nas zonas de trabalho do operador;
 - Facilidade de montagem e desmontagem.

3.1.5.2 Hierarquização dos requisitos do cliente

Uma vez identificada e organizada as informações fornecidas pelo cliente, torna-se relevante compreender o grau de importância de cada um desses requisitos para o projeto. Além disso, o processo de hierarquização dos requisitos do cliente é de grande importância, pois ajuda a apontar para equipe do projeto quais as prioridades a serem atendidas.

Como forma de classificar os requisitos por ordem de importância para o desenvolvimento do projeto, o diagrama de Mudge foi aplicado. Segundo Ullman (1992) “os requisitos dos clientes devem ser comparados aos pares a fim de que, ao final da comparação, possa se conhecer sua importância relativa”. De acordo com Amaral (2006), o diagrama de Mudge consiste em uma matriz onde tanto a primeira coluna como a primeira linha são compostas pelos itens em comparação - que neste caso trata-se dos requisitos dos clientes. Essa metodologia orienta que deve ser feito um comparativo dos requisitos de cada uma das linhas com todos os requisitos das colunas, exceto os iguais. Primeiramente, a equipe do projeto será responsável por decidir qual requisito de cada par é o mais importante e, assim, a célula da matriz assume o número deste requisito. Posteriormente, decide-se o nível de importância de cada requisito.

Em posse desta metodologia, todos os requisitos foram analisados de maneira comparativa. Para tanto, uma pontuação foi associada a cada requisito, sendo que a soma destas pontuações irá determinar a hierarquização dos requisitos do cliente. Para esta análise as letras A, B, C, D e E foram atribuídas no comparativo entre os requisitos, e os valores associados a estas letras produzem uma soma que permite classificá-los. Partindo desse princípio, os critérios de avaliação foram organizados da seguinte forma:

- A = Muito mais importante, corresponde ao valor 5;
- B = Mais importante, corresponde ao valor 4;
- C = Moderadamente mais importante, corresponde ao valor 3;
- D = Um pouco mais importante, corresponde ao valor 2;
- E = Igual importância, corresponde ao valor 0.

Os dados supracitados foram organizados (vide Quadros 2 e 3) para facilitar a visualização das informações. Além disso, servem como referencial para atribuição dos critérios para construção do diagrama de Mudge (vide Quadro 4).

Quadro 2 – Requisitos do Cliente

Quadro 2 - Requisitos do Cliente

ID	Requisitos
1	Técnicos
1.1	O dispositivo deve ser simples
1.2	O dispositivo deve ser leve, resistente e de baixo custo
1.3	O dispositivo deve ser capaz de realizar a retenção temporária do porta-malas do novo veículo proposto
1.4	O dispositivo deve contemplar ajuste da abertura do porta-malas para a posição de montagem dos componentes, sendo este adaptável às variações dimensionais da carroceria do veículo
2	Segurança
2.1	O dispositivo deve ser à prova de erros, não permitindo que a operação de montagem seja realizada antes do seu travamento
2.2	O dispositivo deve ser resistente às vibrações do veículo
2.3	Desenvolvimento de um plano de manutenção para o dispositivo
2.4	O material deve apresentar alta durabilidade
2.5	Choques mecânicos não podem ocasionar o destravamento do dispositivo
3	Ergonomia
3.1	Baixo esforço de travamento/destravamento
3.2	Fácil manuseio no momento do travamento/destravamento
4	Operação
4.1	Interferência reduzida nas zonas de trabalho do operador
4.2	Facilidade de montagem e desmontagem

Fonte: Própria.

Quadro 3 - Critérios de Atribuição

Critérios de atribuição		
Letra	Descrição	Valor
A	Muito mais importante	5
B	Mais importante	4
C	Moderadamente mais importante	3
D	Pouco mais importante	2
E	Igual importância	0

Fonte: Própria.

Quadro 4 - Diagrama de Mudge

Diagrama de Mudge														
	1.2	1.3	1.4	2.1	2.2	2.3	2.4	2.5	3.1	3.2	4.1	4.2	Soma	%
1.1	1.2A	1.3A	1.4A	2.1B	2.2A	1.1B	2.4B	2.5A	3.1C	1.1E	1.1B	1.1E	8	3%
	1.2	1.3B	1.2E	2.1B	2.2C	2.3A	1.2D	2.5A	3.1C	3.2C	1.2B	4.2C	11	4%
		1.3	1.3E	2.1C	1.3B	1.3A	1.3B	1.3C	1.3C	1.3C	1.3B	1.3C	39	15%
			1.4	2.1B	2.2D	1.4B	1.4C	2.5B	1.4C	1.4C	1.4C	1.4C	24	9%
				2.1	2.1C	2.1A	2.1B	2.1C	2.1D	2.1D	2.1C	2.1D	39	15%
					2.2	2.2B	2.4C	2.5B	3.1C	4.1C	4.1C	4.2C	14	5%
						2.3	2.4B	2.5A	3.1B	3.2B	4.1B	4.2B	5	2%
							2.4	2.5C	3.1C	3.2C	4.1D	4.2C	11	4%
								2.5	2.5C	2.5C	2.5B	2.5C	39	15%
									3.1	3.1C	3.1C	3.1C	25	10%
										3.2	3.2C	3.2E	13	5%
											4.1	4.2C	12	5%
												4.2	16	6%
													256	100%

Fonte: Própria.

As células destacadas representam os 5 requisitos do cliente que obtiveram uma maior pontuação relativa e consequentemente apresentaram maior relevância. A partir do resultado exibido no diagrama de Mudge foi construída uma nova tabela (vide Quadro 5) para classificar os requisitos de acordo com sua ordem de importância.

Quadro 5 - Hierarquização dos requisitos do cliente

Ordem	Requisitos
1°	O dispositivo deve ser capaz de realizar a retenção temporária do porta-malas do novo veículo proposto
2°	O dispositivo deve ser à prova de erros, não permitindo que a operação de montagem seja realizada antes do seu travamento
3°	Choques mecânicos não podem causar o destravamento do dispositivo
4°	Baixo esforço de travamento/destravamento
5°	O dispositivo deve contemplar ajuste da abertura do porta-malas para a posição de montagem dos componentes, sendo este adaptável às variações dimensionais da carroceria do veículo
6°	Facilidade de montagem e desmontagem
7°	O dispositivo deve ser resistente às vibrações do veículo
8°	Fácil manuseio no momento do travamento/destravamento
9°	Interferência reduzida nas zonas de trabalho do operador
10°	O dispositivo deve ser leve, resistente e de baixo custo
11°	O material deve apresentar alta durabilidade
12°	O dispositivo deve ser simples
13°	Desenvolvimento de um plano de manutenção para o dispositivo

Fonte: Própria.

3.1.6 Definição dos requisitos de Engenharia

Segundo Rozenfeld (2006) os requisitos dos clientes são as necessidades que o produto deverá satisfazer. Esses requisitos são, tipicamente, subjetivos, o que dificulta a sua utilização para tomada de decisões ao longo do projeto. Logo, torna-se necessário transformar esses requisitos em requisitos técnicos mensuráveis, usualmente chamados de requisitos de Engenharia. Desta forma, através de discussões com a equipe técnica do projeto, as necessidades do cliente foram interpretadas e, em seguida, foram convertidas em requisitos técnicos de Engenharia, conforme ilustrado no Quadro 6 abaixo:

Quadro 6 - Conversão de necessidades em requisitos técnicos

Ordem	Requisitos do Cliente	Requisitos de Engenharia
1°	O dispositivo deve ser capaz de realizar a retenção temporária do porta-malas do novo veículo proposto	Dispositivo auto-travante (retenção temporária)
2°	O dispositivo deve ser à prova de erros, não permitindo que a operação de montagem seja realizada antes do seu travamento	Error proofing
3°	Choques mecânicos não podem causar o destravamento do dispositivo	Resistência à choques mecânicos/impactos
4°	Baixo esforço de travamento/destravamento	Mecanismos com baixo esforço de acionamento
5°	O dispositivo deve contemplar ajuste da abertura do porta-malas para a posição de montagem dos componentes, sendo este adaptável às variações dimensionais da carroceria do veículo	Dispositivo de comprimento ajustável
6°	Facilidade de montagem e desmontagem	Facilidade de acionamento e instalação
7°	O dispositivo deve ser resistente às vibrações do veículo	Resistência às vibrações
8°	Fácil manuseio no momento do	Facilidade operacional
9°	Interferência reduzida nas zonas de trabalho do operador	Dispositivo compacto e de baixa intrusão na área de trabalho
10°	O dispositivo deve ser leve, resistente e de baixo custo	Dispositivo de massa reduzida, com boas propriedades mecânicas, bom dimensionamento e baixo custo
11°	O material deve apresentar alta durabilidade	Alta durabilidade/vida útil elevada
12°	O dispositivo deve ser simples	Baixa complexidade de mecanismos
13°	Desenvolvimento de um plano de manutenção para o dispositivo	Manual de manutenção

Fonte: Própria.

3.1.7 Especificações meta do produto

Com os requisitos devidamente interpretados e ranqueados de acordo com a ordem de importância para o produto, as especificações meta dos mesmos foram definidas. Essas metas serão utilizadas nas etapas seguintes, servindo como base para o desenvolvimento do projeto.

Essas metas irão atuar como guia durante a geração de soluções para o problema do projeto. O Apêndice A apresenta as especificações meta bem como os critérios de avaliação para o atendimento do objetivo e também indica os aspectos indesejados, os quais podem afetar os aspectos funcionais e o atendimento das características técnicas desejadas pelo cliente.

3.1.8 Atualização do escopo do projeto

Após discussões realizadas pela equipe acerca das necessidades do cliente, foi possível atribuir uma ordem de importância dos requisitos do projeto. Esse ranqueamento constitui uma atualização importante no escopo, pois nas etapas posteriores a equipe irá seguir com o desenvolvimento do dispositivo com o foco direcionado para os pontos mais relevantes, reconhecendo os pontos-chaves e de maior importância para a concepção do produto.

3.1.9 Observações finais da fase informacional

A partir das informações levantadas no planejamento foi possível elaborar as especificações-meta do produto. Essas especificações, além de orientar a geração de soluções, forneceram a base para criação dos critérios de avaliação e tomada de decisão que serão utilizados nas etapas posteriores do projeto em desenvolvimento.

3.2. FASE CONCEITUAL

3.2.1. Verificação do escopo do problema

Como primeira atividade da fase conceitual foi realizada uma verificação de escopo do problema, com o intuito de entender um pouco melhor o contexto e as nuances associadas a aplicação do dispositivo. Para tanto, alguns dados foram coletados para delimitar o contexto de estudo, são eles: parâmetros de processo (vide Quadro 7), layout e dimensões da linha de montagem (vide Figura 26 e Quadro 8), além de algumas características dimensionais do veículo (vide Quadro 9).

Quadro 7 - Tempo das operações associadas ao dispositivo

Processo	Tempo (min)	Tempo (s)
Pega do dispositivo	0.0688	4.128
Abertura do porta-malas	0.06235	3.741
Instalação do dispositivo	0.0774	4.644
Montagem das peças	0.68478	41.0868
Desinstalação do dispositivo	0.02365	1.419
Retorno do dispositivo ao rack	0.0129	0.774
Verificação da montagem	0.02365	1.419
Operação completa	0.95353	57.2118

Fonte: Própria.

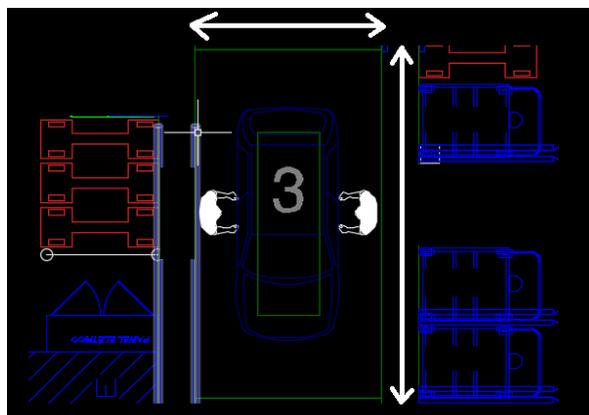
As informações do tempo das operações (vide Quadro 7) foram obtidas com base na folha de processo elaborada pelo engenheiro técnico responsável da empresa e, a partir dela é possível obter uma estimativa do tempo total de operação para instalação da mola gás no porta-malas do novo veículo. A duração dessas operações está suscetível a variações, uma vez que não reflete completamente a realidade prática da natureza do processo. Portanto, essa informação será utilizada como referência para reiterar a importância da eficiência operacional do dispositivo.

Quadro 8 - Dimensões da estação de montagem das peças

Layout - Linha de montagem	Dimensão (mm)
Comprimento da estação	5500
Largura da estação	3000

Fonte: Própria.

Figura 26 - Layout da Linha de Montagem



Fonte: Própria.

As dimensões (vide Quadro 8) e o layout da linha de montagem (vide Figura 26) acima serão utilizados como referência para definição do ambiente de operação do dispositivo.

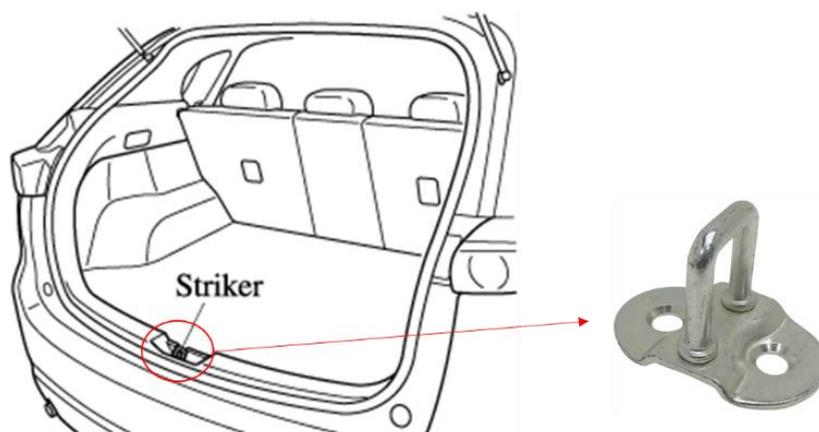
Quadro 9 - Parâmetros dimensionais do veículo

Veículo	Dimensão
Altura ideal de montagem	1230,30 mm
Largura da zona livre	1088,02 mm
Área livre com o porta-malas aberto	0,988 m ²

Fonte: Própria.

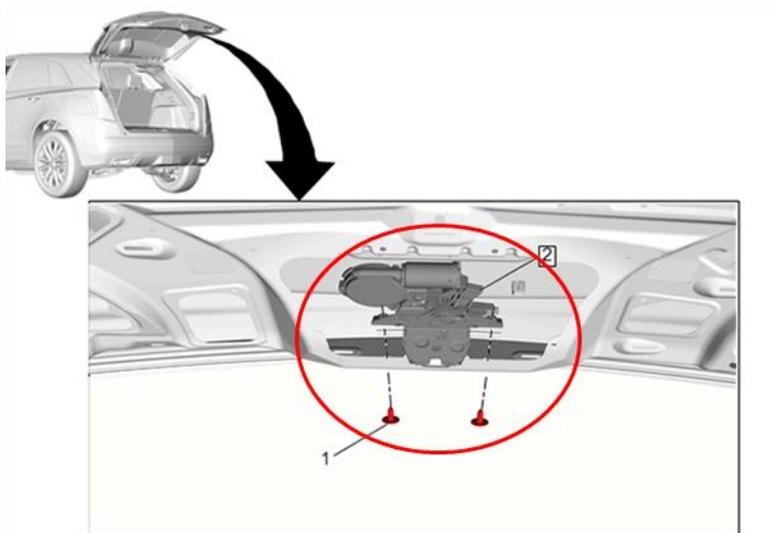
Os parâmetros dimensionais (vide Quadro 9) foram coletados através do CAD do veículo em desenvolvimento pela empresa. A altura ideal de montagem foi atribuída a partir da distância entre o componente conhecido como *liftgate striker* (vide Figura 27) e o *liftgate latch* (vide Figura 28), a uma abertura de 80° do porta-malas (ângulo máximo para execução da montagem dos componentes do sistema mola-gás).

Figura 27 - Liftgate Striker



Fonte: Mazda, 2020 (adaptada).

Figura 28 - Liftgate Latch



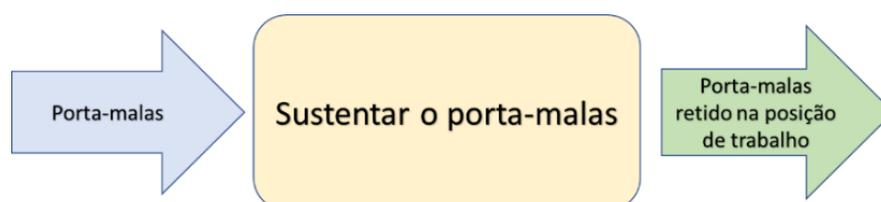
Fonte: GM TechLink (2020).

As informações reunidas acima servirão como elementos-chave no processo de concepção do conceito preliminar do dispositivo, uma vez que delimitam o escopo do problema para o desenvolvimento do produto proposto.

3.2.2. Estabelecimento da estrutura funcional

A atividade executada nesta etapa do projeto consistiu em descrever as funções e as capacidades desejadas/necessárias, para que o produto final possa ser concebido a fim de desempenhar suas funcionalidades, conforme as especificações atribuídas. Na Figura 29 é indicada a função global do dispositivo, definindo a função primária, a entrada e a saída para o produto em desenvolvimento.

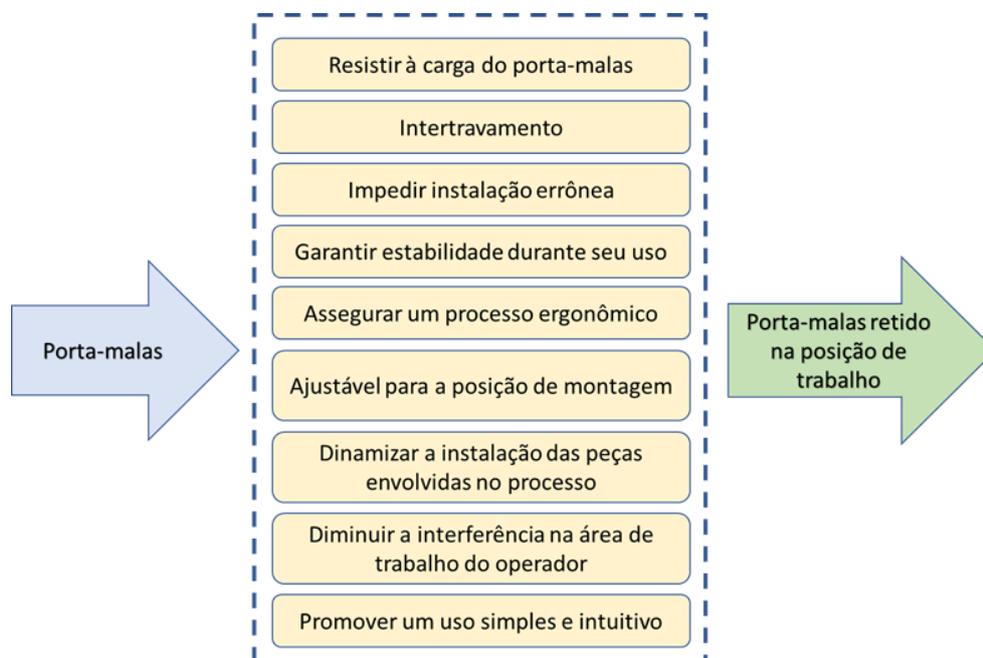
Figura 29 - Função Global do dispositivo



Fonte: Própria.

Com a decomposição da função global do produto, foi possível determinar e elaborar a sua estrutura simplificada, a qual servirá de base para determinação das soluções do conceito em desenvolvimento. A Figura 30 representa a esquematização da estrutura simplificada do dispositivo e indica que a função global foi decomposta em oito funções específicas, fundamentadas nos requisitos de engenharia do projeto.

Figura 30 - Funções específicas do dispositivo



Fonte: Própria.

Quadro 10 - Descritivo das funções específicas do dispositivo

	Funções Específicas	Descrição
1	Resistir à carga do porta-malas	Para a manutenção da tampa do porta-malas na posição aberta o dispositivo deve resistir ao peso durante todo o tempo de exposição a esta condição.
2	Intertravamento	O intertravamento irá garantir a permanência do dispositivo na condição travada durante a operação de instalação da mola gás.
3	Impedir instalação errônea (<i>Error Proofing</i>)	A ação de obter e instalar o dispositivo ficará a cargo do operador, que por si só não é capaz de eliminar o risco de uma instalação incorreta, dessa forma, a característica de <i>Error Proofing</i> do dispositivo será responsável por permitir apenas a instalação correta e bloquear 100% das tentativas incorretas.

4	Garantir estabilidade durante o uso	O dispositivo será exposto à carga imposta pelo próprio peso da tampa do porta-malas, vibrações e possíveis choques mecânicos. Todavia, sua estrutura e mecanismos deverão ser capazes de sustentar a tampa, de maneira estável e segura, na altura especificada para execução da operação de montagem.
5	Assegurar um processo ergonômico	Todos os pontos de contato físico do dispositivo com o operador - isto é, manoplas de apoio, alavancas, botões, etc. – precisarão oferecer empunhadura, posicionamento e esforço mínimo para o acionamento em total conformidade com as normas e requerimentos de ergonomia especificados pelo cliente.
6	Ajustável para a posição de montagem	O dispositivo terá um mecanismo de ajuste de altura em 1 nível, da posição totalmente retraída para posição de montagem. Esse mecanismo torna o dispositivo compacto, além de permitir a instalação e remoção do mesmo.
7	Dinamizar a instalação das peças envolvidas no processo	O processo de montagem em série requer a operação mais enxuta possível com ferramentas e dispositivos que atendam de maneira prática aos comandos e movimentações executadas pelo operador.
8	Diminuir interferência na área de trabalho do operador	Para qualquer operação seria desejável 0 (zero) interferência na zona de trabalho, porém, em situações onde isso não é possível, espera-se uma mínima interferência desde que a redução de tamanho e o posicionamento do dispositivo não degradem o seu desempenho.
9	Promover um uso simples e intuitivo	A utilização do dispositivo se torna mais simples e intuitiva quando seu acionamento pode ser feito na menor quantidade de passos possíveis. Além disso, as interfaces homem/máquina devem ser construídas com elementos familiares ao dia a dia do operador, facilitando assim o seu reconhecimento e uso.

Fonte: Própria.

Após a estruturação das funções específicas, o passo seguinte consistiu em prover um breve descritivo para cada uma das funções listadas na estrutura funcional, possibilitando assim um melhor entendimento de cada uma delas, conforme representado no Quadro 10.

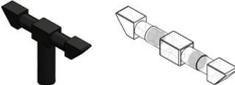
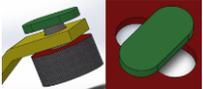
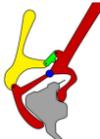
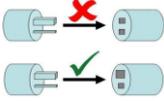
Com o intuito de direcionar e facilitar as pesquisas dos princípios de solução mais adequados ao atendimento das funções supracitadas, foi definida uma estrutura base para o conceito do dispositivo proposto. O mesmo foi dividido em 5 partes principais:

- 1) Indexação superior;
- 2) Indexação inferior;
- 3) Corpo;
- 4) Mecanismo de ajuste de altura;
- 5) Sistema error proofing.

3.2.3. Pesquisa dos princípios de solução para o dispositivo

Nesta etapa foram definidos princípios de soluções que atendam as funções determinadas anteriormente. A matriz morfológica foi aplicada, de acordo com a estrutura base mencionada previamente (seção 2.2.2 – estrutura funcional), e as possibilidades listadas no Quadro 11. A busca e a consulta de itens já utilizados pela empresa foram ferramentas de apoio para a definição dos princípios de solução iniciais.

Quadro 11 - Matriz morfológica inicial para o dispositivo

	Opções		
	1	2	3
Indexação superior			
Indexação inferior			
Corpo do dispositivo			
Mecanismos de ajuste de altura			
Sistemas error proofing			

Fonte: Própria.

3.2.4. Combinações dos princípios de solução

A matriz morfológica apresentada no tópico anterior expôs os princípios de solução disponíveis para cada parte da estrutura do dispositivo. O próximo passo do processo consistiu em listar as propostas que melhor atenderiam aos requisitos de engenharia apresentados no Quadro 12. O Quadro 13 demonstra

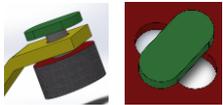
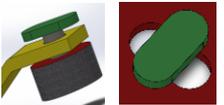
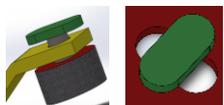
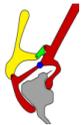
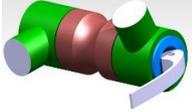
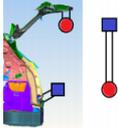
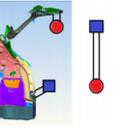
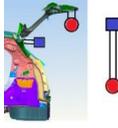
as 3 melhores combinações selecionadas. A definição destas configurações foi realizada em conjunto com o cliente.

Quadro 12 - Requisitos de Engenharia do projeto

Parâmetros
Resistência à carga do porta-malas
Intertravamento
Instalação à prova de erros
Estabilidade
Ergonomia
Comprimento ajustável
Facilidade operacional
Baixa Complexidade
Uso simples e intuitivo
Baixa Interferência na zona de trabalho
Durabilidade
Baixo Peso
Baixo Custo

Fonte: Própria.

Quadro 13 - Configurações iniciais apresentadas ao cliente

	Configuração 1	Configuração 2	Configuração 3
Indexação superior			
Indexação inferior			
Corpo do dispositivo			
Mecanismos de ajuste de altura			
Sistemas error proofing			

Fonte: Própria.

Cada uma das configurações acima citadas foi analisada de forma criteriosa pela equipe do projeto, atribuindo notas para cada proposta das partes

do dispositivo base (vide Quadro 14), de acordo com os parâmetros já mencionados (vide Quadro 12). Um sistema de pesos foi adotado para as notas atribuídas, devido a uma maior importância relativa de alguns requisitos de engenharia. Um peso 3 foi adotado para os requisitos sinalizados em vermelho no Quadro 14 e para os demais foi adotado um peso 2.

Quadro 14 - Comparativo das configurações

	Configuração I	Configuração II	Configuração III
Resistência à carga do porta-malas	4.5	4.4	4.1
Intertravamento	5.00	4.7	5.0
Instalação à prova de erros	5.00	5.0	5.0
Estabilidade	4.4	4.3	4.3
Ergonomia	3.8	4.0	3.8
Comprimento ajustável	4.5	4.5	3.0
Facilidade operacional	4.3	4.2	4.3
Baixa Complexidade	3.9	3.7	3.0
Uso simples e intuitivo	4.6	4.6	4.5
Baixa Interferência na zona de trabalho	3.8	3.8	5.0
Durabilidade	3.7	3.5	3.0
Baixo Peso	4	3.8	4.5
Baixo Custo	4.4	4.2	3.5
Total	4.34	4.26	4.10

Fonte: Própria.

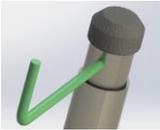
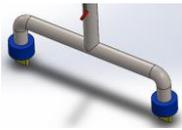
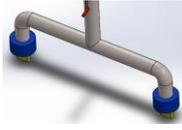
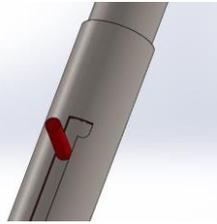
As informações citadas acima foram reunidas e apresentadas inicialmente ao cliente, o qual demonstrou interesse pela configuração I, porém solicitou as seguintes modificações:

- Diminuição do número de partes móveis do dispositivo, a fim de torná-lo mais simples, aumentar a durabilidade e diminuir o custo de fabricação;
- Buscar utilizar mecanismos rígidos, devido a facilidade construtiva, maior estabilidade, durabilidade e baixo custo;
- Usar o peso do próprio porta-malas como forma de retenção do dispositivo, sem a necessidade de adicionar elementos travantes, pois é uma das formas mais simples de assegurar a posição retida do mesmo sem agregar partes móveis, onerar o peso e o custo.

3.2.5. Propostas de conceito para o dispositivo

A partir da seleção realizada anteriormente, a equipe retrabalhou a configuração I de modo a atender às solicitações adicionais feitas pelo cliente. Após intensas discussões e alinhamentos internos, chegou-se a 2 propostas de conceito para o dispositivo (vide Quadro 15). Para cada parte dos conceitos foram levantadas as vantagens e desvantagens, a fim de estabelecer um comparativo entre ambos ao final da análise.

Quadro 15 - Propostas de conceito

	Conceito I	Conceito II
Indexação superior		
Indexação inferior		
Corpo do dispositivo		
Mecanismos de ajuste de altura		
Sistemas error proofing		

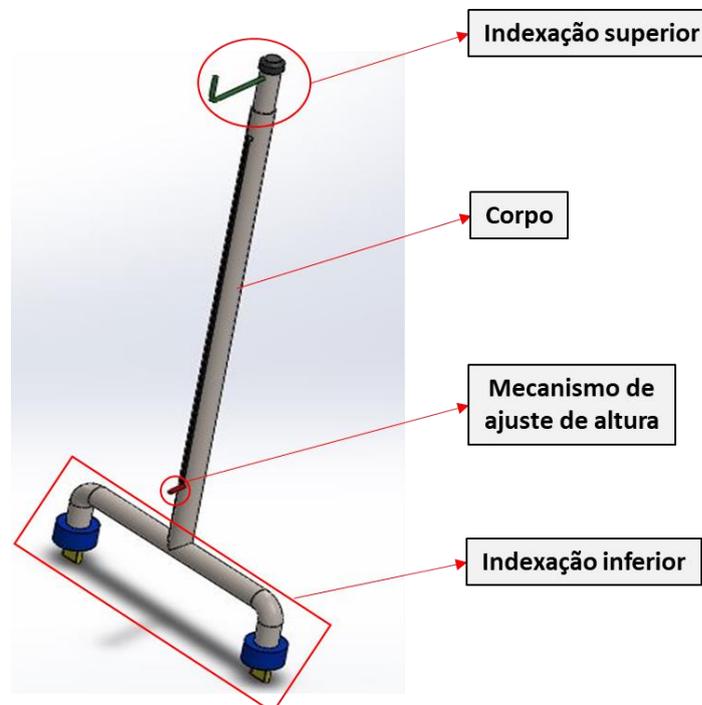
Fonte: Própria.

3.2.5.1. Conceito I

O conceito I (vide Figura 31) foi desenvolvido priorizando a simplicidade construtiva. Além disso, esse primeiro conceito atende às solicitações feitas pelo cliente:

- Diminuição das partes móveis: esse conceito conta apenas com uma única parte móvel - o mecanismo de ajuste altura;
- Priorização da utilização de mecanismos rígidos: formado por estruturas tubulares sólidas e inteiriças em sua grande maioria, apresentando somente uma bipartição na porção central do seu corpo, com o intuito de viabilizar o ajuste de altura necessário;
- Retenção através da gravidade: A retenção do dispositivo é realizada através dos sistemas de indexação inferior e superior. Para tal, o peso próprio do porta-malas é responsável por garantir a retenção sem a necessidade de elementos travantes.

Figura 31 - Proposta de conceito I

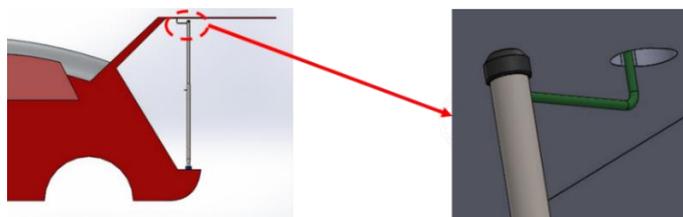


Fonte: Própria.

➤ **Indexação superior**

- Tipo: Batente de borracha e haste lateral (vide Figura 32)
- Princípio de funcionamento: O Batente de borracha (ilustrado em preto na Figura 32) irá sustentar o peso do porta-malas na sua porção superior. Uma haste lateral (ilustrado em verde na Figura 32) foi associada para que este possa ser acomodado no interior do furo oblongo. Essa ideia foi concebida para evitar que o dispositivo seja desacoplado durante a sua utilização devido a interferências externas (vibrações da linha de montagem e eventuais choques mecânicos acidentais). Desta maneira que foi concebido, o mesmo só terá condições de ser desacoplado mediante diminuição do seu comprimento, através do mecanismo de ajuste de altura (acionado somente pelo operador), garantindo assim a segurança operacional do processo.
- Características: Geometria e operação simplificada, fácil fabricação, ancoramento por apoio sem a necessidade de partes móveis e sistemas de intertravamento.
- Vantagens:
 - Proporciona leveza
 - Elevada vida útil
 - Baixo custo
 - Baixa complexidade
 - Estabilidade moderada
- Desvantagens:
 - Desgaste do batente pode dificultar a montagem da mola gás.

Figura 32 - Batente de borracha e haste lateral

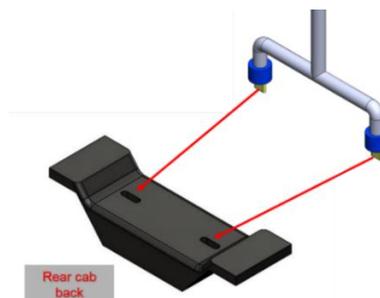


Fonte: Própria.

➤ Indexação inferior

- Tipo: Encaixe macho (vide Figura 33)
- Princípio de funcionamento: A parte inferior do dispositivo é ancorada na região do “*rear cab back*”, onde existem dois furos oblongos. A geometria dos pontos de indexação inferior (encaixe macho) foi concebida de modo a copiar o perfil do furo citado, garantindo assim um bom ancoramento e estabilidade do dispositivo. O mesmo permanecerá retido com auxílio do peso do porta-malas que possibilita que ele seja mantido nesta posição. A retirada só será possível quando o peso do porta-malas não mais atuar sobre essa região (momento em que a mola-gás já está instalada) e o operador realizar um movimento ascendente para sua remoção.
- Características: Elemento robusto, design simples, boa estabilidade e baixo custo de fabricação.
- Vantagens:
 - Sistema simples
 - Uso intuitivo
 - Aplicação sem necessidade de adaptação do veículo
 - Assegura um processo ergonômico
- Desvantagens:
 - Risco de deformação plástica localizada no elemento oblongo devido a força de contato existente no “*rear cab back*”
 - Risco de deformação plástica localizada na região de ancoramento

Figura 33 - Encaixe macho no “*rear cab back*”



Fonte: Própria.

➤ **Corpo do dispositivo**

- Tipo: Tubular (Figura 34)
- Características: Geometria simples e vazada, de fácil fabricação, durável, largamente utilizada em aplicações estruturais e fácil de ser encontrada no mercado.
- Vantagens:
 - Boa estabilidade
 - Proporciona leveza
 - Fácil fabricação
 - Baixo custo
- Desvantagens:
 - Promove interferência na zona de trabalho do operador

Figura 34 - Corpo tubular



Fonte: Própria.

➤ **Mecanismo de ajuste de altura**

- Tipo: Pino e rasgo (vide Figura 35), ajuste em 1 nível – posição retraída e posição de montagem.
- Princípio de funcionamento: O mecanismo se vale do movimento de deslizamento relativo entre dois tubos acoplados concentricamente. O tubo externo possui um canal usinado na parte central de sua estrutura associado a dois sulcos laterais posicionados nas extremidades do canal. O outro tubo possui um pino (em vermelho

na Figura 35) soldado à sua estrutura e conta com o grau de liberdade de rotação em relação ao primeiro tubo. Para acionar o mecanismo, o operador terá que movimentar o tubo interno através do pino até que se encontre o primeiro sulco, utilizado como região de ancoramento e retenção do pino por forma. Uma vez travado, o dispositivo estará disposto na sua posição ideal para a montagem. Para recolher o mesmo, o operador terá que retirar o pino da posição de instalação e levá-lo à sua posição inicial, promovendo assim a diminuição do comprimento do dispositivo, suficiente para remoção da haste lateral da indexação superior.

- Características: Mecanismo simples, com design de baixa complexidade, fácil de fabricar e com poucos elementos móveis associados ao seu funcionamento.
- Vantagens:
 - Mecanismo simples;
 - Facilidade operacional;
 - Fabricação de baixa complexidade;
 - Promove um uso intuitivo;
- Desvantagens:
 - Ancoramento do pino requer pressão axial constante;
 - Desgaste por atrito das partes móveis;

Figura 35 - Mecanismo de ajuste “pino e “rasgo”

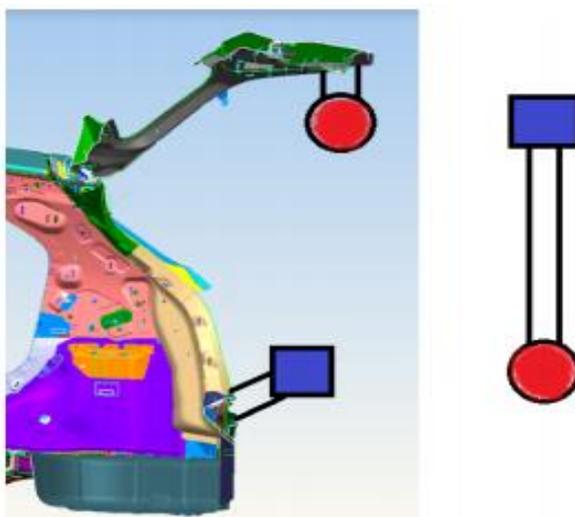


Fonte: Própria.

➤ **Sistema Error Proofing**

- Tipo: Poka yoke de posicionamento (vide Figura 36).
- Princípio de funcionamento: A concepção de geometrias diferentes para as extremidades do dispositivo, associados a regiões específicas de ancoramento, impede que o operador promova a inversão do dispositivo e instale erroneamente.
- Características: Tem como principal objetivo eliminar a causa geradora do erro, que pode estar ligada a inúmeras possibilidades no procedimento de operação.
- Vantagens:
 - Não permite instalação errônea
 - Sem design adicional
 - Facilidade operacional
 - Promove um uso simples e intuitivo
- Desvantagens:
 - Mais peças empregadas na construção do dispositivo
 - Fabricação de geometrias diferentes
 - Requer atenção do operador na instalação

Figura 36 - Poka yoke de posicionamento



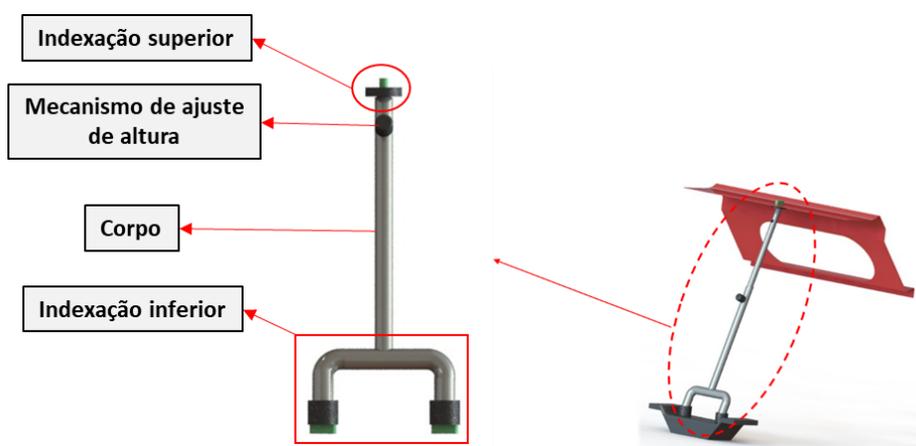
Fonte: Própria.

3.2.5.2. Conceito II

O conceito II (vide Figura 37) foi desenvolvido priorizando uma maior estabilidade e melhor ancoramento para o dispositivo. O conceito II possui características muito similares ao conceito I, diferindo apenas na estratégia de indexação superior e no mecanismo de ajuste de altura. Além disso, assim como o primeiro conceito, este atende similarmente às solicitações do cliente:

- Diminuição das partes móveis: De maneira análoga ao primeiro conceito, esse conta apenas com uma única parte móvel - o mecanismo de ajuste de altura;
- Priorização da utilização de mecanismos rígidos: formado também por estruturas tubulares sólidas e inteiriças em sua grande maioria, apresentando somente uma divisão na porção central do seu corpo, com o intuito de viabilizar o ajuste de altura necessário.
- Retenção através da gravidade: A retenção do dispositivo é realizada através dos sistemas de indexação inferior e superior, os quais copiam a forma das superfícies de ancoramento. Para tal, o peso do próprio do porta-malas é responsável por garantir a retenção do dispositivo.

Figura 37 - Proposta de conceito II

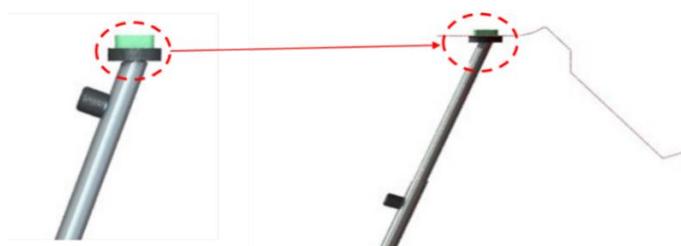


Fonte: Própria.

➤ Indexação superior

- Tipo: Encaixe oblongo por forma (vide Figura 38)
- Princípio de funcionamento: O ancoramento da parte superior é realizado por meio de um encaixe por forma. A extremidade superior do dispositivo apresenta um *design* (elemento em verde na Figura 38) que copia a geometria do furo presente na porção superior da tampa do porta-malas. O operador terá que localizar o furo e realizar o encaixe, de modo que o dispositivo ficará retido devido à força peso do porta-malas. O mesmo só poderá ser desacoplado quando não mais houver incidência da carga (momento em que a mola-gás se encontra instalada), e seu desacoplamento só será permitido mediante retração do dispositivo, através do mecanismo de ajuste de altura.
- Características: Geometria no formato de um oblongo obtido por usinagem, de encaixe por forma, e de fácil operação.
- Vantagens:
 - Boa estabilidade
 - Leveza
 - Custo acessível
 - Elevada vida útil
- Desvantagens:
 - Dificuldade de remoção do dispositivo
 - Risco de deformação plástica localizada na região de ancoramento
 - Requer atenção para localização durante a instalação

Figura 38 - Encaixe por forma



Fonte: Própria.

➤ **Mecanismo de ajuste de altura**

- Tipo: Mecanismo de pino com retorno por mola (vide Figura 39), com ajuste em um nível – posição retraída e posição de montagem.
- Princípio de funcionamento: Este mecanismo também se vale do movimento de deslizamento relativo entre dois tubos acoplados concentricamente. Um pino com retorno por mola é associado entre os tubos externo e interno. Em ambos os tubos existem furações concêntricas em determinadas posições pré-definidas. O operador terá que puxar o pino e deslizar o tubo até encontrar a próxima furação visível, e então soltar o pino. Quando o pino retorna, o mesmo encontra o furo e nele fica retido na posição estabelecida para a montagem. Para promover a retração do dispositivo, o operador repetirá o processo em movimento descendente até encontrar a posição original.
- Características: fácil manuseio e acionamento, conceito largamente difundido e comumente aplicado em mecanismos que requerem ajuste de altura, possuindo assim uma variedade de opções.
- Vantagens:
 - Baixo esforço
 - Simples e intuitivo
 - Fácil construção
 - Baixa complexidade
 - Baixo custo
- Desvantagens:
 - Ajuste de altura pode ser insuficiente
 - Desgaste por atrito das partes móveis

Figura 39 - Mecanismo por pino



Fonte: Própria.

3.2.6. Conceito preliminar adotado

Como as duas propostas, explanadas anteriormente, apresentam soluções que atendem aos requisitos e especificações do projeto e são classificadas como satisfatórias até o presente momento, torna-se necessário definir qual a concepção que melhor atende às solicitações do projeto. Desta maneira, o método da matriz de decisão foi empregado para seleção da solução a ser adotada para o projeto.

O uso dessa ferramenta se dá pela comparação direta entre as concepções, analisando-as de acordo com os parâmetros do Quadro 12. Assim, para cada um deles foram atribuídas notas de 1 a 5 como caráter avaliativo. Para os requisitos de engenharia que apresentam uma maior importância relativa ao projeto (resistência à carga do porta-malas, intertravamento, instalação à prova de erros, estabilidade, ergonomia e comprimento ajustável), atribuiu-se um peso 3 e para os demais, peso 2. O Quadro 16 expõe as comparações executadas e aponta que o conceito II, sob o ponto de vista analítico, demonstra ser a melhor alternativa.

Quadro 16 - Matriz de decisão

	Configuração I	Configuração II
Resistência à carga do porta-malas	4.5	4.5
Intertravamento	4.0	4.5
Instalação à prova de erros	5.0	5.0
Estabilidade	4.0	4.5
Ergonomia	4.0	4.5
Comprimento ajustável	4.5	5.0
Facilidade operacional	5.0	5.0
Baixa Complexidade	4.5	4.0
Uso simples e intuitivo	5.0	5.0
Baixa Interferência na zona de trabalho	4.0	4.0
Durabilidade	4.5	4.0
Baixo Peso	4.2	4.2
Baixo Custo	4.4	4.0
Total	4.41	4.51

Pontos Fortes

Pontos Fracos

Fonte: Própria.

As configurações apresentaram valores muito próximos, o que fornece margem para uma análise qualitativa como forma de conclusão da avaliação. Nesse contexto, as propostas mencionadas foram apresentadas ao cliente e,

apesar dos números apontarem que o conceito II é a melhor alternativa, o cliente optou pelo conceito I.

A principal justificativa dada pelo cliente foi a simplicidade do conceito I, com menor quantidade de elementos móveis e componentes como um todo do dispositivo. Isso o torna mais fácil de ser fabricado, além de reduzir o custo, sem comprometer seu desempenho funcional de forma satisfatória. A equipe do projeto entendeu o ponto de vista do cliente e adotou este conceito preliminar, o qual será amadurecido na próxima fase do projeto.

3.2.7. Atualização do escopo do projeto

Após discussões realizadas entre a equipe e o cliente do projeto, durante o processo de definição da configuração preliminar do dispositivo, alguns requisitos adicionais de ergonomia foram levantados. Estes foram inseridos como itens a serem considerados na fase seguinte do projeto e estão listados abaixo:

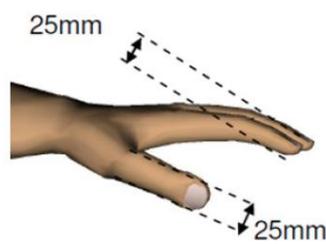
- O alcance vertical (ponto de pega do operador) não pode ultrapassar 1900 mm;
- Esforço máximo permitido para acionamento com os dedos: 45 N;
- Duração do tempo de exposição para segurar o porta-malas pelo operador: < 6s.

Além disso, as seguintes recomendações adicionais de ergonomia foram passadas pelo cliente:

- Projetar uma área de contato suficiente grande e ergonomicamente confortável para manipulação do pino responsável por promover a elevação do mecanismo de ajuste de altura. Como a manipulação deste pino será feita através dos dedos do operador, é importante levar em consideração as dimensões padrões da mão do mesmo (vide Figura 40).
- Possibilidade de adição de um *handle* para melhorar a manipulação do mecanismo, desde que não onere significativamente o peso do dispositivo;

- Viabilizar uma instalação do dispositivo com o menor ângulo de abertura possível, que permita acesso da mão e da *powertool* (*apertadeira*) para a fixação do *bracket* da mola-gás.

Figura 40 - Representação da mão do operador



Fonte: Ford (2020).

Adicionalmente as atualizações dos requisitos de ergonomia, uma alteração também foi realizada nos requisitos de engenharia do projeto. Conforme alinhando com o cliente, identificou-se que não há a necessidade de promover um ajuste altura em múltiplos níveis, visto que as variações dimensionais da mola gás e das peças envolvidas são mínimas. Logo, o requisito de engenharia “comprimento ajustável” teve sua especificação-meta modificada de 2 a 3 níveis de ajuste, para 1 único nível (da posição totalmente retraída para posição de montagem).

3.2.8. Observações finais da fase conceitual

Como foi possível verificar, nesta etapa do projeto o conceito preliminar do dispositivo foi proposto a partir da definição das suas funções, seguido da concepção do layout, estilo e arquitetura que viabilizassem a atribuição de algumas possíveis formas ao dispositivo. Após todos esses passos, foram desenvolvidos alguns princípios de solução para o mesmo. Por fim, foi realizada a seleção da configuração mais balanceada de acordo com os requisitos de engenharia especificados e a opinião do cliente.

O conceito preliminar selecionado para o dispositivo será elemento de estudo da próxima fase do projeto. Na etapa seguinte, será realizado o dimensionamento, a seleção dos materiais, e posteriormente simulações por elementos finitos para verificação da integridade estrutural do dispositivo.

3.3. FASE DETALHADA

3.3.1. Objetivo da fase

Apresentar um dimensionamento do dispositivo através do método analítico, a fim de obter as dimensões iniciais das respectivas partes do modelo, bem como a definição dos materiais apropriados para cada um de seus elementos. Além disso, são apresentados nesta fase os resultados das simulações de elementos finitos executadas para a verificação estrutural do dispositivo, os desenhos técnicos para fabricação (Apêndice D), o DFMEA (Apêndice C) desenvolvido e o manual do proprietário (Apêndice E).

3.3.2. Definição dos materiais

Como etapa inicial do projeto detalhado, alguns materiais preliminares foram escolhidos para o modelo de estudo, baseado em alguns critérios como: disponibilidade no mercado, propriedades mecânicas e custo. A seleção foi feita por partes constituintes do dispositivo, sendo este dividido em 3 partes principais:

- 1) Corpo
- 2) Indexação superior
- 3) Indexação inferior

Para cada uma das respectivas partes do dispositivo citadas acima, foi feita uma atribuição específica de material. A definição desses materiais nessa etapa representou uma estimativa inicial, a qual serviu de base para o dimensionamento do dispositivo. Este, por sua vez, foi ajustado e consolidado posteriormente na fase de verificação estrutural por elementos finitos.

3.3.2.1. Corpo

O corpo é constituído por 2 partes, uma haste interna e outra externa, como visto em 1 e 2 na Figura 41, respectivamente.

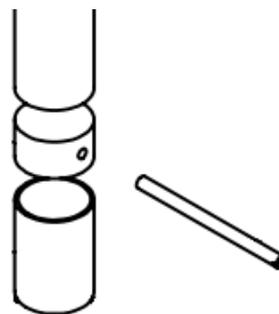
Figura 41 - Hastes concêntricas deslizantes



Fonte: Própria.

- **Haste interna (Figura 41 - 1)** – Aço da família SAE 1000 (mais especificamente 1012) em formato tubular. O aço SAE 1012 será resistente à abrasão de contato entre as superfícies do corpo. A parte inferior da haste deverá ser construída por um cilindro de aço maciço de modo que permita a usinagem de uma rosca para acomodar o pino para ajuste de altura, conforme ilustrado na Figura 42. A família foi escolhida devido a sua boa relação entre desempenho mecânico, facilidade de processamento (soldabilidade, usinabilidade, etc.) e custo, uma vez que esse material é um dos mais abundantes no mercado de tubos de aço. O pino acoplado à haste será rosqueado e feito em aço SAE 1045, material de maior resistência mecânica se comparado ao SAE 1012, diante da presença de concentradores de tensão na região de alojamento do pino.

Figura 42 - Cilindro de aço maciço entre as seções tubulares para acomodar o pino



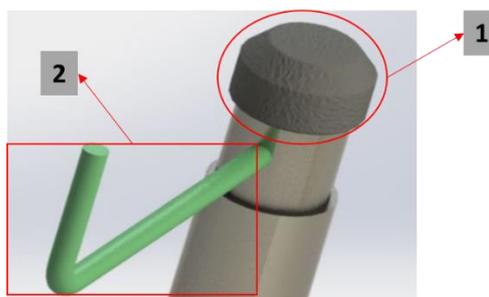
Fonte: Própria.

- **Haste externa (Figura 41 - 2)** – Aço da família SAE 1000 (mais especificamente 1012) em formato tubular, composta por segmentos retos com fresamento de um rasgo ao longo de seu comprimento. A junção da base da haste externa com a indexação inferior será feita por soldagem.

3.3.2.2. Indexação superior

A indexação superior é constituída por 2 elementos, o batente de borracha e a haste lateral, conforme ilustrado na Figura 43 (em 1 e 2 respectivamente).

Figura 43 - Indexação superior: Batente de borracha (1) e haste lateral (2)



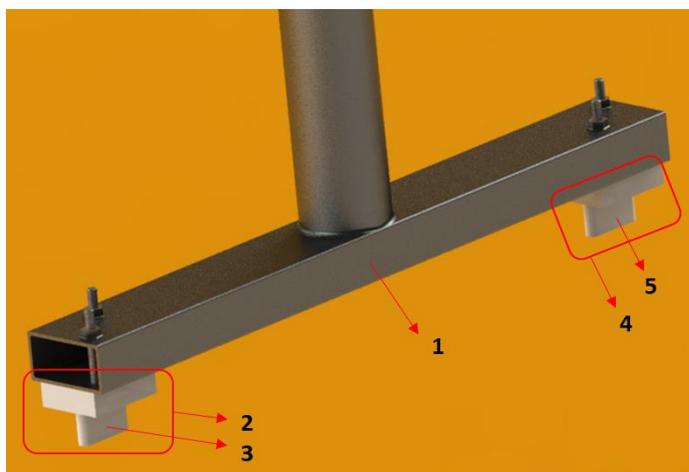
Fonte: Própria.

- **Batente de borracha (Figura 43 - 1)** – Para este elemento foi selecionado a borracha sintética BR (Elastômero de Polibutadieno) devido a seu baixo custo frente a outros materiais elásticos e sua disponibilidade no mercado. A maioria das borrachas sintéticas conservam as características desejadas para esta aplicação. A BR proporcionará um bom coeficiente de atrito para o batente de modo a evitar deslizamentos indesejados, tem boa resistência à abrasão e um apoio macio reduz drasticamente o risco de danificar a superfície de contato com o veículo.
- **Haste lateral (Figura 43 - 2)** - Esta parte da indexação superior será soldada a haste do corpo e, uma vez que são solidárias é conveniente que sejam construídas do mesmo material (SAE 1012) de modo a compatibilizar suas propriedades.

3.3.2.3. Indexação inferior

A indexação inferior é composta por 3 componentes principais, a base horizontal tubular retangular (1), os apoios (2 e 4) e os oblongos (3 e 5) fixados na base através de parafusos. Na Figura 44 são mostrados os elementos mencionados.

Figura 44 - Indexação inferior e as suas partes



Fonte: Própria.

- **Base horizontal (Figura 44 - 1)** – Construída em aço SAE 1012 justamente por oferecer as mesmas propriedades mecânicas citadas anteriormente e devido ao fato que esta base será soldada ao tubo externo do corpo, torna-se explicitamente recomendável a compatibilidade química dos materiais de ambas as partes.
- **Apoio (Figura 44 – 2 e 4) e oblongo (Figura 44 – 3 e 5)** – Esta parte da indexação inferior será fresada em Nylon 6. Este material é leve, de excelente usinabilidade e amplamente usado na indústria para partes de sacrifício de máquinas e equipamentos industriais. No caso deste dispositivo, os oblongos também serão elementos de sacrifício, visto que sofrerão desgaste das sucessivas montagens e desmontagens. Além disso, ele tem as propriedades necessárias para conferir boa rigidez e baixa dureza, de modo a não danificar o ponto de apoio na carroceria do veículo.

3.3.3. Requisitos de Engenharia cumpridos

Os aços SAE 1012 e 1045 atendem os requisitos de alta durabilidade, resistência a impactos, boas propriedades mecânicas (boa resiliência, tenacidade, dureza e resistência à abrasão), além de um baixo custo. A borracha sintética BR e o Nylon 6 satisfazem os requisitos de alta durabilidade, baixo custo, resistência a vibrações (Borracha BR) e resistência a impactos (Nylon 6). As propriedades mecânicas de cada material se encontram no Quadro 17 abaixo.

Quadro 17 - Propriedades dos materiais selecionados

Material	Tensão de Escoamento	Tensão Última	Modulo de Young	Coef. De Poisson	Densidade	Módulo de Cisalhamento
SAE 1012	310 MPa	370 Mpa	205 Gpa	0,29	7870 kg/m ³	80 Gpa
SAE 1045	530 Mpa	625 Mpa	206 Gpa	0,29	7850 kg/m ³	80 Gpa
Borracha BR	4 Mpa (Comp)	4,8 Mpa	1,8 Mpa	0,48	1150 kg/m ³	0,6 Mpa
Nylon 6	139 Mpa	142 Mpa	8,3 Mpa	0,28	1400 kg/m ³	3,2 Mpa

Fontes: MATWEB; Universieit Leuven; SolidWorks, 2020.

3.3.4. Dimensionamento analítico

Na etapa de dimensionamento, um modelo analítico foi construído para definição das dimensões da seção resistente dos elementos do dispositivo de acordo com o carregamento de operação. Para tal, foi realizada uma avaliação das condições de contorno, definição das forças externas atuantes, bem como dos esforços solicitantes desenvolvidos na estrutura em estudo. Com base nos resultados obtidos, dimensões comerciais foram selecionadas para os componentes, com o objetivo de facilitar, e reduzir os custos de fabricação.

Os resultados das tensões desenvolvidas no dispositivo carregado conforme mostrada na Figura 76 do memorial de cálculo – Apêndice B (a partir do qual os cálculos para o dimensionamento do dispositivo podem ser consultados em sua totalidade) - são apresentados no Quadro 18. De acordo com os cálculos analíticos, as tensões desenvolvidas na estrutura se encontram bem inferiores as tensões admissíveis (obtidas aplicando um fator de segurança de 1,5 em relação ao escoamento do material para o aço 1012 e 2 para o aço 1045), apresentando uma reserva considerável de resistência mecânica.

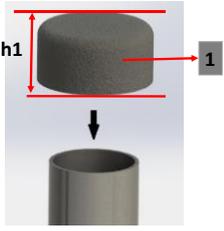
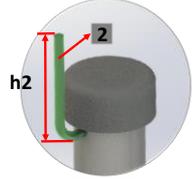
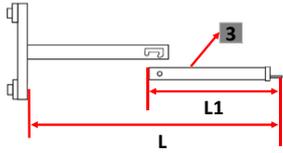
Quadro 18 - Tensões obtidas nos elementos do dispositivo

Elementos do Dispositivo	Tipo de Tensão	Valor da Tensão (MPa)	Tensão admissível (MPa)
Tubo Externo	Compressão normal	1,125	206,7
Tubo Interno	Compressão normal	1,069	206,7
Pino	Cisalhamento	6,408	153
Pino	Esmagamento	33,171	265
Alojamento do pino	Esmagamento	33,171	206,7
Base horizontal	Normal por flexão	7,580	206,7
Encaixes oblongos	Compressão normal	0,082	93

Fonte: Própria.

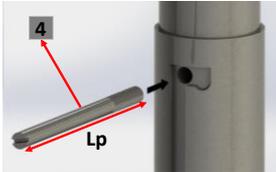
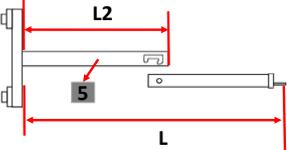
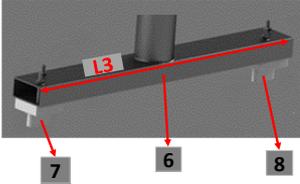
O objetivo desta etapa de dimensionamento consiste em fornecer uma compreensão dimensional geral do dispositivo, elucidando as dimensões principais das partes que o compõem. Isto posto, com base nos cálculos realizados, as dimensões foram definidas para os principais componentes do dispositivo, conforme pode ser visto nos Quadros 19 e 20 abaixo.

Quadro 19 - Dimensões principais do dispositivo (parte 1)

Elementos	Seção transversal	Comprimento Total	Imagem Complementar
Batente de borracha (1)	Circular / \varnothing 44,92 mm	$h1 = 20$ mm	
<p>As dimensões do batente foram concebidas visando a maior área de contato possível. Seu diâmetro interno deve ser ligeiramente maior que o diâmetro externo da haste interna para que haja uma conexão adequada entre eles. Os batentes de borracha serão obtidos com dimensões comerciais próximas a desejada e customizados para atender as dimensões de encaixe na haste interna.</p>			
Haste lateral (2)	Circular / \varnothing 5 mm	$h2 = 60$ mm	
<p>Este componente utiliza um furo existente no painel interno da tampa da mala e para garantir sua funcionalidade ele precisa ter um diâmetro que permita o movimento requerido para a ação de travamento. O diâmetro da haste (5 mm) permite um bom ângulo de rotação (28°) dentro do orifício onde será alojado (porção central da tampa da mala), além de ser um diâmetro comercial padrão.</p>			
Haste interna (3)	Circular / Dext = \varnothing 34,92 mm	$L1 = 725$ mm	
<p>A haste interna teve seu comprimento ($L1$) e posições do pino e haste lateral calculadas a partir da distância entre os pontos de apoio inferior e superior (representado pela cota "L" no desenho à direita). Além disso, buscou-se adotar um diâmetro e uma espessura (1,2 mm) comercial para o projeto.</p>			

Fonte: Própria.

Quadro 20 - Dimensões principais do dispositivo (parte 2)

Elementos	Seção transversal	Comprimento Total	Imagem Complementar
Pino (4)	Circular / \varnothing 6 mm	$L_p = 81,2$ mm	
<p>Componente intercambiável, contendo 20 mm de rosca e 60 mm de comprimento livre para manipulação do operador (condição regida por normas internas de ergonomia da FORD) e 1,2 mm contido dentro dos limites da espessura do tubo. Seu diâmetro foi concebido em detrimento das condições de carga imposta e também pela limitação dimensional do alojamento, visto que este último está intimamente ligado com o ângulo de giro da haste interna (para maiores detalhes vide Apêndice B).</p>			
Haste externa (5)	Circular / Dext = \varnothing 38.1 mm	$L_2 = 541,90$ mm	
<p>A haste externa, assim como a haste interna, foi dimensionada (L_2) partindo-se de dimensões comerciais padrão de mercado, tomando como referência a altura total do dispositivo (conforme representado na cota "L" na imagem ao lado). Tal componente será obtido diretamente de prateleira, não havendo necessidade de customização.</p>			
Base horizontal (6)	Retangular / 40x20 mm	$L_3 = 327$ mm	
<p>Barra de perfil comercial, cujo comprimento foi definido tomando como base a distância entre os furos do rear cab back do veículo, que serão utilizados para localização dos oblongos (representados por 7 e 8 na imagem ao lado, para maiores detalhes das dimensões dos oblongo vide desenho técnico no Apêndice D). Sua espessura é de 1,2 mm, cuja dimensão é também encontrada facilmente no mercado.</p>			

Fonte: Própria.

Como etapa posterior, será realizada a verificação estrutural do dispositivo pelo método de elementos finitos, e por fim, a elaboração dos desenhos mecânicos, incluindo todos os detalhes para a sua fabricação.

3.3.5. Modelo idealizado para o dispositivo

O modelo foi idealizado de modo a atender aos requisitos do cliente, tendo como premissa básica a capacidade de resistir ao peso do porta-malas do veículo em estudo pela empresa contratante do projeto. A Figura 45 abaixo representa de forma ilustrativa a disposição do dispositivo na sua posição instalada.

Figura 45 - Dispositivo instalado

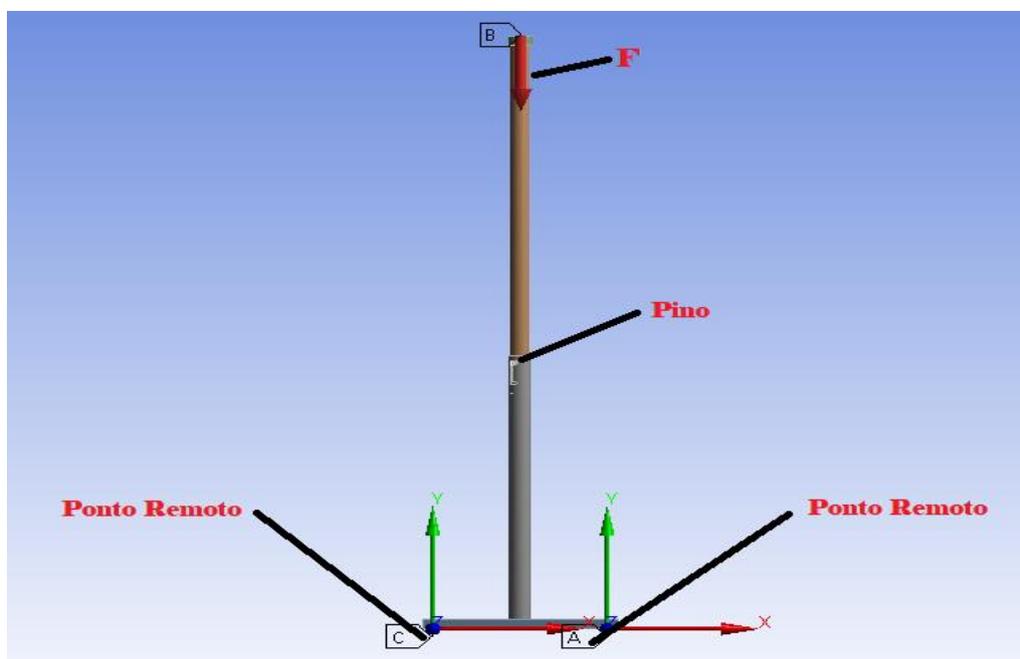


Fonte: Própria.

3.3.6. Verificação estrutural por elementos finitos

O dispositivo de retenção temporária do porta-malas foi modelado no software CAD Solidworks e simulado no ambiente do software CAE Ansys Workbench, considerando as condições de aplicação prática do mesmo. As cargas aplicadas e as condições de contorno empregadas são mostradas na Figura 46.

Figura 46 - Idealização da análise por Elementos Finitos em um ambiente de simulação



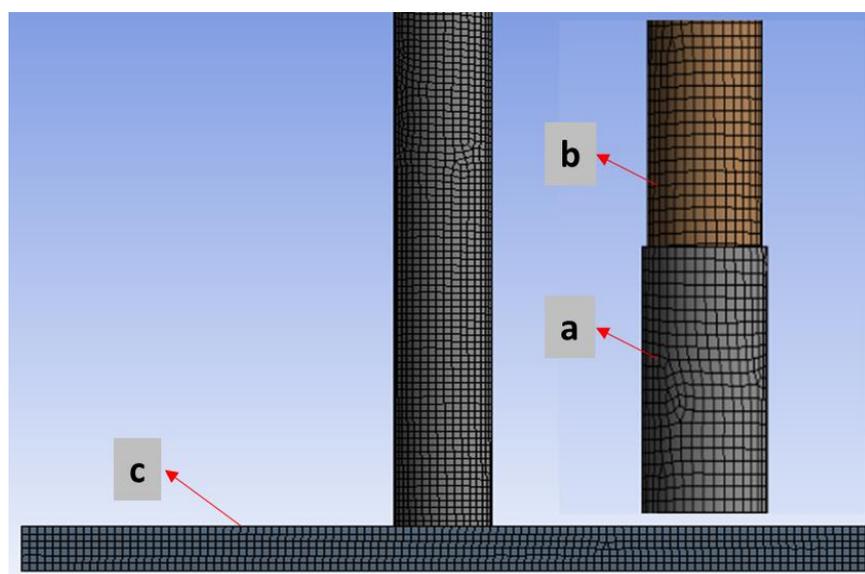
Fonte: Própria.

Neste modelo, a força “F” é transmitida perpendicularmente à face superior da “borracha” utilizada como apoio para o porta-malas. O mesmo estará apoiado, na sua porção inferior, por dois encaixes representados por dois pontos remotos (vide Figura 46).

3.3.6.1. Malha de elementos finitos

O modelo foi discretizado utilizando um elemento de “casca” para os tubos, bem como para a base, e “sólido” para o pino. Para a “casca”, os elementos de malha configurados foram quadriláteros quadráticos com tamanho máximo de 3 mm (vide Figura 47).

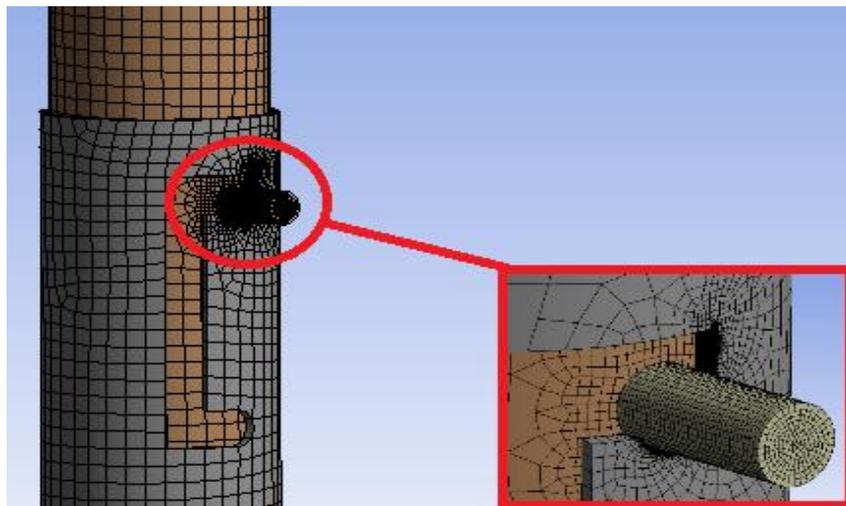
Figura 47 - Malhas de Elementos Finitos: Tubo externo (a), tubo interno (b) e base (c)



Fonte: Própria.

Para o “sólido” foi utilizado elementos “hexaédrico quadráticos” com tamanho máximo de 0,4 mm, com 30 “números de divisões” nas arestas para obtenção de uma malha mapeada. Foi utilizado também um fator de crescimento máximo de 1,1, a fim de garantir uma transição suave entre as regiões refinadas de elementos maiores. A região de contato do pino com o “alojamento” foi refinada com o objetivo de obter uma maior acuracidade dos resultados (vide Figura 48).

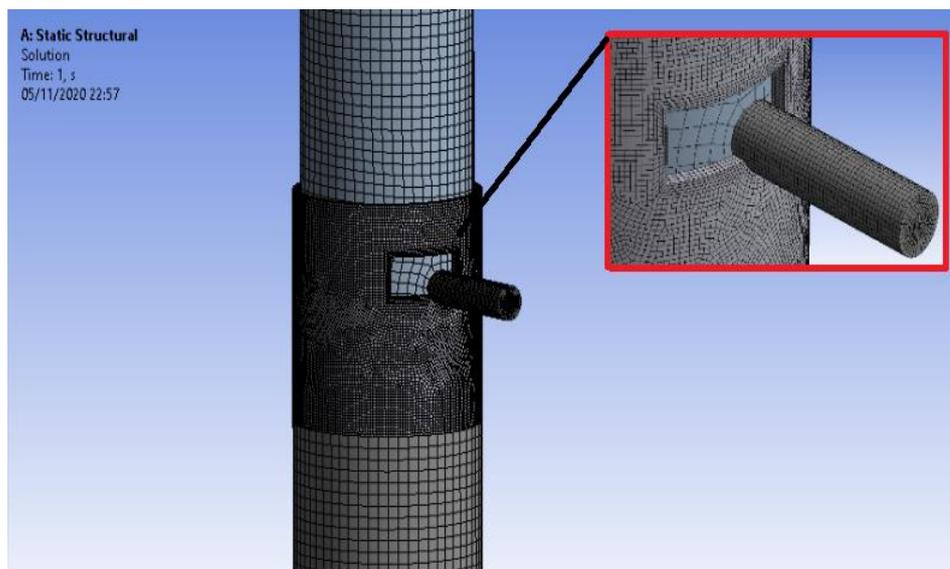
Figura 48 – Modelo “sólido – casca”: região de contato pino e alojamento



Fonte: Própria.

Na verificação da análise com o modelo “sólido-casca”, foi identificado um local de concentração de tensão (área de contato entre o pino e o alojamento). Diante disso, foi trabalhado um modelo mais abrangente, no qual o pino e o tubo externo (em um determinado trecho de interface com o pino) foram representados como elementos sólidos. Também foi utilizado um “*Inflation*” nas faces do alojamento com 5 camadas, e uma espessura máxima de 2 mm, de forma que obtivesse uma maior representatividade da região local (vide Figura 49).

Figura 49 – Modelo “sólido – sólido”: região de contato pino e alojamento

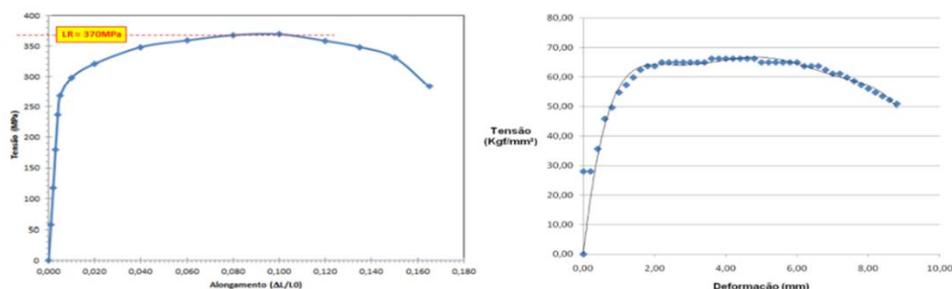


Fonte: Própria.

3.3.6.2. Materiais aplicados ao modelo

Os materiais aplicados ao modelo foram um Aço SAE 1012 para os tubos, assim como na base, e um Aço SAE 1045 para o pino. Os mesmos apresentam propriedades semelhantes e uma curva característica de comportamento dúctil (vide Figura 50).

Figura 50 – Curva Tensão x Deformação característica dos Aços SAE 1012 e 1045 respectivamente



Fonte: FATEB.

O Ansys não fornece os materiais em sua biblioteca. Por esse motivo, as propriedades mecânicas deles (vide Quadro 21) foram adicionadas manualmente nos modelos.

Quadro 21 – Propriedades Mecânicas dos Aços SAE 1012 e 1045 respectivamente

Aço SAE 1012		Aço SAE 1045	
Densidade	7870 kg/m ³	Densidade	7850 kg/m ³
Módulo de Young	205 GPa	Módulo de Young	206 GPa
Coefficiente de Poisson	0,29	Coefficiente de Poisson	0,29
Tensão ao escoamento	310 MPa	Tensão ao escoamento	530 MPa
Tensão à Resistencia última	370 MPa	Tensão à Resistencia última	625 MPa

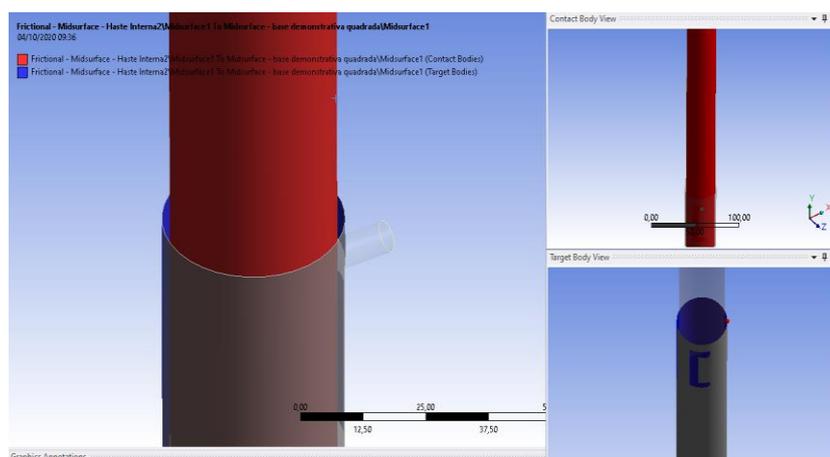
Fonte: Matweb.

3.3.6.3. Contatos aplicados

Contatos com atrito

Para as regiões de contato entre os tubos foi utilizado o contato com atrito (“*Frictional*”) com um coeficiente de 0,2, conforme ilustrado na Figura 51.

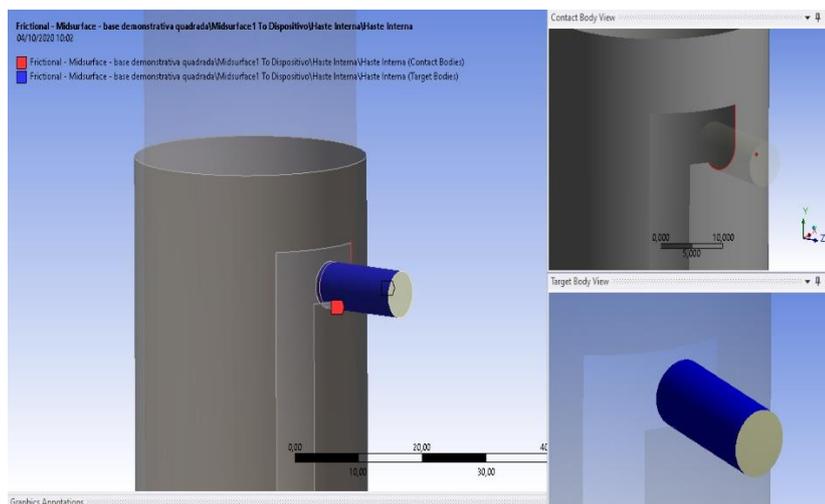
Figura 51 – Contato “*Frictional*” para os tubos



Fonte: Própria.

Para as regiões de contato entre “pino” e o “alojamento” também foi definido um contato com atrito (“*Frictional*”) com um coeficiente de 0,2, representado na Figura 52.

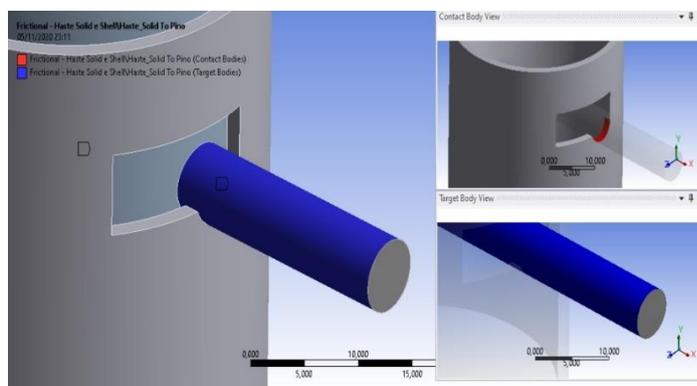
Figura 52 – Contato com atrito entre o pino e o tubo discretizados com elemento de sólidos e de casca, respectivamente



Fonte: Própria.

Para o modelo mais abrangente foi utilizado nas regiões entre o pino e o alojamento um contato de atrito (“*Frictional*”) com um coeficiente de 0,2, porém, utilizando um comportamento simétrico e um fator de amortecimento de estabilização (“*Stabilization Damping Factor*”) de 0,1 (vide Figura 53).

Figura 53 – Contato com atrito entre o pino e o tubo ambos discretizados como elementos sólidos

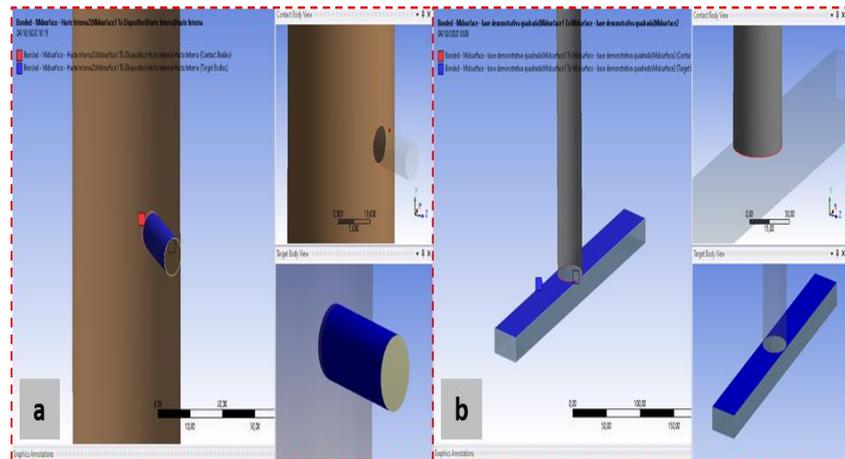


Fonte: Própria.

Contatos do tipo colado (“Bonded”)

Para as regiões de interface entre o pino e o tubo interno, bem como entre a aresta do tubo externo e a base foram considerados contatos do tipo “colado” (“Bonded”), como pode ser visto na Figura 54.

Figura 54 – Contato do tubo interno com o pino (a) e tubo externo com a base (b)

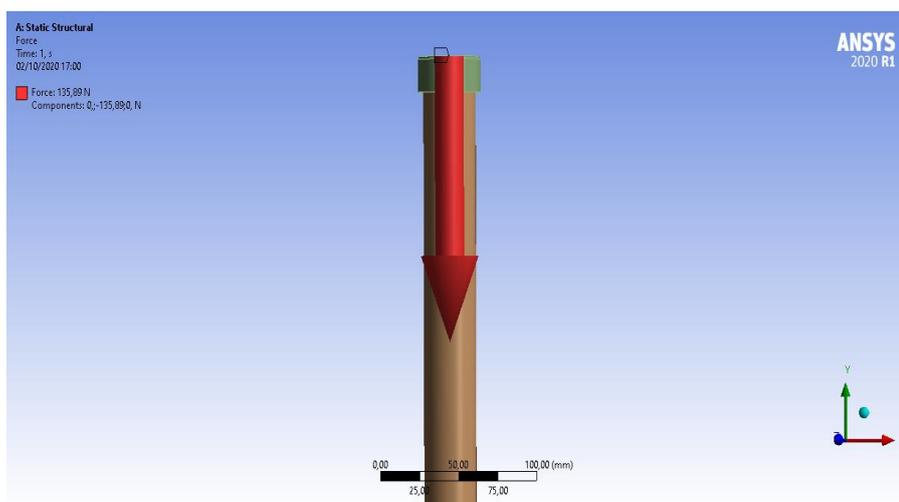


Fonte: Própria.

3.3.6.4. Condições de contorno

O carregamento foi aplicado perpendicularmente à face do batente de borracha conectada a extremidade superior do dispositivo (vide Figura 55), com uma intensidade de aproximadamente 135,89 N^[1], de modo a representar o peso do porta-malas do veículo.

Figura 55 – Força aplicada na coordenada -Y

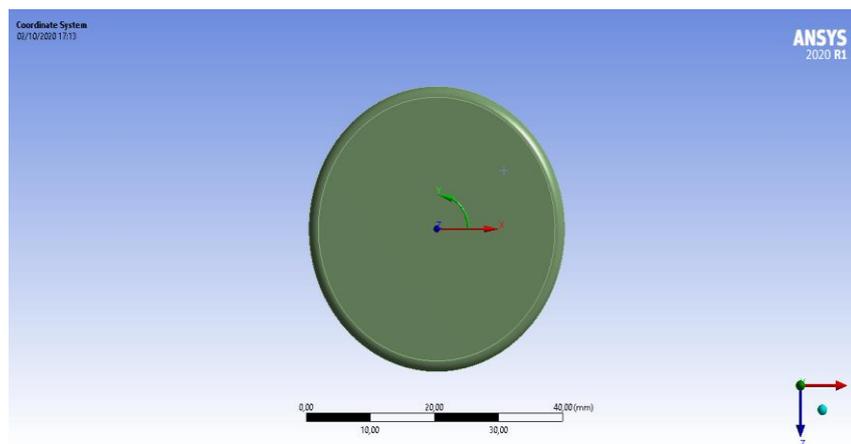


Fonte: Própria.

Com o intuito de garantir a estabilidade numérica do modelo, o batente de borracha teve o seu deslocamento restringido nas direções X (radial) e Y (tangencial) do sistema de coordenadas mostrado na Figura 56. Desta maneira, este batente tem liberdade para se deslocar apenas na vertical (direção Z).

¹ A força de 135,89 N foi aplicada de acordo com os requisitos de Engenharia pré-definidos no projeto informacional, sendo este relacionado ao peso da tampa do porta-malas.

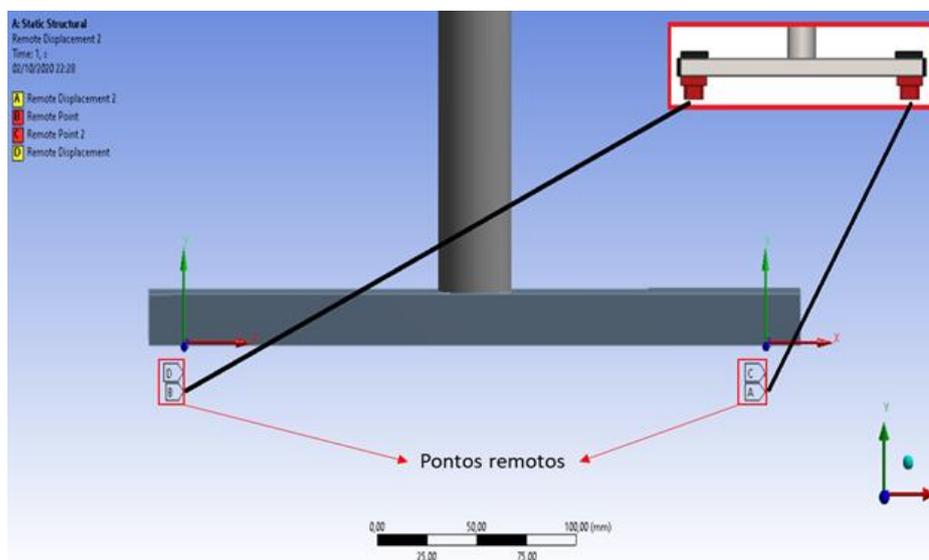
Figura 56 – Sistema de coordenada do tipo “Cilíndrica” (“*Coordinate Systems*”)



Fonte: Própria.

Adicionalmente, o modelo foi fixado na base inferior pelos pontos remotos mostrados na Figura 57. Esta abordagem foi adotada com o intuito de simplificar o modelo pela supressão dos encaixes que ficam em contato com o “*rear cab back*”.

Figura 57 - Condição de restrição do modelo



Fonte: Própria.

3.3.6.5. Critérios de aceitação

Critério de aceitação I

Em operação, o dispositivo deve ser capaz de suportar o peso da tampa do porta-malas sem que seus materiais escoem. Para tal, o critério de aceitação adotado foi baseado no “Critério de Von Mises”, em que a tensão de projeto é definida por $(\sigma_{adm}=S_y/FS)$ ^[2]. Por se tratar de um elemento crítico do ponto de vista estrutural, foi adotado um fator de segurança 2 para o pino, o que resultou em uma tensão admissível de 265 MPa. Já para os demais componentes do dispositivo foi definido um fator de segurança de 1,5, resultando em uma tensão de projeto de 206,7 MPa.

Critério de aceitação II

Para estimar a durabilidade do dispositivo, foi necessário verificar a quantidade de ciclos que o dispositivo seria submetido durante a sua vida em operação. Diante disso, tomou-se como base o tempo de ciclo da estação onde será utilizado o dispositivo na linha de montagem da Ford. Além disso, outros parâmetros também foram levados em consideração, como: mix do veículo (percentual de veículos produzidos), velocidade de linha, número de turnos, quantidade de horas produtivas por dia, total de horas produtivas por dia, número de dias úteis por mês, número de dias úteis por ano (vide Quadro 22).

² Tensão admissível = Tensão de escoamento / Fator de segurança

Quadro 22 - Parâmetros referenciais para estimativa de ciclos

Parâmetro	Valor	Unidade
Velocidade de linha	51	unidades/hora
Tempo de ciclo	1.17	min
Mix do veículo	42	%
N° de turnos	2	turnos
Horas produtivas por turno	6	horas/turno
Total de horas produtivas por dia	12	horas/dia
N° de dias úteis por mês	22	dias
N° de dias úteis por ano	264	dias

Fonte: Própria.

Com base nos parâmetros listados acima, foi possível estimar a quantidade de ciclos de utilização do dispositivo por dia e por ano, conforme mostrado no Quadro 23 abaixo.

Quadro 23 – Quantidade de ciclos de utilização do dispositivo

Parâmetro	Valor	Unidade
Quantidade de ciclos por dia	258	ciclos/dia
Quantidade de ciclos por ano	68234	ciclos/ano

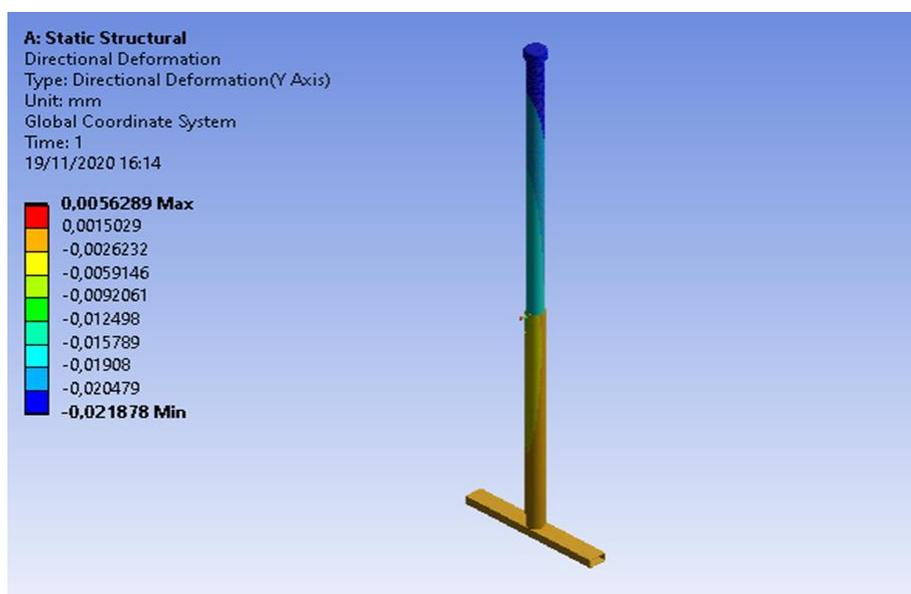
Fonte: Própria.

De acordo com os requisitos adotados para o projeto, o dispositivo deve apresentar uma durabilidade de 3 a 5 anos. Desta maneira, ele deve ser capaz de suportar uma condição cíclica entre 3x a 5x a quantidade de ciclos anuais (vide Quadro 23), equivalente a um total de 204702 e 341169 ciclos, respectivamente.

3.3.6.6. Resultados da análise por elementos finitos

A Figura 58 mostra o campo de deslocamento total da base e do pino, respectivamente, para uma carga de 135,89 N. A imagem ilustrada abaixo (Figura 58) está na escala real (“1.0 True Scale”). A partir desta ilustração é possível notar que os deslocamentos máximos na vertical (direção Y) são inferiores a -0,021878 mm para o dispositivo.

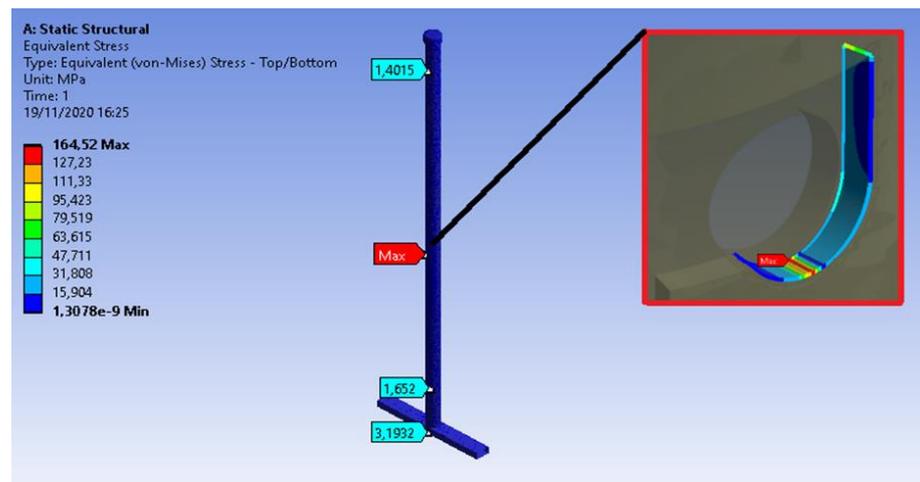
Figura 58 – Deslocamento total na direção Y da base e do pino respectivamente



Fonte: Própria.

Para as tensões foi verificado que em grande parte do dispositivo os valores encontrados situam-se abaixo da tensão de projeto (vide Figura 59). Em particular, a tensão obtida no alojamento foi de 164,52 MPa, sendo esta abaixo da tensão admissível mencionada anteriormente no critério de aceitação I.

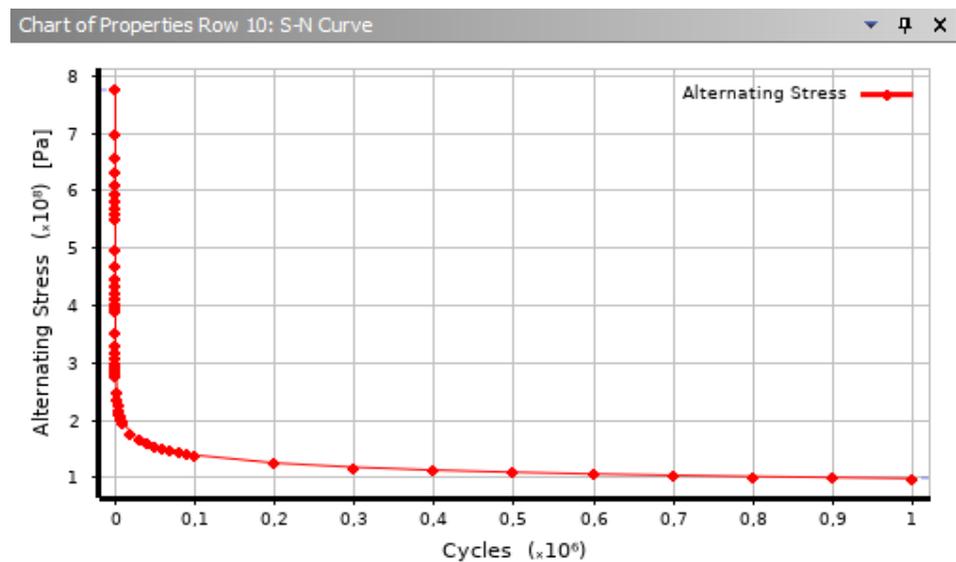
Figura 59 – Tensões no dispositivo



Fonte: Própria.

Além da análise estrutural estática, foi realizada uma simulação de fadiga para verificação do tempo de vida útil do dispositivo. Nesse sentido, a curva S-N do aço SAE 1012 foi utilizada como referência, conforme mostrado na Figura 60. Adicionalmente, um carregamento senoidal repetido e um critério de falha de Goodman foram empregados.

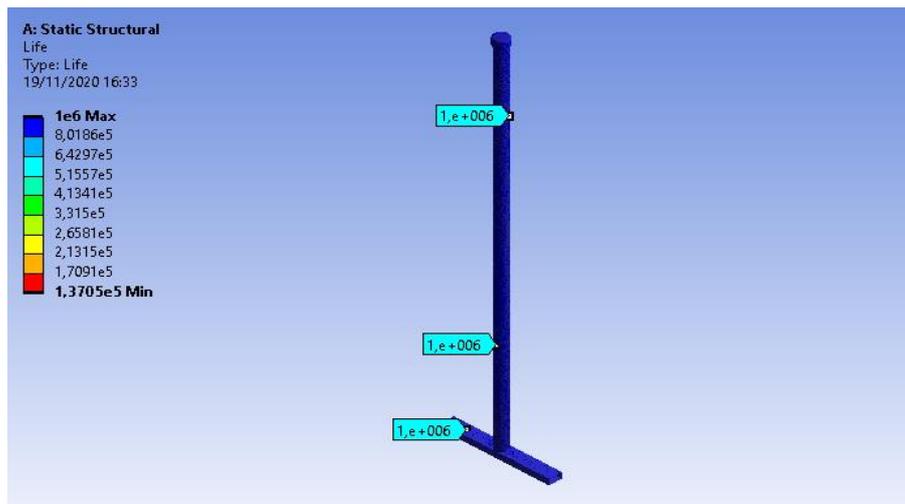
Figura 60 – Curva S-N para o aço SAE 1012



Fonte: Própria/Ansys.

O resultado da análise de fadiga revela que em quase sua totalidade o dispositivo apresenta um tempo de vida útil tendendo ao infinito (acima de 10^6 ciclos) e, conseqüentemente, superior ao critério de aceitação II para a durabilidade do dispositivo, conforme ilustrado na Figura 61.

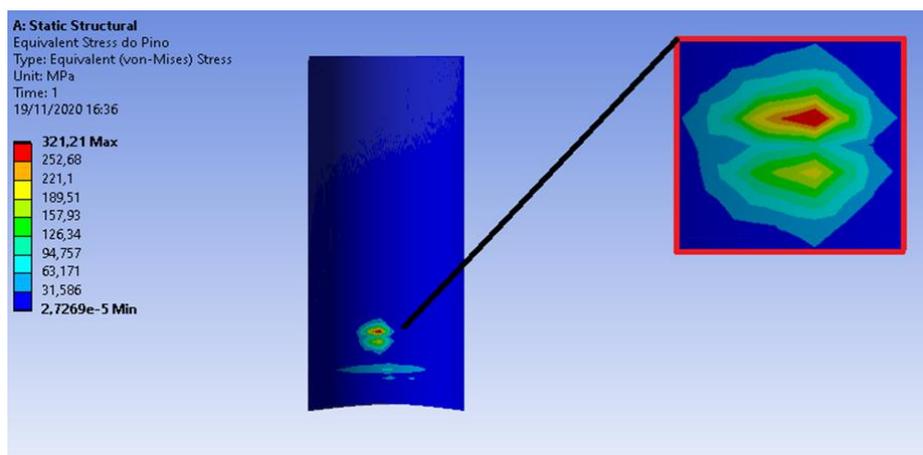
Figura 61 – Vida útil global do dispositivo



Fonte: Própria.

Embora para a maior parte do dispositivo os valores de tensão e tempo de vida estejam em conformidade com os requisitos estruturais pré-definidos, em um ponto específico do pino a tensão apresentada atingiu 321,21 MPa (vide Figura 62), valor este abaixo da tensão de escoamento do material (Aço SAE 1045 – 530 MPa), porém muito acima da tensão admissível de projeto, o que não estaria dentro do critério de aceitação I previamente estabelecido.

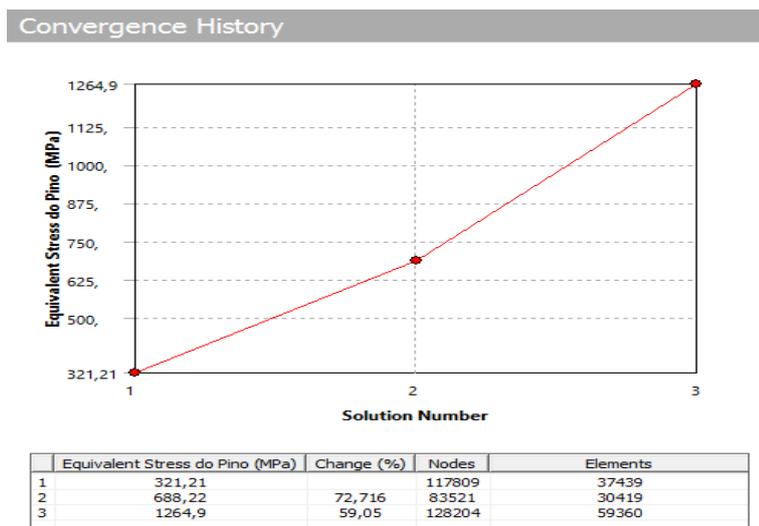
Figura 62 – Tensão Equivalente (Von Mises) no pino



Fonte: Própria.

Todavia, uma análise de convergência de malha (vide Figura 63) revelou que os valores de tensão obtidos nesse local não são representativos, pois trata-se de uma região de singularidade numérica com tensões progressivamente crescentes à proporção que a malha é refinada. Essa singularidade é decorrente do contato aresta-face entre o alojamento do tubo externo e o pino (vide Figura 64).

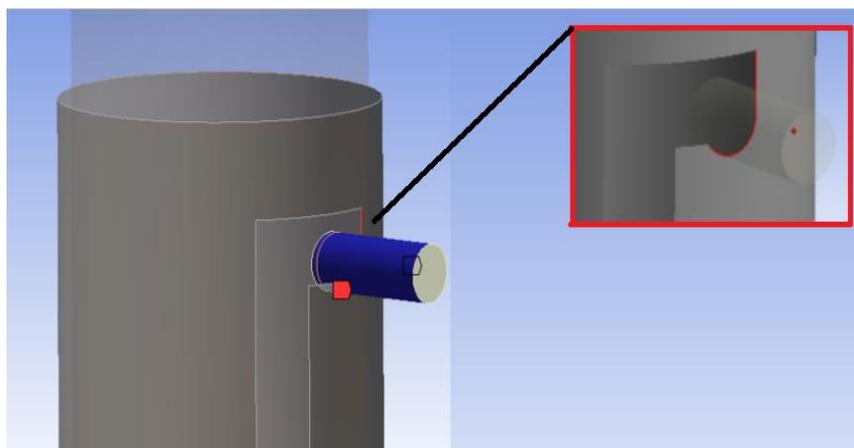
Figura 63 – Convergência de malha



Fonte: Própria.

Figura 64 – Singularidade de tensão devido ao contato face e aresta

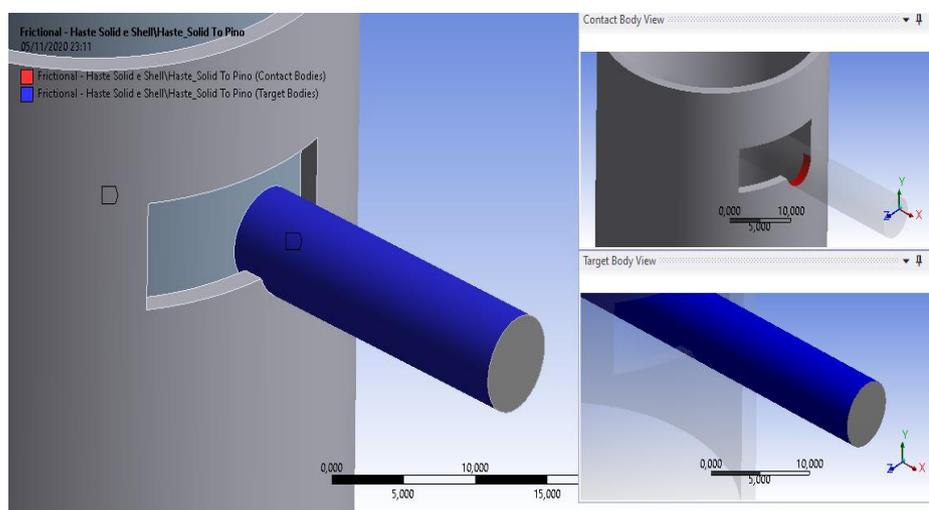
Figura 64 – Singularidade de tensão devido ao contato face e aresta



Fonte: Própria.

Por conseguinte, um modelo mais abrangente com interação sólido-sólido foi adotado de forma a representar a região de contato entre o pino e o alojamento (vide Figura 65). Com isso foi possível obter uma distribuição das tensões mais representativas na região de interesse.

Figura 65 – Configuração do contato da face do pino e do alojamento

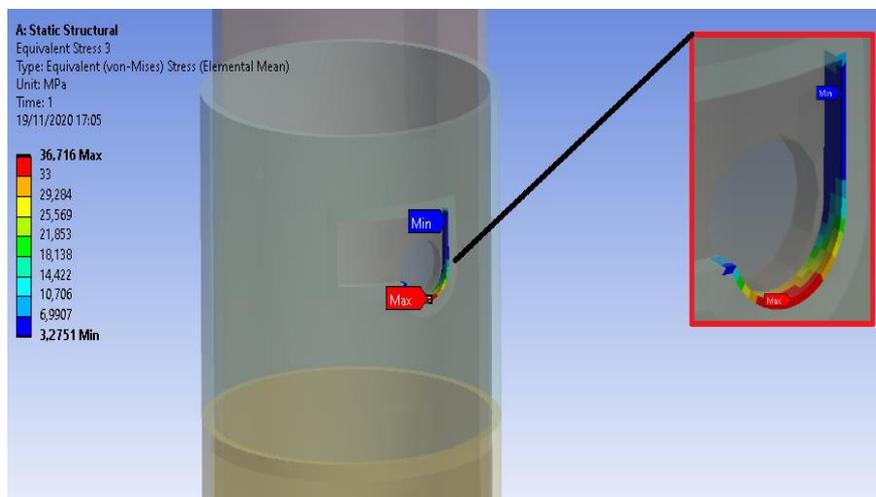


Fonte: Própria.

Do ponto de vista numérico, a tensão equivalente (Von Mises) no alojamento destoou bastante da tensão encontrada no modelo anterior, ficando bem abaixo da tensão admissível ($36,716 \text{ Mpa} < 206,67 \text{ MPa}$),

e, portanto, dentro do critério de aceitação I definido para o dispositivo (vide Figura 66).

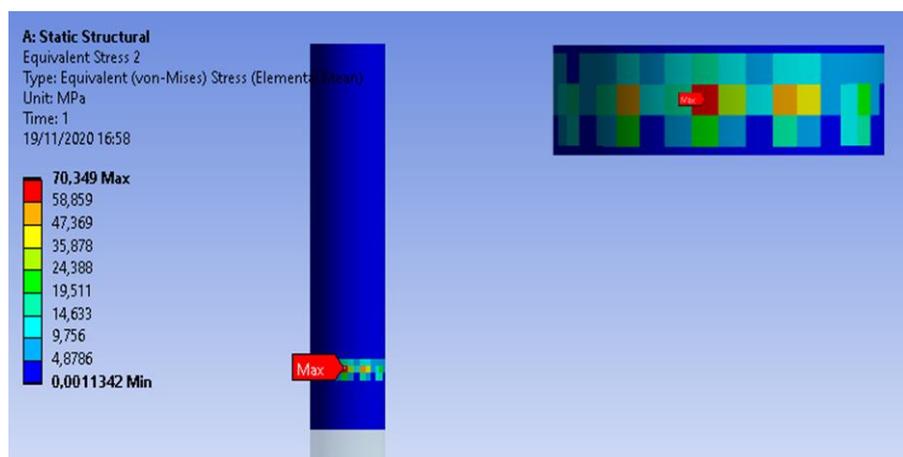
Figura 66 – Tensão equivalente (Von Mises) para o alojamento



Fonte: Própria.

De maneira análoga, as tensões de Von Mises obtidas para o pino situam-se bem abaixo da tensão admissível para o projeto (265 MPa), com tensão máxima equivalente de aproximadamente 70,349 MPa (vide Figura 67).

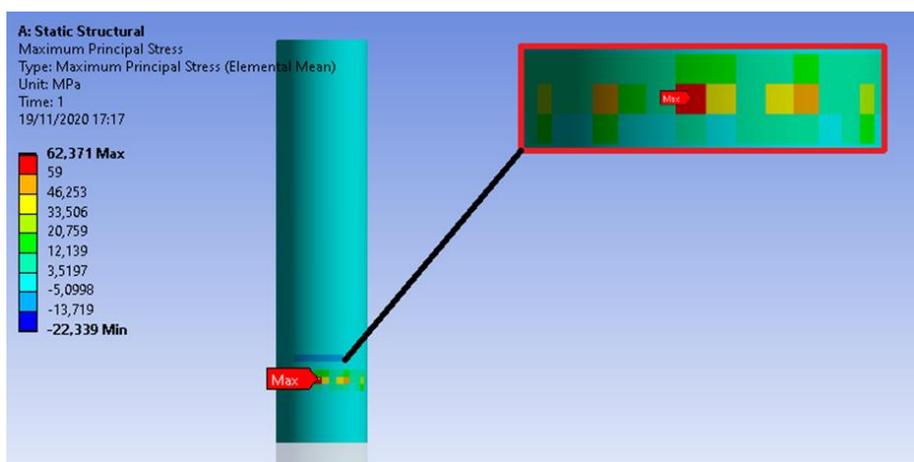
Figura 67 – Distribuição das tensões encontradas no pino



Fonte: Própria.

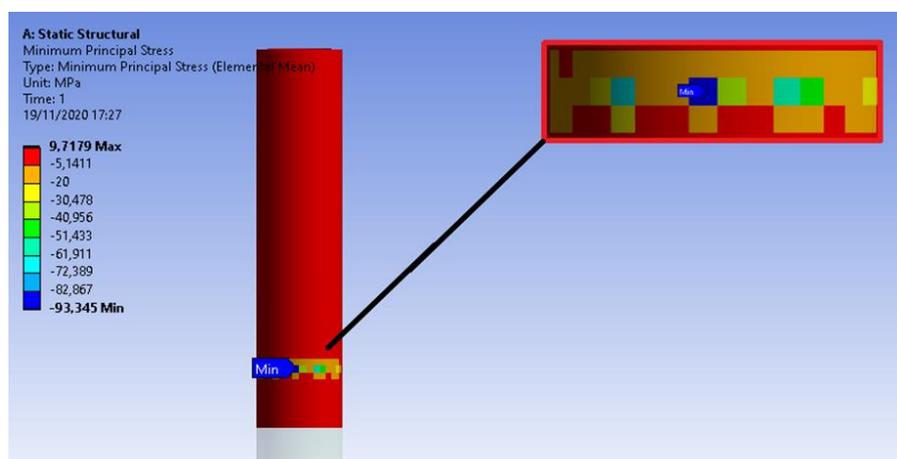
Como verificação adicional, foram ainda avaliadas as tensões principais desenvolvidas no componente. Assim, as tensões máxima (62,371 MPa) e mínima (-93,345 MPa), também se mantiveram abaixo da tensão admissível de 265 MPa (vide Figura 68 e 69).

Figura 68 – Tensão Máxima Principal



Fonte: Própria.

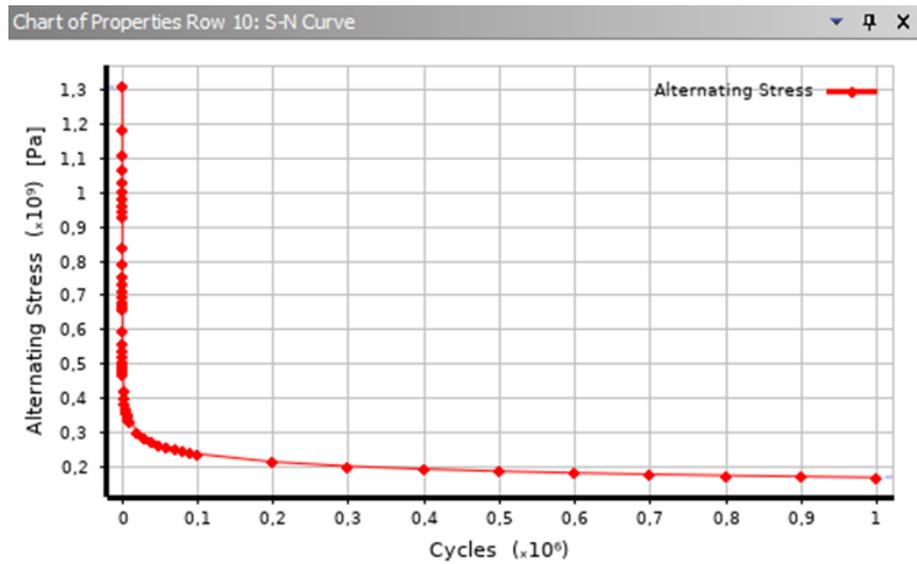
Figura 69 – Tensão Mínima Principal



Fonte: Própria.

Por fim, por se tratar do componente mais solicitado, foi realizada uma análise de fadiga para o pino, tomando como base todos os parâmetros utilizados na simulação realizada para o dispositivo como um todo, porém, utilizando a curva S-N do aço SAE 1045 para o pino (vide Figura 70).

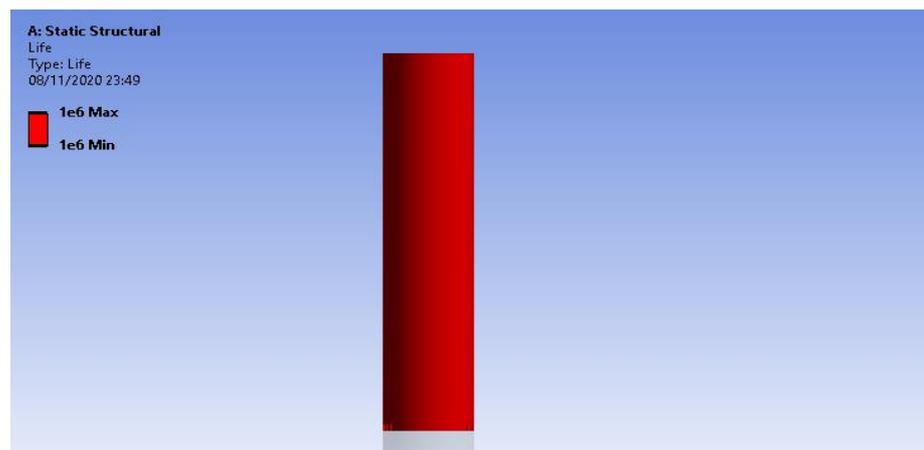
Figura 70 – Curva S-N para o aço SAE 1045



Fonte: Própria/Ansys.

O resultado desta análise evidencia um tempo de vida útil tendendo ao infinito (acima de 10^6 ciclos) para este componente, valor este superior ao critério de 5 anos adotado para o projeto (vide Figura 71).

Figura 71 – Vida útil do pino



Fonte: Própria.

3.3.6.7. Considerações finais do método de elementos finitos

As análises estruturais de elementos finitos evidenciaram que o pino e o dispositivo, suportam uma carga de 135,89 N, e, portanto, encontram-se dentro dos critérios de aceitação previamente estabelecidos.

Embora as simulações de elementos finitos tenham revelado que o dispositivo está adequadamente dimensionado, é recomendado que esses resultados sejam usados em caráter preliminar até que sejam realizados testes experimentais para validação do conceito projetado. Neste ponto, por se tratar do componente mais solicitado, uma atenção especial deve ser dada aos testes realizados para validação da integridade estrutural do pino. Além disso, para efeitos de mitigação de eventuais problemas que possam ocorrer em operação, recomenda-se realizar inspeções visuais deste elemento com uma frequência determinada (vide maiores detalhes no DFMEA). Caso sejam constatados não conformidades durante o procedimento de inspeção, recomenda-se a substituição imediata deste item, visto que o mesmo foi projetado para ser intercambiável.

3.3.7. Análise dos modos e efeitos das falhas do projeto do dispositivo (DFMEA)

Uma análise de modos de falha e efeitos de projeto (DFMEA) do dispositivo foi realizada para mapear as potenciais falhas, suas causas, efeitos e as consequentes ações com o intuito de evitar, corrigir ou mitigá-las. Os resultados dessa análise possibilitam ao cliente ter ciência das partes e sistemas do dispositivo que necessitam de uma atenção maior em termos de manutenção, garantindo um maior grau de segurança aos operários.

Para a análise, o dispositivo foi dividido em quatro regiões: Indexação superior (haste lateral e batente de borracha), haste externa/interna, mecanismo de ajuste de altura e indexação inferior (base retangular e oblongo).

3.3.7.1. Parâmetros do DFMEA

É importante entender as referências para os dados inseridos na análise DFMEA. O Quadro 24 apresenta os padrões considerados para graduar a criticidade da falha, enquanto que os Quadros 25 e 26 mostram a frequência de ocorrência e o nível de detecção da falha, respectivamente. Essas 3 características juntas (criticidade, frequência e dificuldade de detecção) irão compor o NPR (Número de Prioridade de Risco) de cada modo de falha, indicando quais elementos do dispositivo merecem maior atenção.

Quadro 24 - Quadro guia para o número correspondente aos níveis de criticidade da falha

Criticidade	
1	Segurança do homem e do ativo; meio ambiente; sem custo de reparo e de produção
3	Risco de incidentes na operação; custos baixos de reparo; parada parcial da produção; risco ambiental de baixo impacto e curta duração
5	Risco médio de acidentes; risco ambiental proeminente; parada parcial ou total da produção e da máquina; custos de médio a elevado
7	Custo alto (entre R\$ 2.000,00 à R\$ 40.000,00); parada de produção; parada total da máquina; risco de acidente do operador; risco do meio ambiente(contaminação do solo através de vazamentos de óleo e diesel)

Fonte: Própria.

Quadro 25 - Quadro guia para o número correspondente aos níveis de frequência da falha

Frequência	
1	Uma falha a cada dois anos (730 dias)
3	Uma falha a cada ano (365 dias)
5	Uma falha a cada semestre (182 dias)
7	Uma falha a cada mês

Fonte: Própria.

Quadro 26 - Quadro guia dos níveis de dificuldade de detecção da falha

Dificuldade de Detecção	
1	Falha facilmente detectável por meio visual, auditivo ou outro senso humano
3	Falha detectável com auxílio de instrumentação simples: paquímetro, relógio comparador, micrômetro, régua de calibração etc.
5	Falha detectável com auxílio de instrumentação especializada (Ex:sensores)
7	Falha não permite sua detecção

Fonte: Própria.

No Apêndice C encontra-se disponível o quadro da análise DFMEA do projeto. Neste quadro é possível encontrar cada sistema ou parte do dispositivo, seus modos de falha relevantes, as causas e efeitos correspondentes a cada modo de falha. Este quadro também apresenta uma descrição das ações a serem tomadas em relação a cada sistema com sua respectiva frequência. O cliente usará este quadro para reconhecer os modos de falha do dispositivo e assim ter informações para o planejamento adequado de manutenção.

3.3.7.2. Considerações finais sobre o DFMEA

Trata-se de um dispositivo relativamente simples com poucas partes móveis, porém algumas concentrações de tensões e partes sujeitas ao desgaste, sendo assim necessário acompanhar a evolução destes efeitos para garantir uma longa vida útil. O cliente receberá as recomendações feitas no DFMEA como treinamentos, inspeções e planejamento de substituição de alguns componentes.

Vale ressaltar que a equipe não efetuou ensaios de fadiga para determinar a real vida útil dos componentes (foram feitas apenas simulações numéricas via Elementos Finitos), e assim as frequências de

inspeções e substituições recomendadas apresentam um valor conservador. É crucial que os operadores cooperem na manutenção e prolongamento da vida útil do dispositivo por meio de manuseio adequado e inspeções rotineiras, reportando qualquer irregularidade.

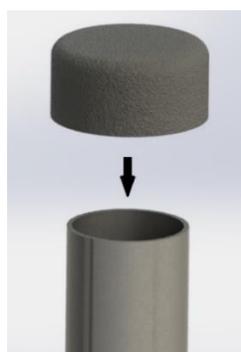
É recomendado que o fabricante execute um teste de fadiga ao construir o primeiro protótipo. Este teste reforçará as projeções acerca da vida útil do pino e do dispositivo como um todo, que permitirá uma atualização nos dados do DFMEA, com base em valores reais da condição de uso do dispositivo.

3.3.8. Guia de montagem do dispositivo

Com objetivo de facilitar a montagem, o guia prático apresentado a seguir foi elaborado descrevendo o passo a passo para obtenção do dispositivo final (maiores detalhes estão evidenciados no Apêndice E – Manual do Proprietário).

- 1º Passo: Encaixar o batente de borracha na extremidade superior da haste interna do dispositivo (vide Figura 72).

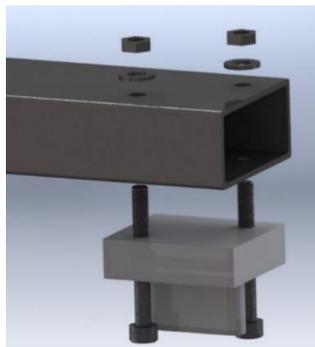
Figura 72 – Montagem (Parte 1)



Fonte: Própria.

- 2º Passo: Posicionar e aparafusar os oblongos na base horizontal (indexação inferior do dispositivo), conforme ilustrado na Figura 73.

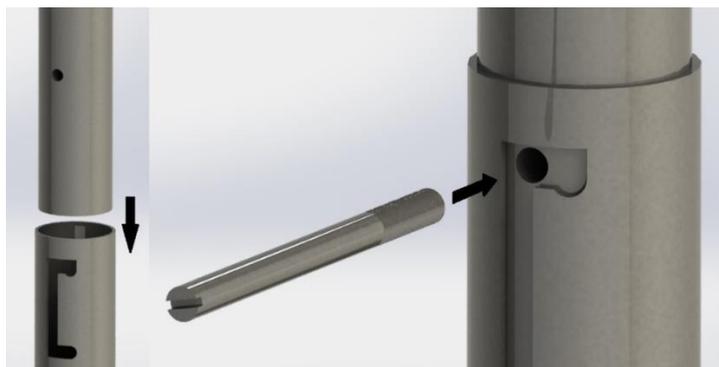
Figura 73 – Montagem (Parte 2)



Fonte: Própria.

- 3º Passo: Encaixar o tubo interno no externo e alinhar com o rasgo guia, e aparafusar o pino em seu lugar (vide Figura 74). Recomenda-se que seja utilizada uma trava química na rosca do pino.

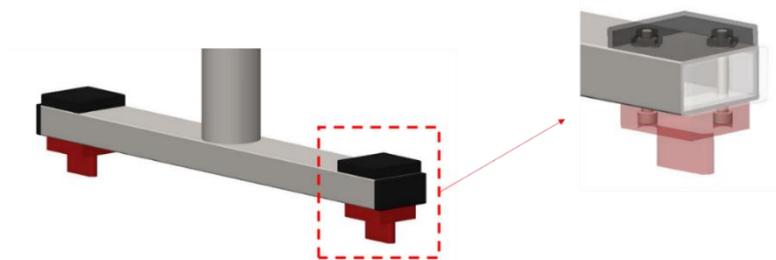
Figura 74 – Montagem (Parte 3)



Fonte: Própria.

- 4º Passo (Opcional): Encaixar tampas de borracha nas extremidades da base retangular, conforme ilustrado na Figura 75 abaixo.

Figura 75 – Montagem (Parte 4)



Fonte: Própria.

4. RESULTADOS ALCANÇADOS NO PROJETO

Uma vez percorrido todo o levantamento de informações que serviram de alicerce para o projeto, definição do conceito e verificação estrutural virtual do dispositivo, torna-se necessário a exposição dos resultados alcançados através do modelo desenvolvido e idealizado. Desta forma, segue abaixo os resultados obtidos:

Quadro 27 – Resultados atingidos

Requisitos de Engenharia	Resultados atingidos
Dispositivo auto-travante (retenção temporária)	A retenção temporária é garantida por ação da gravidade.
Error proofing	Foi concebido um sistema poka yoke de posicionamento e contato (as indexações superior e inferior apresentam geometrias distintas, com uma única forma possível de posicionamento e contato durante a montagem do dispositivo).
Resistência à choques mecânicos/impactos	Os materiais aplicados com função estrutural apresentam elevada resistência mecânica. Além disso, um mecanismo de segurança foi desenvolvido (haste lateral) para evitar o desacoplamento do dispositivo em operação, em caso de choques acidentais.
Mecanismos com baixo esforço de acionamento	A força requerida para acionamento é de aproximadamente 9 N.
Dispositivo de comprimento ajustável	O dispositivo apresenta apenas dois estágios: posição de desinstalação e posição de instalação.
Facilidade operacional de acionamento e instalação	Dispositivo simples e de fácil manuseio.
Resistência às vibrações	Alguns materiais poliméricos foram aplicados com o intuito de atenuar tais efeitos. Além disso, a característica de retenção temporária, atrelado ao elemento de segurança concebido (haste lateral), evita problemas de desacoplamentos indesejados decorrente das vibrações da linha.
Dispositivo compacto e de baixa intrusão na área de trabalho	A largura da região de intrusão do dispositivo ($L_{\text{corpo}} = 38,1 \text{ mm}$) é inferior a 10% da largura do porta-malas (1088,2 mm).
Dispositivo de massa reduzida, com boas propriedades mecânicas, bom dimensionamento e baixo custo	O dispositivo é leve com massa inferior a 2 kg (1,98 kg com elementos de proteção e 1,96 kg sem proteções); O dispositivo apresenta boas propriedades mecânicas (Aço 1012 - Módulo de Young = 205 GPa / Tensão à resistência última = 370 MPa; Aço 1045 - Módulo de Young = 206 GPa / Tensão à resistência última = 630 MPa); O dimensionamento foi verificado analiticamente e numericamente, obedecendo aos critérios de aceitação pré-estabelecidos com boa reserva de resistência mecânica; Os materiais aplicados partiram de itens de prateleira, facilmente encontrados no mercado e comumente utilizados. A fabricação do dispositivo não requer a utilização de processos complexos, o que contribui para um baixo custo.
Alta durabilidade/vida útil elevada	Os resultados obtidos na verificação estrutural via elementos finitos apontaram um tempo de vida útil infinita para o dispositivo.
Baixa complexidade de mecanismos	O dispositivo dispõe de apenas uma articulação complexa.
Manual de manutenção	Um manual do proprietário foi confeccionado contendo todas as orientações e instruções de uso, bem como um plano de manutenção a ser seguido.

Fonte: Própria.

Uma vez verificado o cumprimento dos requisitos de engenharia supracitados, foi possível atestar também as funcionalidades esperadas, concebidas no início do projeto:

- Retenção temporária da tampa da mala;
- Travamento/Destravamento simples e eficiente;
- Capacidade de adaptação entre a posição de abertura total da mala e a posição de montagem da mola gás;
- Dispositivo à prova de erros de montagem;
- Proteção contra acionamento involuntário (mecanismo de trava de redundância).

Além dos requisitos de engenharia, consta também nas delimitações do projeto, a entrega de um desenho técnico para fabricação do dispositivo e elaboração do DFMEA, elementos estes que foram desenvolvidos e entregues pela equipe responsável.

Ademais, como caráter complementar, foi realizada uma verificação preliminar da condição de instalação e montagem do dispositivo no ambiente virtual do veículo em estudo pela empresa. A partir desta, foi possível atestar que o mesmo é funcional, dentro daquilo que foi delineado no escopo do projeto. Tais resultados não puderam ser expostos por questões de confidencialidade previamente alinhadas no termo de confidencialidade do projeto.

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS DO PROJETO

Este projeto abordou o desenvolvimento de um modelo virtual do dispositivo de retenção temporária da tampa da mala do novo veículo em estudo pela Ford Motor Company. A concepção partiu da necessidade de conferir viabilidade ao processo de montagem da mola gás e seus respectivos componentes. Para isto, foi preponderante compreender as necessidades a serem supridas por este novo produto, considerando as nuances técnicas, de operação, ergonomia e segurança inerentes ao desenvolvimento deste projeto.

Os requisitos do cliente foram convertidos em requisitos de engenharia, a partir dos quais tornou-se possível construir a base informacional necessária, propiciando maior confiabilidade e agilidade no desenvolvimento do produto alvo, além de fornecer maior estabilidade na estruturação das demais etapas subsequentes. Esta base informacional serviu de alicerce para o desenvolvimento de um conceito que melhor atendesse às expectativas do cliente, balizando e priorizando os requisitos com maior grau de importância relativa para o projeto, sendo este executado satisfatoriamente.

Os materiais selecionados para cada constituinte do dispositivo foram atribuídos de forma assertiva, conferindo as propriedades mecânicas e parâmetros de durabilidade necessários à aplicação do mesmo, além de conferir uma massa global abaixo de 2 kg. A definição destes materiais viabilizou o dimensionamento analítico preliminar, por meio do qual obteve-se as dimensões globais mínimas necessárias para modelagem do dispositivo.

A integridade estrutural do modelo foi verificada através do método de elementos finitos, que corroborou a robustez pretendida ao dispositivo, capaz de resistir às solicitações que lhe serão impostas, além de apresentar um tempo de vida útil acima de 5 anos, superando o ciclo de vida médio do veículo. Uma vez conferida a verificação numérica do modelo, a elaboração do DFMEA permitiu antecipar as falhas indesejáveis ao dispositivo, permitindo dar a melhor tratativa para resolução dos problemas por meio de um plano de manutenção. Feito isso, o desenho técnico 2D do dispositivo foi elaborado, como forma de fornecer o direcional mínimo necessário à fabricação do dispositivo.

A partir das considerações feitas pelo cliente, prezando pela simplicidade e baixa complexidade construtiva, foi factível conceber um modelo leve, simples, estruturalmente

robusto e funcional, constituindo uma solução objetiva e eficaz para o problema proposto deste projeto, sendo que o principal objetivo foi alcançado uma vez que as solicitações do cliente foram contempladas, bem como os requisitos de engenharia foram preenchidos em sua totalidade.

Contudo, o projeto dispõe de algumas oportunidades de melhoria que foram identificadas com base no retorno fornecido pelo cliente e, a principal delas refere-se à redução ainda maior da massa global do dispositivo. Através de um estudo de otimização topológica é possível verificar as regiões do dispositivo com baixa solicitação estrutural e, que não necessitam de grandes reservas de resistência mecânica, apontando oportunidades para redução de massa.

Para a implementação dessas alterações, faz-se necessário realizar uma nova análise estrutural através do método de elementos finitos a fim de verificar numericamente se o modelo atenderá os critérios de aceitação (I e II) previamente estabelecidos. Além disso, deve ser feito um estudo de viabilidade de fabricação do dispositivo após essas novas modificações, visto que este pode apresentar um design mais complexo, tornando-o customizado.

REFERÊNCIAS

- AMARAL et al. Gestão de Desenvolvimento de Produtos. São Paulo: Saraiva, 2006.
- ALLIPRANDINI, DARIO HENRIQUE [et al]. GESTÃO DE DESENVOLVIMENTO DE PRODUTOS: Uma referência para melhoria do processo. 1ª. ed. São Paulo: Saraiva, 2006.
- ASHBY, Michael F.. Materiais e o ambiente. In: ASHBY, Michael F. [tradução de Arlete Simille]. Seleção de Materiais no Projeto Mecânico. 4. ed. Rio de Janeiro: Elsevier, 2012.
- André Luiz V. da Costa e Silva, Paulo Roberto Mei. Aços e Ligas Especiais, Editora Edgard Blücher, 2ª edição, 2006.
- AUBLIN, M. Systèmes mécaniques: théorie et dimensionnement. 2e tirage, Paris: Dunod, 1992.
- ARAÚJO, Eduardo Francisco Rocha de. Análise Estrutural. Ensaio de fadiga: Como prevenir e eliminar problemas de fadiga em campo. Artigo Técnico. ESSS.
- AZEVEDO, Alvaro F. M. Método dos Elementos Finitos. 1ª. ed. Porto, Portugal: Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, 2003.
- ARCELLORMITTAL. Catálogo de Produtos: Tubos, Perfis e Aços Planos. 2020. Contagem, Minas Gerais. 28p.
- ACRYLIC trunk prop for Charger, Challenger, 300 and Camaro and Mustang. [S. l.], 15 out. 2018. Disponível em: <https://www.proprprops.com/product/propr-trunk-prop>. Acesso em: 7 jul. 2020.
- BRASIL. Ministério do Trabalho e Emprego. NR 12 - SEGURANÇA NO TRABALHO EM MÁQUINAS E EQUIPAMENTOS. Brasília: Ministério do Trabalho e Emprego, 1996. Disponível em: https://enit.trabalho.gov.br/portal/images/Arquivos_SST/SST_NR/NR-12.pdf. Acesso em: 9 jul. 2020.
- BRASIL. Ministério do Trabalho e Emprego. NR 11 - TRANSPORTE, MOVIMENTAÇÃO, ARMAZENAGEM E MANUSEIO DE MATERIAIS. Brasília: Ministério do Trabalho e Emprego, 1996. Disponível em:

https://enit.trabalho.gov.br/portal/images/Arquivos_SST/SST_NR/NR-11.pdf. Acesso em: 9 jul. 2020.

BOSCH, Robert. Manual de Tecnologia Automotiva. 25ª. ed. São Paulo: Blucher, 2005.

B&D Tools. B&D INNOVATIVE PDR PROP-N-LOCK. [S. l.], 17 dez. 2018. Disponível em: <https://banddtools.net/prop-n-lock/>. Acesso em: 7 jul. 2020.

CALLISTER, W. D.. Ciência e Engenharia de Materiais: Uma Introdução. John Wiley & Sons, 7th ed., 2007.

CHAPRA, Steven C.; CANALE, Raymond P. Métodos Numéricos para Engenharia. 7ª. ed. Porto Alegre: AMGH, 2016.

COOK, Robert D. Concepts and applications of finite element analysis. [et al.]; 4th ed. P. Cm.

CADILLAC CTS Wagon SRX Chevy Equinox GMC Terrain Liftgate Striker. [S. l.]. Disponível em: <https://www.amazon.com/Cadillac-Equinox-Terrain-Liftgate-15929713/dp/B00MG3O01E>. Acesso em: 27 jul. 2020.

COURSEHERO. (NBR) Nitrile Rubbers - Universieit Leuven. Disponível em <<https://www.coursehero.com/file/18781340/NBR-Nitrile-Rubbers/>>. Acesso em SET 2020.

Crazy Horse Performance. 13 abr. 2018. Disponível em: http://www.crazyhorseperformance.com/index.php?main_page=product_info&products_id=213. Acesso em: 7 jul. 2020.

DA SILVA, Antonio Carlos. Mecânica: tecnologia dos materiais e industrial. São Paulo: Fundação Padre Anchieta, 2011 (Coleção Técnica Interativa. Série Mecânica, v. 2).

DA SILVA, Lucas Filipe Martins. Problemas e Trabalhos Práticos de Materiais de Construção. 1ª. ed. Porto, Portugal: Publindústria, 2017.

DEDIC, Anthony M. PROP FOR TRUNK COMPARTMENT LIDS. Depositante: Anthony M. Dedic. US3117689A. Depósito: 16 out. 1962. Concessão: 14 jan. 1964. Disponível em:

<https://patentimages.storage.googleapis.com/0c/0c/1c/bd0d332b2cafd1/US3117689.pdf>. Acesso em: 6 jul. 2020.

DOS SANTOS, Givanildo Alves. Tecnologia dos materiais metálicos: Propriedades, estruturas e processos de obtenção. 1ª. ed. São Paulo: Érica, 2015.

Delaware, University. Daimler Chrysler Prop Tool. [S. l.], 25 out. 2001. Disponível em: <https://pdfs.semanticscholar.org/b5d9/fcacd49737725b3163902416f2dc14263669.pdf>. Acesso em: 8 jul. 2020.

DELOGIC. Saiba o que é Poka Yoke e como implantar na empresa. Disponível em: <https://blog.delogic.com.br/o-que-e-poka-yoke-e-como-implantar-na-empresa/>.

EQUIPE ATLAS. Desenho Técnico. 1ª. ed. Salvador, BA: Atlas, 2018.

EQUIPE ATLAS. Segurança e Medicina do Trabalho. 81ª. ed. Salvador, BA: Atlas, 2018.

FISCHER, Ulrich. Manual de Tecnologia Metal Mecânica. 2ª. ed. São Paulo: Blucher, 2011.

FILHO, Avelino Alves. Elementos finitos: a base da tecnologia CAE: Análise não linear/ Avelino Alves Filho; 1. ed. -- São Paulo: Érica, 2012.

FILE: SADDLE quick release clamp. Disponível em: https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Saddle_quick_release_clamp.JPG. Acesso em: 05 ago. 2020.

GM TechLink Power Liftgate Latch Connector. [S. l.]. Disponível em: <https://gm-techlink.com/?p=7005>. Acesso em: 27 jul. 2020.

HOLMES, E. L. PROPFOR LIDS OF VEHICLE TRUNK COMPARTMENTS. Depositante: E. L. HOLMES. US2811273A. Depósito: 10 nov. 1955. Concessão: 29 out. 1957. Disponível em: <https://patentimages.storage.googleapis.com/93/f5/a0/cd3c1f2b182e22/US2811273.pdf>. Acesso em: 6 jul. 2020.

HUGHES, DENNIS R. AUTOMOTIVE TRUNK LID SUPPORT. Depositante: DENNIS R. HUGHES. US3216605A. Depósito: 21 mar. 1963. Concessão: 9 nov. 1965. Disponível

em:<https://patentimages.storage.googleapis.com/72/96/be/b49e67a64b4d47/US3216605.pdf>. Acesso em: 6 jul. 2020.

HIBBELER, R. C. Estática - Mecânica Para Engenharia. 12^a. ed. São Paulo: Pearson Prentice Hall, 2011.

HIBBELER, R. C. Resistência dos Materiais. 7^a. ed. São Paulo: Pearson Prentice Hall, 2010.

HILL, H. N. Determination of stress-strain relations from "offset" yield strength values. NACA, 1944.

HLDI, IIHS. 2001 Dodge Durango MIDSIZE SUV / 4-DOOR SUV. [S. l.]. Disponível em: <https://www.iihs.org/ratings/vehicle/dodge/durango-4-door-suv/2001>. Acesso em: 8 jul. 2020.

Industria Hoje. O que é Poka Yoke. Disponível em: <https://industria hoje.com.br/o-que-e-poka-Yoke>.

KURTZ, Scotty R.; ROHRBACH, Al R. HOOD PROP WITH SUPPORT. Depositante: Lisle Corporation. US741014B2. Depósito: 21 fev. 2006. Concessão: 12 ago. 2008. Disponível em: <https://patentimages.storage.googleapis.com/70/cb/21/5be8feb33c6f61/US7410142.pdf>. Acesso em: 6 jul. 2020.

LEE, Huei-Huang. Finite Element Simulations with ANSYS Workbench. 1^a. ed. Mission, Kansas: SDC Publications, 2019.

LIMA, Ivo Andrei de Oliveira Lino. Comparação de modelos de análises das normas ASME e EM 1591 para o projeto de flanges com juntas circulares. UFSC, Florianópolis, 2005.

LEXIVON Premium Impact Universal Joint Socket Swivel Set. [S. l.]. Disponível em: <https://www.amazon.com/LEXIVON-Premium-Universal-3-Piece-LX-113/dp/B07M65WW6S>. Acesso em: 8 jul. 2020.

LOUREIRO, Golin Ricardo; FILHO, Poletto Antonio Jose; ZACHI, Mallia Jussara; CARDOSO, Siqueira Miquelle Francisca; HERRERA, Erica Vania. Aplicação de ferramenta a prova de falha “POKA YOKE” como ações resultantes de FMEA de

processo em unidades produtivas do setor automobilístico. ABEPRO. Disponível em: http://www.abepro.org.br/biblioteca/enegep2014_TN_STO_196_112_25432.pdf.

MATWEB. AISI 1012 Mechanical Properties. Disponível em: <<http://www.matweb.com/search/DataSheet.aspx?MatGUID=f1b9fbe9b7874617992ef04445a29ffd&ckck=1>>. Acesso em SET 2020.

Mazda CX-5 DIGITAL Owner's Manual. [S. l.]. Disponível em: <https://www.mazdausa.com/static/manuals/2020/cx-5/contents/04030208.html>. Acesso em: 27 jul. 2020.

NR 17 - Ergonomia. Ministério do Trabalho. Portaria n.º 876, de 24 de outubro de 2018. Disponível em: <https://enit.trabalho.gov.br/portal/images/Arquivos_SST/SST_NR/NR-17.pdf >. Acesso em OUT 2020.

NORTON, R. L. Projeto de Máquinas: Uma Abordagem Integrada. 4ª ed. Porto Alegre: Bookman, 2013.

NOVIDÁ BLOG. Poka Yoke: O que é e como aplicar?. Disponível em: <https://www.novida.com.br/blog/poka-Yoke>.

PALADY, Paul. FMEA. Análise dos Modos de Falha e Efeitos: Prevendo e Prevenindo Problemas Antes que Ocorram. [S. l.]: IMAM, 2004. 270 p.

PANGARTTE, Reginaldo. Utilização de Poka Yoke em processo de testes na indústria eletroeletrônica. Disponível em: http://repositorio.roca.utfpr.edu.br/jspui/bitstream/1/4153/1/PB_ESEP_I_2014_18.pdf

PIXBAY. Ferrolho gancho. Disponível em <<https://pixabay.com/pt/vectors/bent-olho-hardware-ferrolho-gancho-2027715/>>. Acesso em AGO 2020.

RADERS, ANNE. WHAT Is the Product Life Cycle? Stages and Examples. [S. l.], 4 mar. 2019. Disponível em: <https://www.thestreet.com/markets/commodities/product-life-cycle-14882534>. Acesso em: 10 jul. 2020.

REIS, Fernanda Oliveira Alves dos. O Ciclo de Vida do Produto e as Estratégias de Mercado na Gestão de Marcas - Sandálias Havaianas – Um Estudo de Caso [Minas Gerais] 2007 IX, 38 p. 29,7 cm (UFJF, Engenharia de Produção, 2007)

REGULAGEM Altura Pino Com Trava. [S. l.]. Disponível em: <https://www.cemporcentobatera.com.br/banco-nagano-garage-series-regulagem-altura-pino-com-trava>. Acesso em: 2 ago. 2020.

ROZENFELD, H. QFD (Quality Function Deployment). Disponível em <<http://www.portaldeconhecimentos.org.br/index.php/por/content/view/full/10294>>. Acesso em 25 de set. 2016.

ROSA, Edison da. Análise de resistência mecânica: Mecânica da Fratura e Fadiga. UFSC, GRANTE, agosto de 2002.

SOURCE, Hardware. 2" Surface Mounted Spring Hinge. [S. l.]. Disponível em: <https://www.hardware-source.com/2-surface-mounted-spring-hinge.html>. Acesso em: 8 jul. 2020.

SlidePlayer. Conceito Poka Yoke. Erros e Defeitos. Disponível em: <https://slideplayer.com.br/slide/1262828>.

SHIGLEY, Joseph E. Elementos de Máquinas de Shigley. 7ª. ed. Porto Alegre: Bookman, 2005.

SVETLITSKY, V.A. Statics of Rods. 1ª. ed. Midtown Manhattan, New York City: Springer, 2000.

TUBONASA. Catálogo de Tubos de Aço Carbono. 2020. São Paulo, 24p.

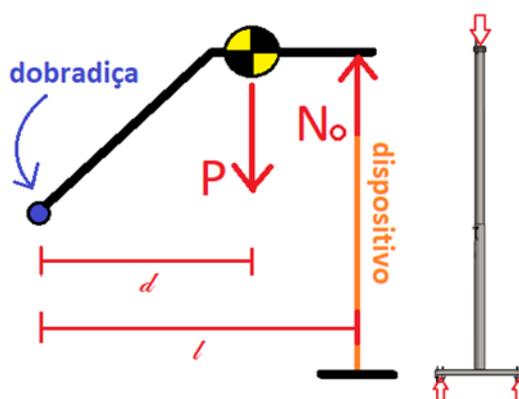
ULLMAN, D.G. The Mechanical design process. Singapore: McGraw-Hill, 1992.

VAZ, Luiz Eloy. Método dos Elementos Finitos em Análise de Estruturas. 1ª. ed. Rio de Janeiro: Elsevier, 2010.

APÊNDICE B – MEMORIAL ANALÍTICO DO DISPOSITIVO

Com o objetivo de compreender melhor as condições de contorno e as forças existentes, o primeiro passo do método analítico consistiu na representação do diagrama de corpo livre (DCL) da tampa do porta-malas e, em seguida, foi realizado um equilíbrio de momentos. As forças presentes na tampa serão o seu peso próprio (P) e a força normal de apoio exercida pelo dispositivo (No). A Figura 76 ilustra esquematicamente esse diagrama de corpo livre. A distância entre o fulcro e a abscissa do centro de massa é “d” e para a abscissa do dispositivo é “l”.

Figura 76 – DCL da tampa do porta-malas e do dispositivo



Fonte: Própria.

Sabendo-se que $d = 527,194$ mm, $l = 544,06$ mm e que a massa da tampa nesta etapa da fabricação é de 14,3 kg, é possível escrever a equação de equilíbrio de momentos, obtendo o seguinte valor para a força normal:

$$N_o \cdot l - m_t \cdot g \cdot d = 0 \quad N_o = 135.888 \text{ N}$$

Com este esforço pode-se calcular qual é a tensão normal nas duas partes tubulares do dispositivo, isto é, o tubo externo e o interno. O processo analítico seguiu a sequência de escolha de uma dimensão comercial com a consequente verificação de resistência aos esforços e requisitos geométricos. Os tubos que foram escolhidos do catálogo da TUBONASA têm diâmetros externos de 38,1 mm (tubo externo) e 34,92 mm (tubo interno), com espessura de parede de 1,2 mm nos dois casos. A área de seção

transversal do tubo interno (A_i) é contínua ao longo do seu comprimento, porém a do externo (A_e) é interrompida pelo rasgo guia do pino, tornando esta região mais suscetível a falhas. Medindo as áreas em software CAD têm-se:

$$A_i = 127.121 \text{ mm}^2 \quad A_e = 120.76 \text{ mm}^2$$

Com base nos valores encontrados acima, foi possível calcular as tensões normais no tubo externo (σ_e) e interno (σ_i), considerando o aço SAE 1012 atribuído para esta parte do dispositivo.

$$\sigma_e := \frac{No}{A_e} = 1.125 \text{ MPa} \quad \sigma_i := \frac{No}{A_i} = 1.069 \text{ MPa}$$

Definiu-se uma tensão admissível para todos os componentes aplicando um fator de segurança de 2 para o pino (elemento crítico) e 1,5 para as demais partes do dispositivo, ambos fatores definidos com base na tensão de escoamento de cada material. Assim, todos os componentes de aço SAE 1012 em compressão ou tração passam a ter uma tensão admissível de 206,7 MPa, o pino de SAE 1045 passa a ter uma tensão admissível no cisalhamento de 153 MPa e os oblongos passam a ter uma tensão admissível de compressão de 93 MPa.

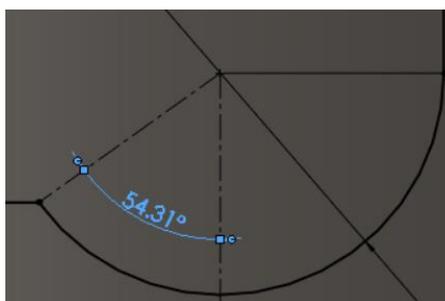
Vê-se então, que os valores de tensão na compressão dos tubos estão bem abaixo da tensão admissível de 206,7 MPa. Assim, verifica-se que as dimensões comerciais escolhidas são capazes de resistir à carga. Para permitir o travamento do pino, o operador deverá efetuar uma rotação da haste interna. Como a haste lateral da indexação superior está limitada em rotação pelo orifício no qual se encontra (vide Figura 77 - A), a rotação da ação travante também será limitada, uma vez que são solidários.

Um fator chave que determina o ângulo de rotação livre é o diâmetro da haste lateral e a distância centro a centro da haste lateral com a haste interna. Adotou-se 5 mm para o diâmetro da haste lateral como base de cálculo por ser um diâmetro comum (facilmente encontrado comercialmente) e de fácil manuseio. Variou-se a distância de centro a centro para encontrar o máximo ângulo livre possível dado a geometria do orifício. A distância encontrada foi de 33,05 mm (conforme Figura 77 - A).

Obtido o ângulo de rotação livre, encontrou-se um equilíbrio entre o diâmetro do pino e a largura da parede de travamento (indicada na Figura 77 - B), uma vez que

seção circular e pode ser numericamente descrita pela expressão apresentada por Aublin (1992) para um alojamento não semi-circular simétrico. O alojamento não é totalmente simétrico (como visto na Figura 78), porém esta diferença é pequena e torna mais conservadora a análise.

Figura 78 - Alojamento do pino e o ângulo de abrangência do pino (θ)



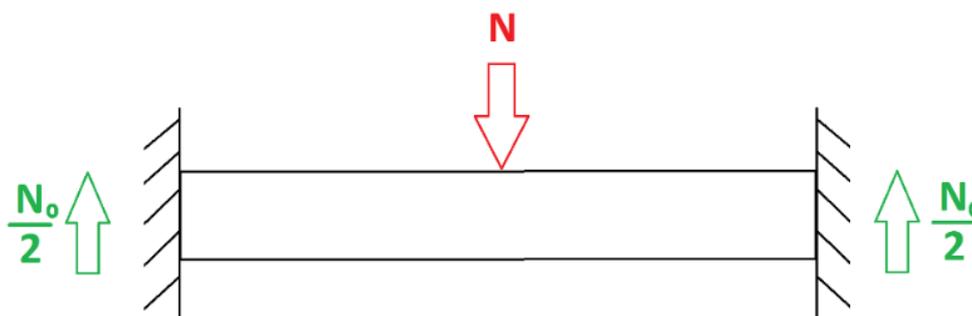
Fonte: Própria.

Com estes parâmetros, calculou-se o esforço de esmagamento do alojamento (e consequentemente do pino), que se encontra abaixo do admissível (206,7 MPa):

$$\sigma_{bear} := \frac{4 N_o}{t \cdot dp} \cdot \frac{1 - \cos(\theta)}{2 \cdot \theta - \sin(2 \theta)} = 33.171 \text{ MPa}$$

O próximo passo foi dado pelo cálculo da tensão normal na barra horizontal da base. Esta tensão normal é produzida pela flexão causada pela carga da tampa do portamalas, sendo esta exercida na porção central. Para tal, a barra foi considerada como engastada em ambas extremidades, conforme a Figura 79. Esta figura mostra também forças atuantes na barra.

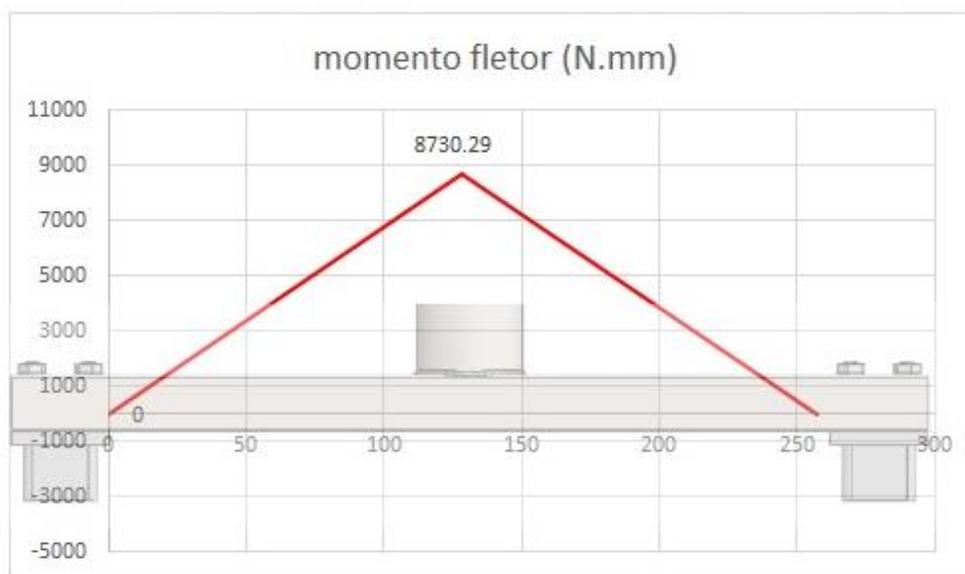
Figura 79 - Modelo adotado na base do dispositivo



Fonte: Própria.

Com este modelo foi possível construir um gráfico de momento fletor para determinação da localização do momento (M) de maior magnitude presente na barra. O gráfico está presente na Figura 80.

Figura 80 - Gráfico de momento fletor na base



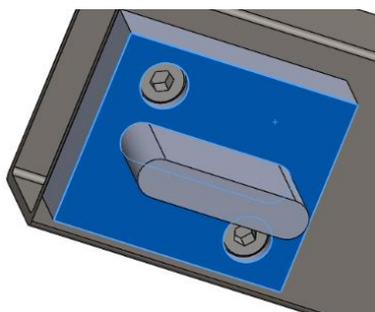
Fonte: Própria.

A área e o momento de inércia (I_q) da seção tubular foram obtidas a partir do catálogo TUBONASA. Em posse das dimensões da seção transversal, foi possível calcular o esforço normal devido à flexão (σ_{mf}) no ponto crítico à distância máxima ($y=10\text{mm}$) do eixo neutro da barra de acordo com Hibbeler (2010). Este valor se encontra abaixo da tensão admissível (206,7 MPa):

$$\sigma_{mf} := \frac{M \cdot y}{I_q} = 7.58 \text{ MPa}$$

Por fim, pôde-se calcular a tensão normal nas bases de encaixe de nylon. As dimensões foram definidas visando um bom posicionamento dos parafusos e economia de material. O encaixe pode ser visualizado na Figura 81.

Figura 81 - Encaixe oblongo na base



Fonte: Própria.

Com a área (A_n), foi possível calcular a tensão compressiva nas bases (σ_n). A carga foi igualmente dividida entre os dois encaixes presentes. O valor de tensão encontrado apresentou-se abaixo do admissível (93MPa).

$$A_n := 824.76 \text{ mm}^2 \quad \sigma_n := \frac{No}{2 A_n} = 0.082 \text{ MPa}$$

O dimensionamento da rosca, onde ficará alojado o pino da haste interna, é necessário para definição do tipo de rosca que deve ser fabricada. Algumas dimensões já foram definidas anteriormente, como o diâmetro do pino e o comprimento máximo do orifício rosqueado. O método que utiliza o conjunto macho e cossinete foi escolhido para a fabricação da rosca, uma vez que é simples e de baixo custo, sendo este comumente encontrado nas oficinas em geral.

Antes de entrar no dimensionamento da rosca, consolidou-se as dimensões relevantes no Quadro 28 abaixo.

Quadro 28 - Dados dimensionais

Elementos	Diam. Interno (mm)	Espessura (mm)	Diam. Externo (mm)
Tubo Interno	32,52	1,2	34,92
Pino	-	-	6
Tubo Externo	35,70	1,2	38,10

Fonte: Própria.

Para o dimensionamento da rosca, foi seguida uma sequência de passos que definiu uma por uma as medidas chaves do rosqueamento do pino:

1º Passo: Padrão e geometria da rosca

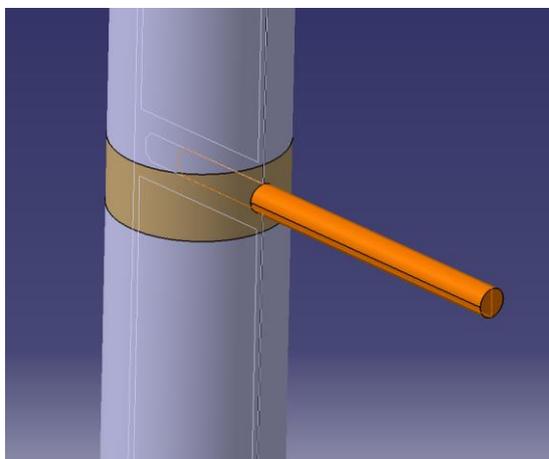
A rosca selecionada terá de ter um padrão e uma medida. A seguir estes dados são expostos:

- Padrão Métrico
- Devido ao pino já possuir um diâmetro externo de 6 mm foi selecionado uma rosca M6.

2º Passo: Seleção do material do pino / alojamento do pino “bucha”

A Figura 82 abaixo mostra uma vista geral do posicionamento das partes no sistema do pino rosqueado. A seleção do material é crucial pois é o elemento que impede o deslizamento relativo entre o tubo externo e interno durante a operação.

Figura 82 - Modelo Virtual do Tubo Interno



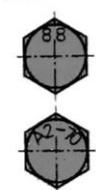
Fonte: Própria.

- Material do pino (zona laranja) - Aço SAE 1045 – Adotado devido por apresentar boa resistência mecânica, resistência à abrasão e usinabilidade.
- Dado relevante: Limite de Resistência a Tração (LRT): 585 MPa
- Material da “buchá” (zona bege) - Aço SAE 1012 – Selecionado por ser compatível com o material dos tubos interno e externo.

3º Passo: Verificação da classe de resistência do parafuso

Uma classe de 5.8 foi obtida conforme a tabela normativa da DIN abaixo (Figura 83).

Figura 83 - Classes de Resistência para Parafusos de Aço



Características do material	Classes de resistência para parafusos de								
	aços-carbono e aços-liga					aços inoxidáveis ¹⁾			
Resist. à tração R_m em N/mm ²	5.8	6.8	8.8	9.8	10.9	12.9	A2-50	A4-50	A2-70
Limite de elast. R_e em N/mm ²	500	600	800	900	1000	1200	500	500	700
Alongamento A em %	10	8	12	10	9	8	20	20	13

¹⁾ Os fatores do material são válidos para roscas \leq M20.

Fonte: Fischer, 2011.

4º Passo: Cálculo da profundidade mínima de parafusamento (PMP)

Para dimensionar o orifício no qual o parafuso será rosqueado, é necessário saber qual é a mínima profundidade que deverá ter. Da Figura 84 se obtém um valor para a profundidade mínima.

Figura 84 - Verificações Dimensionais para o Furo de Parafusamento

Área de aplicação	Profundidade mínima de parafusamento l_p ¹⁾ para rosca normal e classe de resistência			
	3.6, 4.6	4.8...6.8	8.8	10.9
$R_m \leq 400$ N/mm ²	$0,8 \cdot d$	$1,2 \cdot d$	–	–
Aço estrutural $R_m = 400 \dots 600$ N/mm ²	$0,8 \cdot d$	$1,2 \cdot d$	$1,2 \cdot d$	–
$R_m > 600 \dots 800$ N/mm ²	$0,8 \cdot d$	$1,2 \cdot d$	$1,2 \cdot d$	$1,2 \cdot d$
$R_m > 800$ N/mm ²	$0,8 \cdot d$	$1,2 \cdot d$	$1,0 \cdot d$	$1,0 \cdot d$
Ferro fundido	$1,3 \cdot d$	$1,5 \cdot d$	$1,5 \cdot d$	–
Ligas de cobre	$1,3 \cdot d$	$1,3 \cdot d$	–	–
Ligas de alumínio fundido	$1,6 \cdot d$	$2,2 \cdot d$	–	–
Ligas de alumínio endurecido	$0,8 \cdot d$	$1,2 \cdot d$	$1,6 \cdot d$	–
Ligas de alumínio não endurecido	$1,2 \cdot d$	$1,6 \cdot d$	–	–
Plásticos	$2,5 \cdot d$	–	–	–

$x = 3 \cdot P$ (passo da rosca)
 e_1 conforme DIN 76, página 89

¹⁾ Profundidade de parafusamento l_p para rosca fina = $1,25 \cdot$ profundidade para rosca normal

Fonte: Fischer, 2011.

A partir do quadro vemos que a profundidade mínima de parafusamento PMP = $1,2d$ onde o diâmetro $d = 6\text{mm}$. Temos então que $PMP = 7,2\text{ mm}$. A tabela nos diz que o comprimento de rosca livre $x = 3P$ onde P (passo) = 1 mm logo, $x = 3\text{ mm}$.

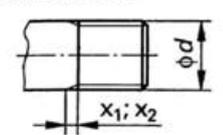
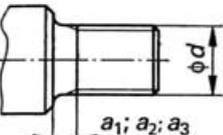
5º Passo: Verificação do comprimento e_1

A Figura 85 indica o fator e_1 , que é a folga não rosqueada que se tem no orifício no qual será parafusado o pino. Vê-se que para uma rosca M6 o comprimento e_1 é $5,1\text{mm}$.

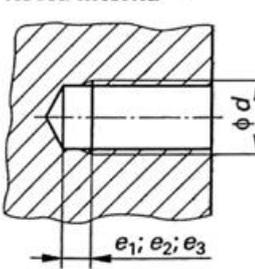
Figura 85 - Verificação do Comprimento e_1

Terminais de roscas métricas ISO Cf. DIN 76-1 (2004-06)

Rosca externa

Rosca interna



Passo 1 P	Rosca norma ISO d	Terminal de rosca ²			Passo 1 P	Rosca norma ISO d	Terminal de rosca ²		
		x_1 max.	a_1 max.	e_1			x_1 max.	a_1 max.	e_1
0,2	-	0,5	0,6	1,3	1,25	M8	3,2	3,75	6,2
0,25	M1	0,6	0,75	1,5	1,5	M10	3,8	4,5	7,3
0,3	-	0,75	0,9	1,8	1,75	M12	4,3	5,25	8,3
0,35	M1,6	0,9	1,05	2,1	2	M16	5	6	9,3
0,4	M2	1	1,2	2,3	2,5	M20	6,3	7,5	11,2
0,45	M2,5	1,1	1,35	2,6	3	M24	7,5	9	13,1
0,5	M3	1,25	1,5	2,8	3,5	M30	9	10,5	15,2
0,6	-	1,5	1,8	3,4	4	M36	10	12	16,8
0,7	M4	1,75	2,1	3,8	4,5	M42	11	13,5	18,4
0,75	-	1,9	2,25	4	5	M48	12,5	15	20,8
0,8	M5	2	2,4	4,2	5,5	M56	14	16,5	22,4
1	M6	2,5	3	5,1	6	M64	15	18	24

1) Para roscas finas, as dimensões do terminal de rosca são selecionadas de acordo com o passo P.

2) Regra, vale sempre que não houver outras especificações.
Se for necessário um curto terminal de rosca, aplica-se:
 $x_2 = 0,5 \cdot x_1$; $a_2 = 0,67 \cdot a_1$; $e_2 = 0,625 \cdot e_1$
Para terminais de rosca longos vale:
 $a_3 = 1,3 \cdot a_1$; $e_3 = 1,6 \cdot e_1$

Fonte: Fischer, 2011.

6º Passo: Cálculo do comprimento de rosca do pino (LRP)

- Comprimento mínimo de rosca (PMP) = $7,2\text{ mm}$
- Comprimento de segurança adotado (S) = $12,8\text{ mm}$
- $LRP = PMP + S = 20\text{ mm}$

Considerações finais

Escolhido o padrão de rosca e seu comprimento, é possível partir para a fabricação. Não se faz necessário definir as dimensões de todas as partes da rosca uma vez que o processo de fabricação designado é o rosqueamento com macho e cossinete, que têm padrão definido, neste caso M6 com 1mm de passo. A Figura 87 evidencia que o diâmetro do orifício inicial a ser usinado para usar o macho é de 5 mm.

Para poder parafusar o pino devidamente, uma fenda será usinada na face superior dele, de modo a permitir aperto por meio de chave de fenda. É aconselhável que ainda haja uma trava química na hora da montagem para assegurar que o pino não perca torque de fixação durante a operação.

Figura 87 - Passo, rasgo passante e rasgo para rosca ISO

Designação da rosca $d = D$	Avanço P	\varnothing dos flancos $d_2 = D_2$	\varnothing útil		Prof. do filete		Arredondamento R	Seção transversal sob tensão S mm ²	\varnothing da broca ²⁾	Abertura da chave sextavada ³⁾
			Rosca externa d_3	Rosca interna D_1	Rosca externa h_3	Rosca interna H_1				
M 1	0,25	0,84	0,69	0,73	0,15	0,14	0,04	0,46	0,75	-
M 1,2	0,25	1,04	0,89	0,93	0,15	0,14	0,04	0,73	0,95	-
M 1,6	0,35	1,38	1,17	1,22	0,22	0,19	0,05	1,27	1,25	3,2
M 2	0,4	1,74	1,51	1,57	0,25	0,22	0,06	2,07	1,6	4
M 2,5	0,45	2,21	1,95	2,01	0,28	0,24	0,07	3,39	2,05	5
M 3	0,5	2,68	2,39	2,46	0,31	0,27	0,07	5,03	2,5	5,5
M 4	0,7	3,55	3,14	3,24	0,43	0,38	0,10	8,78	3,3	7
M 5	0,8	4,48	4,02	4,13	0,49	0,43	0,12	14,2	4,2	8
M 6	1	5,35	4,77	4,92	0,61	0,54	0,14	20,1	5,0	10
M 8	1,25	7,19	6,47	6,65	0,77	0,68	0,18	36,6	6,8	13
M 10	1,5	9,03	8,16	8,38	0,92	0,81	0,22	58,0	8,5	16
M 12	1,75	10,86	9,85	10,11	1,07	0,95	0,25	84,3	10,2	18

Fonte: Fischer, 2011.