

**UNIVERSIDADE DE CAXIAS DO SUL  
ÁREA DO CONHECIMENTO DE CIÊNCIAS EXATAS E ENGENHARIAS**

**RAFAEL LUIS PEREIRA**

**DESENVOLVIMENTO DE UM DISPOSITIVO PARA TESTE DE RESISTÊNCIA  
MECÂNICA PARA ENGATES DE REBOQUE**

**CAXIAS DO SUL**

**2023**

**RAFAEL LUIS PEREIRA**

**DESENVOLVIMENTO DE UM DISPOSITIVO PARA TESTE DE RESISTÊNCIA  
MECÂNICA PARA ENGATES DE REBOQUE**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao curso de Engenharia Mecânica da Universidade de Caxias do Sul, como requisito parcial à obtenção do grau de Bacharel em Engenharia Mecânica.

Orientador Prof. Dr. Eng. Marcos Alexandre Luciano

**CAXIAS DO SUL**

**2023**

**RAFAEL LUIS PEREIRA**

**DESENVOLVIMENTO DE UM DISPOSITIVO PARA TESTE DE RESISTÊNCIA  
MECÂNICA PARA ENGATES DE REBOQUE**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao curso de Engenharia Mecânica da Universidade de Caxias do Sul, como requisito parcial à obtenção do grau de Bacharel em Engenharia Mecânica.

Orientador Prof. Dr. Eng. Marcos Alexandre Luciano

**Banca Examinadora**

---

Prof. Dr. Eng. Marcos Alexandre Luciano  
Universidade de Caxias do Sul - UCS

---

Prof. Espec. Eng. Rafael Tronca  
Universidade de Caxias do Sul - UCS

---

Prof. Me. Eng. Adelair Lino Colombo  
Universidade de Caxias do Sul - UCS

## **AGRADECIMENTOS**

Primeiramente agradeço em especial aos meus pais Luis Antônio Pereira e Zilda Bolson Pereira, que sempre me apoiaram em todas as decisões, acompanham toda a minha trajetória e são a base de toda minha formação, como pessoa, como profissional e como acadêmico. Demais familiares também foram presentes nestas etapas.

À minha noiva, Mônica Daneluz Rodrigues, que sempre me incentivou em todos os momentos, muitas vezes cedendo espaço para que houvesse dedicação exclusiva nos estudos.

Faço um agradecimento ao Professor e orientador Marcos Alexandre Luciano, que com sua experiência e conhecimento forneceu total apoio para que este projeto fosse escrito e concretizado, tornando possível a realização do mesmo junto à Universidade.

Aos colegas de trabalho, que disponibilizaram tempo, ajuda e total apoio. A empresa por compartilhar informações e recursos necessários para este desenvolvimento, e aos colegas de graduação que compartilharam bons momentos comigo durante toda a trajetória acadêmica.

*“A mente que se abre a uma nova ideia  
jamais voltará ao seu tamanho original”  
(Albert Einstein)*

## RESUMO

O engate de reboque é um acessório opcional, instalado em veículos e tem por finalidade rebocar *trailers* por meio do acoplamento entre ambos. Para que este produto seja comercializado, ele deve seguir a legislação brasileira de trânsito e algumas normativas como o INMETRO, que exigem que o mesmo seja submetido a testes de resistência mecânica, realizados por laboratórios certificados por meio de um dispositivo específico, suportando 2.000.000 de ciclos sem falhas. O objetivo deste trabalho é desenvolver um dispositivo para a realização de testes internos, com a finalidade da garantia da aprovação do produto, quando o mesmo for submetido ao laboratório para a certificação. Atualmente se tem o histórico de 34% de reprovação dos testes, gerando retrabalhos em projeto e nova submissão para certificação, agregando desperdício de recursos. 40% dos modelos vendidos ainda não estão homologados junto ao INMETRO. Após a avaliação dos requisitos de projeto e os modelos de engates do portfólio da empresa, foi desenvolvido o projeto do dispositivo que atende aos 96 modelos bem como a possibilidade de novos desenvolvimentos em relação ao tamanho total do engate de reboque, pois o dispositivo permite este ajuste linear do comprimento total do produto. A capacidade de carga também atende o requisito de todos os modelos já homologados para 1500 kg, e é capaz de realizar testes para o aumento do escopo da empresa para novos desenvolvimentos para o segmento de *pick up*'s de grande porte a qual a capacidade de reboque permissível é de 3500 kg.

Palavras-chave: Engate de reboque; Resistência mecânica; Dispositivo.

## **ABSTRACT**

The trailer hitch is an optional accessory, installed on vehicles and is intended to tow trailers through the coupling between the two. For this product to be sold, it must follow Brazilian traffic legislation and some regulations such as INMETRO, which require it to be subjected to mechanical resistance tests, carried out by certified laboratories using a specific device, supporting 2,000,000 of faultless cycles. The objective of this work is to develop a device for carrying out internal tests, with the purpose of guaranteeing the approval of the product, when it is submitted to the laboratory for certification. Currently, there is a record of 34% of test failures, generating rework in the project and new submission for certification, adding to the waste of resources. 40% of models sold are not yet approved by INMETRO. After evaluating the design requirements and the coupling models in the company's portfolio, the device design was developed that meets the 96 models as well as the possibility of new developments in relation to the total size of the trailer hitch, as the device allows this linear adjustment of the total length of the product. The load capacity also meets the requirement of all models already approved for 1500 kg, and is capable of carrying out tests to increase the company's scope for new developments for the large pick-up segment which has the permissible towing capacity is 3500 kg

**Keywords:** Trailer hitch; Mechanical resistance; Device

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1– Centro da esfera abaixo da linha paralela do ponto de fixação.....	19
Figura 2– Centro da esfera acima da linha paralela do ponto de fixação.....	20
Figura 3– Critério para ângulos de ensaio.....	20
Figura 4– Acoplamento entre esfera e suporte de tração.....	22
Figura 5– Esquema de um sistema hidráulico básico.....	23
Figura 6– Diagrama de sistema hidráulico básico.....	23
Figura 7– Imagem de uma válvula direcional proporcional.....	26
Figura 8– Válvula de Retenção.....	27
Figura 9– Tipos de atuadores de dupla ação.....	28
Figura 10- Acoplamento entre trailer e veículo.....	32
Figura 11- Fixação entre engate de reboque chassi do veículo. Modelo Hilux.....	33
Figura 12- Modelo CAD do Engate de Reboque com seus componentes numerados.....	34
Figura 13- Curva de produtos mais vendidos no ano de 2022.....	36
Figura 14– Fluxograma de trabalho.....	39
Figura 15- Vista isométrica – Dispositivo de Testes.....	41
Figura 16- Vista lateral esquerda base de fixação.....	41
Figura 17- Vista isométrica de base com junta parafusada.....	43
Figura 18- Diagrama de corpo livre para forças aplicadas.....	44
Figura 19- Tipo de junta soldada.....	47
Figura 20- Haste móvel para fixação dos Engates de Reboque.....	52
Figura 21- Fixação do dispositivo no trilho.....	53
Figura 22- Torre de acoplamento do atuador em ângulo.....	54
Figura 23- Análise estática da estrutura.....	55
Figura 24- Ponto concentrador de tensão.....	55
Figura 25- Análise de fadiga do dispositivo.....	56
Figura 26- Tamanho de solda com base na espessura de metal-base.....	63
Figura 27- Categorias de solda.....	63
Figura 28- Estrutura de fixação dos engates de reboque.....	64

## LISTA DE QUADROS

Quadro 1- Lista de materiais do engate de reboque .....	34
Quadro 2– Engates de reboque mais vendidos .....	35
Quadro 3– Custos de ensaios de tração de 2017 a 2022.....	38
Quadro 4- Relação de dimensões máximas aplicadas .....	43
Quadro 5- Resistências mecânicas de parafusos Classe 8.8.....	44
Quadro 6- Relação entre força e frequência do projeto.....	50
Quadro 7- Itens de fixação utilizados em junta parafusada.....	62

## **LISTA DE SIGLAS**

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
ANFAVEA	Associação Nacional dos Fabricantes de Veículos Automotores
CONTRAN	Conselho Nacional de Trânsito
INMETRO	Instituto Nacional de Metrologia, Normalização e Qualidade Ind.
PBT	Peso Bruto Total
SUV	Sport Utility Vehicle
TRAILER	Reboque – tradução do inglês

## LISTA DE SÍMBOLOS

$\alpha$	Ângulo de ensaio
$D$	Força longitudinal
$m_M$	Massa total máxima de projeto do veículo de tração
$m_R$	Massa total máxima do reboque
$F_{stat}$	Carga admissível sobre o engate de reboque transmitida pela esfera de acoplamento
$F_{res}$	Força de ensaio resultante
$h$	Distância vertical entre o centro da esfera e o centro do suporte da esfera de acoplamento
$i$	Distância horizontal entre o centro da esfera e o ponto de fixação da esfera de acoplamento
$0_1$	Categoria de reboques com um eixo com massa total máxima que não exceda 750 Kg
$0_2$	Categoria de reboques com um eixo com massa total máxima que não exceda 3500 Kg
N	Newton
$F_p$	Força de prova
$F_i$	Força de pré-carga
T	Torque
M	Momento
$F_{st}$	Força de separação da junta
$F_a$	Força de atrito disponível
$F_s$	Fator de segurança
$\sigma_{adm}$	Variação de tensão de cisalhamento permissível
$P_{max}$	Carga máxima
$\sigma_{margem}$	Tensão de margem
$N_{margem}$	Fator de segurança para margem de solda
$A_t$	Área de tensão de tração
$S_p$	Resistência mínima de prova

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO.....</b>	<b>14</b>
1.1	JUSTIFICATIVA .....	15
1.2	OBJETIVOS .....	16
<b>1.2.1</b>	<b>Objetivo Geral.....</b>	<b>16</b>
<b>1.2.2</b>	<b>Objetivos específicos .....</b>	<b>16</b>
<b>2</b>	<b>REFERENCIAL TEÓRICO.....</b>	<b>17</b>
2.1	RESOLUÇÃO CONTRAN 937 (2022) .....	17
2.2	PORTARIA DO INMETRO - N° 309.....	17
2.3	NBR ISO 3853:1998 – ENSAIO DE RESISTÊNCIA MECÂNICA.....	18
2.4	HIDRÁULICA – DEFINIÇÕES BÁSICAS PARA O PROJETO.....	22
2.5	GRUPO DE GERAÇÃO OU BOMBAS.....	24
2.6	GRUPO DE CONTROLE OU VÁLVULAS .....	25
<b>2.6.1</b>	<b>Válvula direcional .....</b>	<b>25</b>
<b>2.6.2</b>	<b>Válvula direcional proporcional.....</b>	<b>26</b>
<b>2.6.3</b>	<b>Válvula de Retenção .....</b>	<b>27</b>
2.7	GRUPO DE ATUAÇÃO OU ATUADORES .....	27
2.8	UTILIZAÇÃO DE CÉLULAS DE CARGA EM ATUADORES HIDRÁULICOS	29
2.9	SISTEMA DE FILTRAGEM .....	29
2.10	DIMENSIONAMENTO DE SISTEMAS HIDRÁULICOS .....	30
<b>3</b>	<b>MATERIAIS E MÉTODOS .....</b>	<b>32</b>
3.1	CONTEXTUALIZAÇÃO DO PROBLEMA .....	32
<b>3.1.1</b>	<b>Apresentação do produto .....</b>	<b>32</b>
<b>3.1.2</b>	<b>Detalhamento do Produto .....</b>	<b>33</b>
<b>3.1.3</b>	<b>Validação e portfólio de produtos .....</b>	<b>35</b>
<b>3.1.4</b>	<b>Custos de validação.....</b>	<b>37</b>
3.2	MÉTODO .....	39
<b>4</b>	<b>DESENVOLVIMENTO DO TRABALHO .....</b>	<b>40</b>
4.1	REQUISITOS DE PROJETO.....	40
4.2	PROJETO DO DISPOSITIVO .....	40
<b>4.2.1</b>	<b>Determinação das condições de contorno .....</b>	<b>42</b>
<b>4.2.2</b>	<b>Dimensionamento de junta parafusada .....</b>	<b>43</b>

<b>4.2.3</b>	<b>Dimensionamento de junta soldada .....</b>	<b>47</b>
4.3	SELEÇÃO DOS COMPONENTES .....	49
<b>4.3.1</b>	<b>Atuador eletromecânico .....</b>	<b>49</b>
<b>4.3.2</b>	<b>Integração dos componentes .....</b>	<b>51</b>
4.4	RESULTADOS DE PROJETO .....	51
<b>4.4.1</b>	<b>Análise estrutural.....</b>	<b>54</b>
<b>5</b>	<b>CONCLUSÃO.....</b>	<b>57</b>
	<b>REFERÊNCIAS .....</b>	<b>59</b>
	<b>OBRAS CONSULTADAS .....</b>	<b>61</b>

## 1 INTRODUÇÃO

A indústria automotiva tem crescido cada vez mais ao longo dos anos e um reflexo é a quantidade de veículos e seus inúmeros modelos. O setor automotivo tem uma participação importante para a indústria. No Brasil, em 2021 obteve-se a produção de 2.248.253 veículos (ANFAVEA 2021) e em 2022, 2.369.659 veículos (ANFAVEA 2022), um acréscimo de 5,12% na produção. Já na participação de empregos, houve um acréscimo de 1,36% com 102.444 pessoas empregadas no setor em 2022, contra 101.050 pessoas em 2021 (ANFAVEA 2021/2022).

Estes números também são expressivos quando se fala em *pick up's* e SUV's. Especificamente estes modelos de veículos são utilizados tanto para uso pessoal, como de trabalho, são muito requisitados quando há necessidade de rebocar *trailers*, entre outros.

Com este intuito, a indústria oferece dispositivos de acoplamento mecânico (engates de reboque) para os diversos modelos de veículos existentes. Deve-se obedecer a alguns critérios para o fornecimento destes dispositivos, como a obtenção e cumprimento da norma regulamentadora NBR ISO 3853 (1998), que tem como objetivo a padronização e validação de engates de reboque. Outro requisito a ser considerado, é a Resolução Contran nº937 (2022) que tem por objetivo regulamentar o dispositivo de acoplamento mecânico (engate de reboque) para veículos rodoviários com peso bruto total até 3500 kg. A Resolução também cita em seu Art. 2º que os engates deverão ser produzidos por empresas registradas junto ao INMETRO (Instituto Nacional de Metrologia, Normalização e Qualidade Industrial).

O artigo 6º da portaria 309 de 5 de julho de 2021 do INMETRO, cita que os fornecedores de engates de reboque devem submeter o protótipo do produto ao ensaio de fadiga (tração e compressão). Este ensaio deve ser realizado e emitido um laudo de comprovação de resistência a 2.000.000 de ciclos com a carga proposta de tração por um laboratório certificado com a Norma ISO/IEC 17025 (2017).

Com a necessidade da submissão dos protótipos ao teste, objetiva-se a implementação de um dispositivo capaz de ensaiar os produtos com as devidas cargas a fim de uma avaliação criteriosa sobre o projeto do mesmo.

## 1.1 JUSTIFICATIVA

Com objetivo de agilidade na obtenção dos resultados e redução de custo, este trabalho será desenvolvido junto à empresa Keko Acessórios S/A, situada em Flores da Cunha – RS desde 2011 com uma planta fabril de 21.000 m<sup>2</sup> e aproximadamente 470 profissionais diretos. Originada em Caxias do Sul – RS no ano de 1986 como uma empresa familiar, hoje lidera o setor nacional com produtos de marca própria para inúmeras marcas de automóveis consolidadas e fornecimento direto para as linhas de produção de montadoras, como Toyota, Stellantis, GM, Volkswagen, HPE, Honda e Renault. Também conta com a participação em diversos países no setor de acessórios automotivos.

O trabalho consiste na implementação de um dispositivo de ensaio mecânico para engates de reboque, tendo em vista a conclusão e validação do projeto do produto garantindo que a certificação pelo laboratório externo será eficaz. Enfrenta-se por vezes, a reprovação de um produto devido a falhas antes do atingimento mínimo de ciclos, o que implica em melhorias do projeto e um novo ensaio laboratorial. O custo mínimo para cada ensaio está em aproximadamente R\$ 6.000,00 e quando ocorre uma falha, este custo se multiplica pelas quantidades necessárias de novos ensaios. Visto que o engate de reboque se trata de um acessório que pode comprometer a segurança, se faz necessário a aplicação do teste a quantidade de vezes necessárias, até a validação efetiva do produto, garantindo que não irá falhar em campo evitando acidentes.

Com o dispositivo de testes implementado, a empresa, terá a condição de realizar os testes em protótipos e após a confirmação de que o modelo resiste aos 2.000.000 de ciclos com a carga de tração estipulada em projeto, o modelo testado estará validado internamente podendo então ser confeccionado outro protótipo para envio ao laboratório para a validação final. Atualmente a empresa dispõe de 47 modelos de engates de reboque já homologados junto ao INMETRO. Pretende-se aumentar este escopo em no mínimo 100% ao longo dos próximos 2 anos.

## 1.2 OBJETIVOS

### 1.2.1 Objetivo Geral

Desenvolver um dispositivo para teste mecânico em engates de reboque, para validação experimental da carga de tração de projeto.

### 1.2.2 Objetivos específicos

- a) Pesquisar os modelos de todos engates de reboque.
- b) Pesquisar a carga de tração dos modelos.
- c) Determinar os requisitos de projeto para o dispositivo.
- d) Desenvolvimento do projeto do dispositivo para ensaio experimental junto à empresa atendendo os requisitos da Norma ABNT NBR ISO 3853:1998.

## 2 REFERENCIAL TEÓRICO

Este capítulo apresenta os conceitos teóricos utilizados para o desenvolvimento do projeto do sistema de ensaios para engates de reboque. São apresentadas as normas vigentes regulamentadoras para a produção de Engates de Reboque, sendo elas, Resolução do CONTRAN 937 (2022), Portaria 309 INMETRO (2021) e NBR 3853 (1998), e por fim, os conceitos hidráulicos necessários para o projeto.

### 2.1 RESOLUÇÃO CONTRAN 937 (2022)

A segurança e qualidade são fatores primordiais a serem considerados quando se estabelece um projeto automotivo, seja ele de fabricação de um veículo por completo, componentes obrigatórios ou até mesmo acessórios. Na indústria automotiva, a participação nas leis de trânsito é imprescindível, devendo cumpri-las integralmente em seus âmbitos.

De acordo com a lei federal Nº 9.503, DE 23 DE SETEMBRO DE 1997, no Art. 12. Compete ao CONTRAN– “Estabelecer as normas regulamentares referidas neste Código e as diretrizes da Política Nacional de Trânsito”.

Esta resolução dispõe sobre o dispositivo de acoplamento mecânico para reboque (engate) utilizado em veículos com peso bruto total de até 3500 kg, que possua capacidade de tracionar reboques declarada pelo fabricante ou importador, que não possuam engate de reboque como equipamento original de fábrica. Os engates utilizados em veículos automotores com até 3500 kg de PBT devem ser produzidos por empresas registradas junto ao INMETRO. (BRASIL, 2022).

A aprovação do produto fica condicionada ao cumprimento de requisitos estabelecidos em regulamento do INMETRO, que deve prever, no mínimo, a apresentação pela empresa fabricante de engate, de relatório de ensaio, realizado em protótipo de cada modelo de dispositivo de acoplamento mecânico, proveniente de laboratório independente, comprobatório de atendimento dos requisitos estabelecidos nas Normas ABNT ISO 3732, NBR ISO 3853 e NBR 16122.

### 2.2 PORTARIA DO INMETRO - Nº 309

O INMETRO tem o papel de qualificar produtos e serviços, visando a garantia da qualidade e segurança dos mesmos no momento de sua fabricação e/ou prestação de serviços.

Com o intuito da aprovação técnica para o fornecimento de engates de reboque, o INMETRO constituiu a Portaria N° 309 (2021), que visa a regulamentação das indústrias privadas para a fabricação dos engates. Nesta regulamentação, a portaria exige que os fabricantes disponibilizem a documentação comprobatória da empresa, profissionais e produto para análise e julgamento do órgão. Para regularização do produto, se exige ao mínimo a formalização documental dos processos de fabricação; procedimento(s) de fabricação; procedimento(s) de controle da qualidade; manual do proprietário; sistemática de assistência técnica; manual de manutenção; termo de garantia; procedimento(s) de instalação; relatório(s) de ensaio do(s) protótipo(s); plaqueta inviolável e memorial descritivo.

O item “Relatório (s) de ensaio do (s) protótipo (s)”, refere-se ao ensaio de fadiga que deve atender a NBR ISO 3583.

A submissão da documentação é realizada através do certificado digital da empresa fabricante. Após a submissão, o órgão avalia e julga a documentação dentro de um prazo estipulado, emitindo laudo de reprovação sujeita a ajustes para posterior aprovação, ou aprovação direta caso a documentação atenda plenamente os requisitos. Se aprovado, registra-se a indústria fabricante com um número de registro de objeto e visualização pública dos dados da empresa bem como os modelos homologados no endereço eletrônico do INMETRO.

### 2.3 NBR ISO 3853:1998 – ENSAIO DE RESISTÊNCIA MECÂNICA

A NBR ISO 3853:1998 – Veículos Rodoviários – Dispositivos de acoplamento mecânico do veículo de tração para reboques – moradia – (*trailers*) e reboques leves – Ensaio de resistência mecânica, define que dispositivos de acoplamento mecânico são dispositivos que incluem suportes e esfera de acoplamento. Esta norma estabelece: objetivo; referências normativas; definições; simbologia, condições gerais; ensaio de resistência do dispositivo de acoplamento mecânico; condições específicas para diferentes dispositivos de acoplamento mecânico; critério de resistência; dispositivos de engate mecânico soldado e marcações.

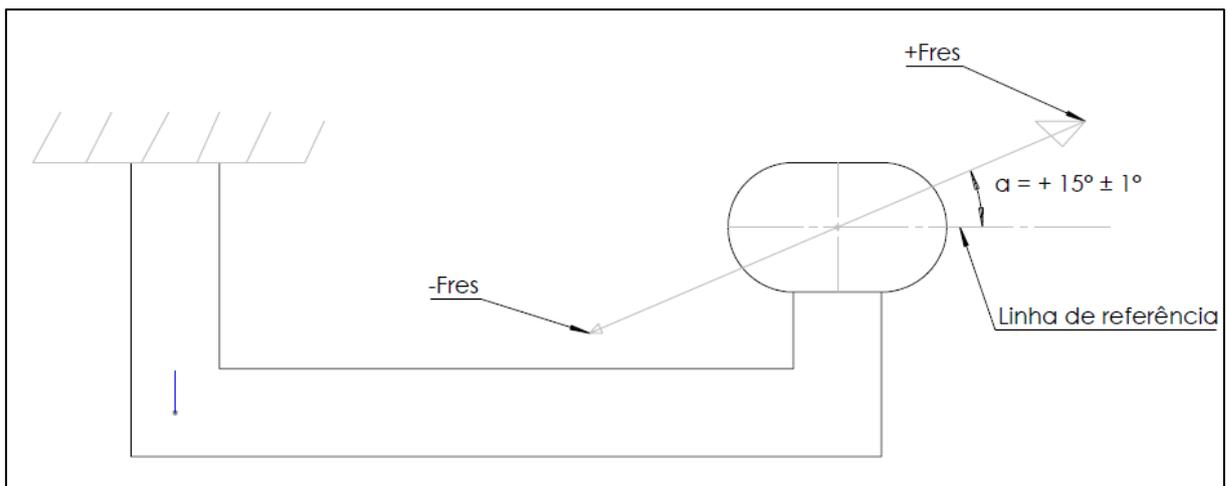
O ensaio de resistência mecânica, deve ser realizado em um dispositivo de testes em bancada ou superfície rígida com premissa básica, a ancoragem dos pontos de fixação do produto ao veículo de tração. O fabricante do veículo deve fornecer estes dados ou a empresa fabricante de engates, deve submeter uma análise no veículo para atender plenamente os pontos de fixação do produto. Após o protótipo do produto com os pontos de fixação definidos, o mesmo deve ser acoplado no dispositivo de testes, replicando a montagem no veículo de tração.

Antes de se iniciar o teste, existem alguns fatores a serem determinados, como a escolha da força de aplicação, o ângulo e frequência.

Segundo a ISO 3853 (1998), os ângulos do método de ensaio são derivados do diagrama de distribuição de forças, que é o resultado de ensaios em rodovias com várias combinações de veículos de passageiros e reboques. Em simplificação do procedimento, foram selecionados dois ângulos diferentes para considerar a carga estática vertical e dinâmica, onde deve ser considerado um ângulo  $\alpha = +15^\circ \pm 1^\circ$  se o centro da esfera estiver abaixo da linha paralela do ponto de fixação. Figura 1. Nos casos em que o centro da esfera estiver acima da linha paralela do ponto de fixação, o ensaio deverá obedecer ao ângulo  $\alpha = -15^\circ \pm 1^\circ$ . Figura 2.

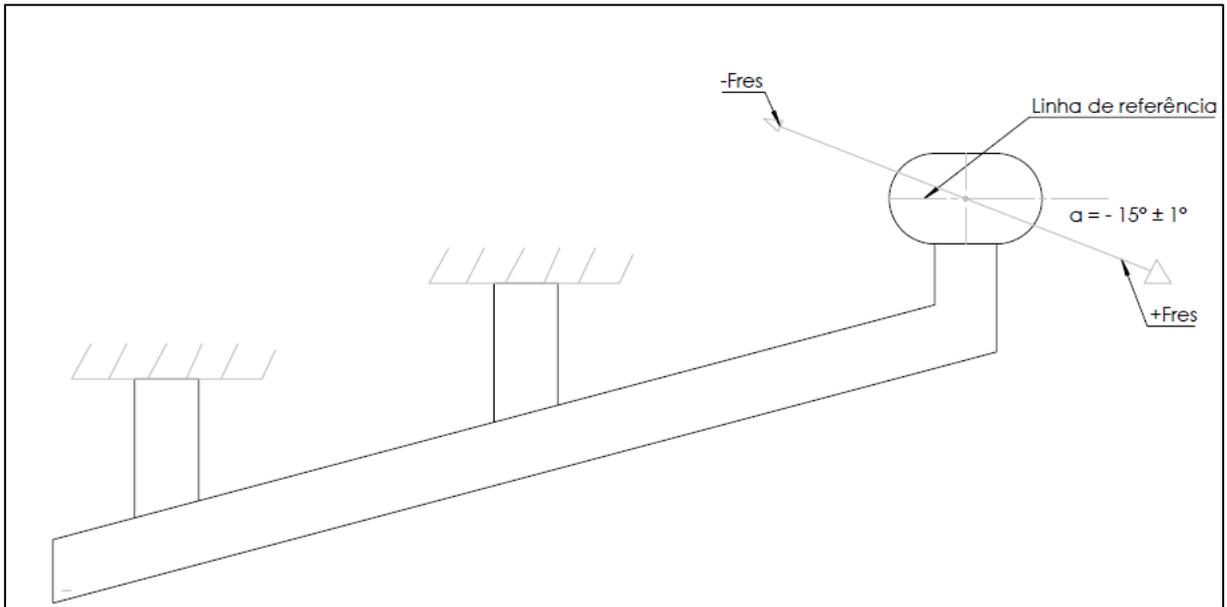
Uma linha de referência deve ser estipulada no centro da esfera de acoplamento a qual será comparada com uma linha paralela no ponto de fixação do veículo para determinação do ângulo da força a ser aplicada no ensaio. Figura 3.

Figura 1– Centro da esfera abaixo da linha paralela do ponto de fixação



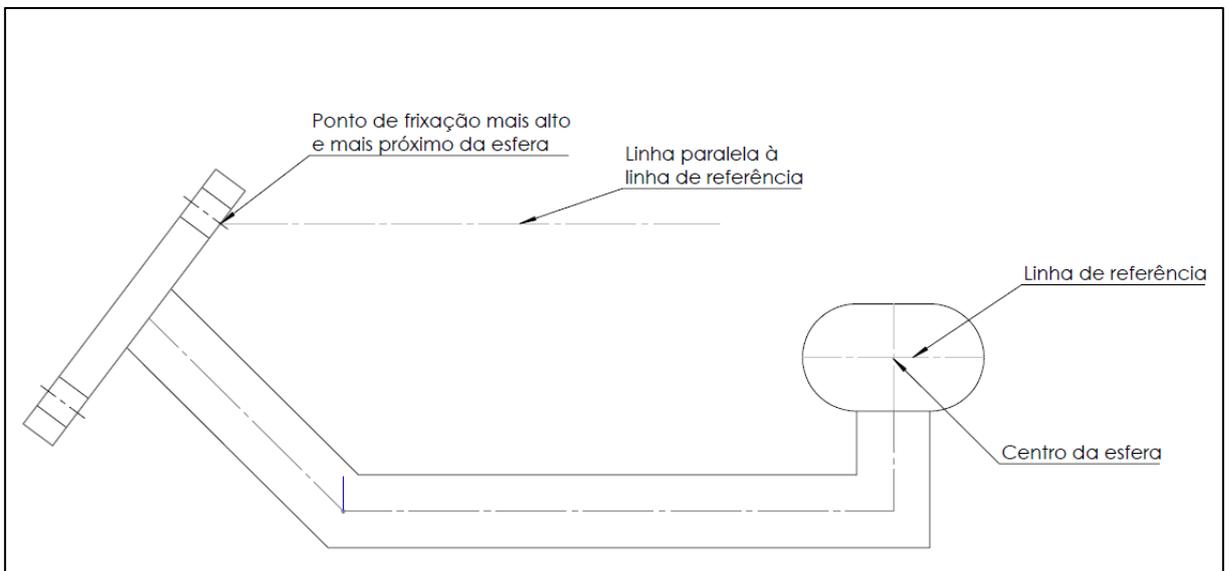
Fonte: Adaptado de ISO 3853 (1998).

Figura 2– Centro da esfera acima da linha paralela do ponto de fixação



Fonte: Adaptado de ISO 3853 (1998).

Figura 3– Critério para ângulos de ensaio



Fonte: Adaptado de ISO 3853 (1998).

A carga a ser aplicada na esfera do acoplamento mecânico, também é estipulada conforme referencial normativo da ISO 3853 de 1998. A força de teste resultante ( $F_{res}$ ) a ser aplicada na esfera do engate de reboque, deve obedecer a amplitude de  $0,6D \pm 3\%$ , onde  $D$  é considerado o valor da força longitudinal (N), entre o veículo de tração e o reboque. A Equação

1 demonstra esta relação, onde a variável  $m_M$  refere-se à massa total máxima do veículo de tração e  $m_R$  a massa total do reboque. O termo  $g$  refere-se à aceleração da gravidade.

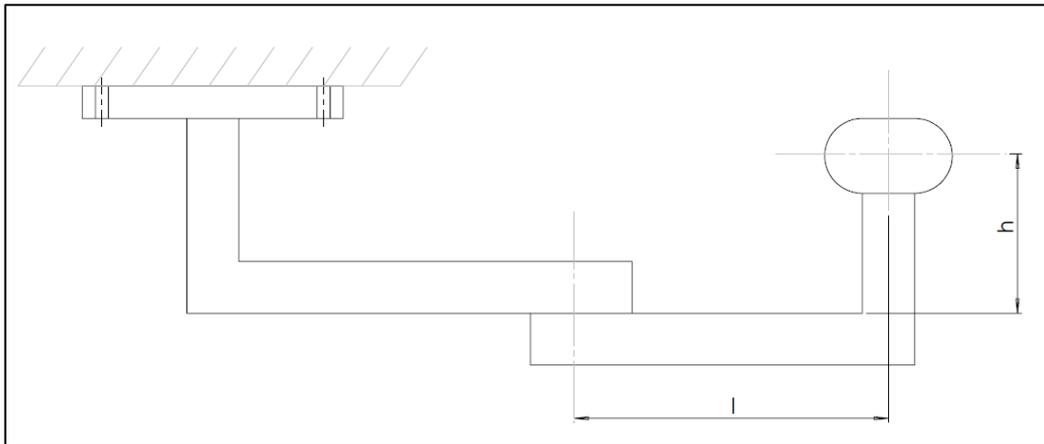
$$D = g \times \frac{m_M \cdot m_R}{m_M + m_R} \quad (1)$$

Nos casos em que a carga estática admissível for maior que  $0,12D$ , então o ângulo de ensaio deve ser alterado para  $20^\circ \pm 1^\circ$ . Para projeto em questão, são avaliados os componentes para hidráulicos que possam validar engates de reboque para tracionar *trailers* com até 3,5 toneladas

A aplicação da carga deve obedecer ao mais próximo possível de uma condição senoidal e em determinada frequência. Esta frequência pode ser estipulada de acordo com a condição e capacidade do equipamento de testes, ou até mesmo em relação ao tempo em que se deseja que o estudo seja realizado, não ultrapassando 35 Hz, a qual a Norma NBR ISO 3853:1998 regulamenta. Para o dimensionamento do projeto, deve-se levar em consideração de que quanto maior esta frequência, maior a velocidade do teste, implicando diretamente no tempo de duração do ensaio e capacidades dos componentes hidráulicos, visto que para maiores velocidades, se reduz o tempo de teste e também demanda-se maior fluxo de fluido no sistema.

Outro fator a ser considerado para a validação do teste, é a tolerância mínima e máxima das dimensões entre o centro esfera do acoplamento e sua base de fixação denominada como altura  $h$  sendo localizada no eixo  $y$ , bem como a distância entre o centro da esfera e o ponto de fixação entre a esfera e o suporte de tração, denominado com distância  $i$ , sendo localizada no eixo  $x$ . Ambas dimensões devem obedecer a tolerância de fabricação de 5 mm. A Figura 4 demonstra a disposição das dimensões  $h$  e  $i$  para os acoplamentos onde o centro da esfera está localizado abaixo da linha paralela ao ponto de fixação no veículo, formato de projeto o qual os engates a serem estudados se encontram.

Figura 4– Acoplamento entre esfera e suporte de tração



Fonte: Adaptado de ISO 3853 (1998).

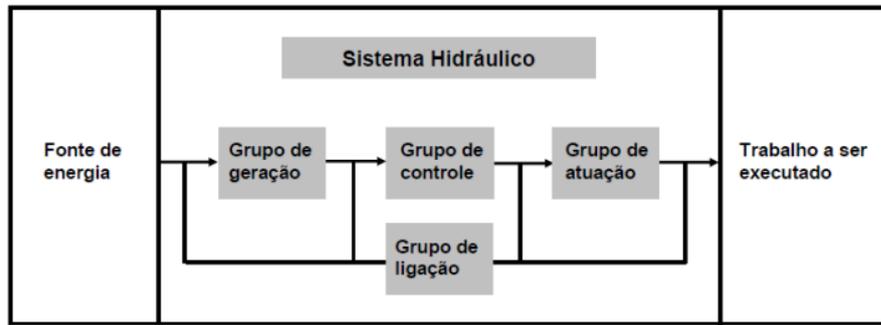
## 2.4 HIDRÁULICA – DEFINIÇÕES BÁSICAS PARA O PROJETO

Um sistema hidráulico é um conjunto de elementos físicos convenientemente associados que, utilizando um fluido como meio de transferência de energia, permite a transmissão e controle de forças e movimentos (LINSINGEN, 2013, p.17).

Para o dimensionamento de um projeto, deve-se levar em conta alguns fatores no momento da escolha do sistema de transmissão e controle de forças. Segundo Fialho (2012), os sistemas hidráulicos podem ser classificados de diversas maneiras, dentre elas, de acordo com a pressão, com a aplicação se em sistemas de pressão contínua ou em sistemas de pressão intermitente, quanto ao tipo de bomba se vazão constante ou variável e quanto ao controle de direção, se controladas por válvulas de uma ou mais vias.

Um sistema básico hidráulico, é composto ao mínimo um reservatório para o fluido, bomba, válvulas, um atuador e um sistema de filtros, onde o conjunto gera, controla e aplica potência hidráulica. Na Figura 5, evidencia-se o esquema básico de um sistema hidráulico que exige ao mínimo um grupo de geração, que tem por função transformar a potência mecânica em hidráulica, um grupo de controle, que se refere aos elementos que regem como a atuação será realizada, por exemplo, as válvulas, e um grupo de atuação que são os elementos que farão os movimentos do objetivo final do sistema, por exemplo, os cilindros. Já o grupo de ligação tem por função transportar o fluido entre todos os elementos. Para que o trabalho seja executado, o sistema necessita de uma fonte de energia.

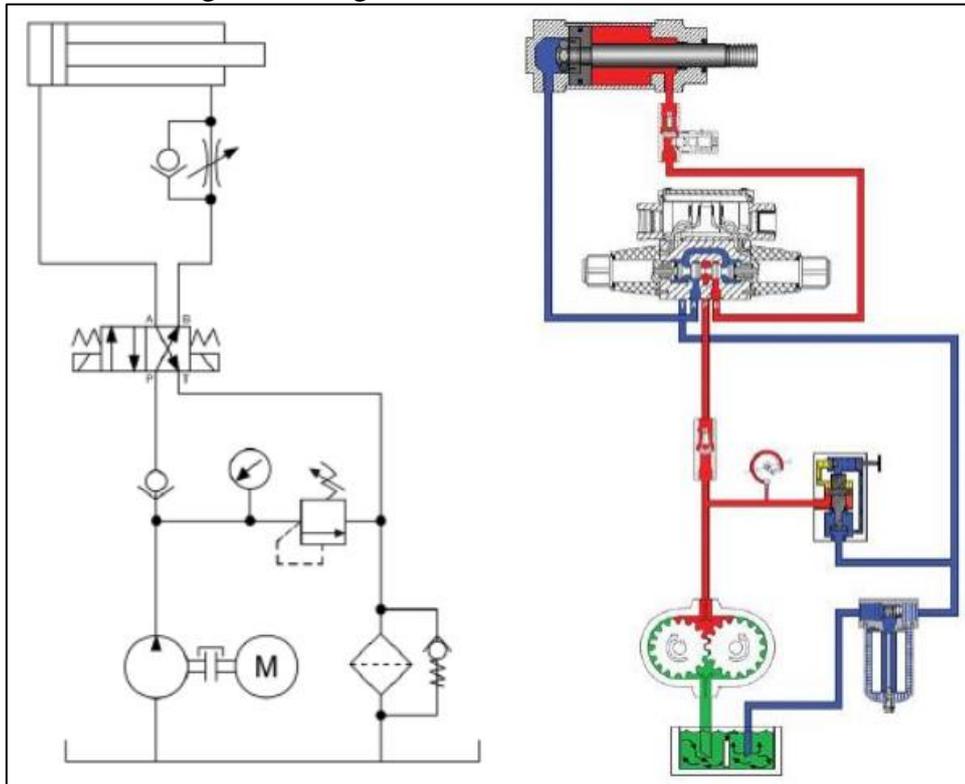
Figura 5– Esquema de um sistema hidráulico básico



Fonte: TRONCA, Módulo 4 – Sistema Hidráulicos e Pneumáticos UCS (2022).

A Figura 6, representa um diagrama de um sistema hidráulico básico conforme os grupos representados anteriormente. O sistema é composto por um cilindro, válvulas, tais como: controle de pressão, controle direcional e controle de vazão, bomba e reservatório de óleo. No grupo de ligação o fluido é evidenciado por cores, onde o a tubulação vermelha representa o sentido de trabalho do sistema onde o fluido está sob pressão, e a tubulação azul, representa o fluido despressurizado e enviado para o reservatório (verde), onde novamente será bombeado ao fluxo inicial. O sistema proposto contemplará ao mínimo os mesmos componentes deste diagrama, podendo ter acréscimo de componentes.

Figura 6– Diagrama de sistema hidráulico básico



Fonte: TRONCA, Módulo 4 – Sistema Hidráulicos e Pneumáticos UCS (2022).

A hidráulica torna-se vantajosa no segmento pesado, quando se trata de elevação de cargas pesadas ou até mesmo em prensas de alta capacidade para estampo de grandes peças. Devido a relação peso/potência ser baixa, transmitindo grandes forças e torques elevados com dimensões reduzidas. Otimiza-se também muitas vezes, o *layout* no ambiente da aplicação e até mesmo obtendo uma economia de peso em relação a outros sistemas quando compatíveis, no que pode ter impacto significativo em veículos por exemplo, que cada vez mais demandam redução de peso e conseqüentemente de consumo. Estes sistemas também oferecem grande flexibilidade na instalação dos elementos permitindo que fiquem próximos entre si ou não dependendo da disposição do espaço disponível no local da instalação. Permitem também a inversão rápida de movimento sob carga, ajustes de velocidade com precisão, são auto lubrificantes e com fácil proteção contra esforços excessivos. Além dos pontos positivos citados, estes sistemas também contam com algumas desvantagens, como um elevado custo inicial e comparado a outros sistemas compatíveis. O menor rendimento também é levado em consideração, tendo em vista os vazamentos internos nos componentes, perdas por atritos e transformações de energias.

Em uma indústria que tem por objetivo a manufatura de componentes metálicos que exigem operações simples de dobra, estampo entre outros, ou até mesmo operações mais complexas com utilização de robôs manipuladores, necessitam dos sistemas hidráulicos para seu funcionamento.

## 2.5 GRUPO DE GERAÇÃO OU BOMBAS

Bombas são máquinas geratrizes cuja finalidade é realizar o deslocamento de um líquido por escoamento. Sendo uma máquina geratriz, ela transforma o trabalho mecânico que recebe para o seu funcionamento em energia, que é comunicada ao líquido sob as formas de energia de pressão e cinética. (MACINTYRE, 2016, p. 38)

A missão de uma bomba é transferir energia a um líquido para permitir seu transporte em uma instalação. Isto implica normalmente em um aumento da pressão na saída da bomba que pode se relacionar com o fluxo que se está transportando em forma de curva característica. Esta curva característica é própria de cada bomba, e depende da sua forma e princípio de funcionamento, de seu tamanho, da velocidade do acionamento e também algumas propriedades do fluído, principalmente sua viscosidade (DE LAS HERAS, 2018).

As bombas hidráulicas podem ser classificadas em duas categorias, hidrodinâmicas e hidrostáticas. Segundo Tronca (2022), as bombas hidrodinâmicas são bombas de deslocamento não positivo, onde a resistência ao deslocamento (aumento de pressão) altera consideravelmente sua capacidade de vazão. Como por exemplo, as bombas centrífugas. Já as bombas de deslocamento positivo, onde um aumento de pressão não afeta a vazão gerada pela bomba. Isto se dá devido a uma vedação mecânica que separa a câmara de entrada da câmara de saída da bomba.

Um fator primordial a ser considerado, são as manutenções nas bombas dos sistemas, para garantir um bom funcionamento e prolongar sua vida útil. O básico a ser verificado a intervalos programados, é a verificação do nível de óleo, condições dos filtros, monitoramento da pressão de operação e possíveis vazamentos. Levando em consideração estes principais fatores, e mantendo as manutenções em dia, o sistema contará com uma vida útil dentro do esperado e um sistema com funcionamento adequado.

## 2.6 GRUPO DE CONTROLE OU VÁLVULAS

Grupo responsável por influir sobre a pressão ou vazão num determinado componente ou ramo de um circuito. Em todo sistema hidráulico, é necessária a presença de elementos reguladores que limitem, regulem, reduzam ou interrompam a elevação de pressão e permitam também um controle sequencial de determinadas operações preestabelecidas ou instantâneas (FIALHO, 2012).

Segundo Simões (2016), as válvulas de comando são componentes vitais para o funcionamento adequado do sistema hidráulico, pois gerenciam o avanço e o retorno dos atuadores hidráulicos, além de controlar o fluxo do fluido hidráulico para os diversos elementos do sistema, evitar acidentes e automatizar e monitorar processos e operações repetitivas. Abaixo serão apresentados alguns modelos de válvulas comuns utilizada em diversas aplicações hidráulicas, também avaliadas para o sistema de testes para engates.

### 2.6.1 Válvula direcional

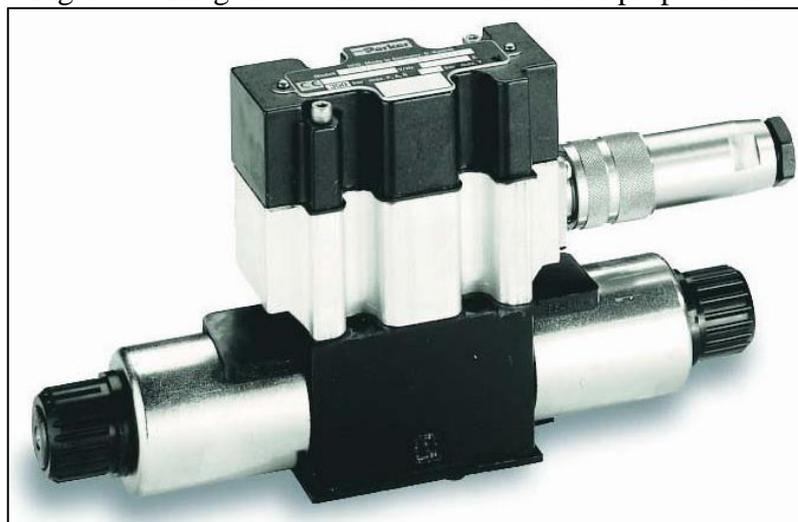
Para o funcionamento dos sistemas hidráulicos, deve haver um fluxo do óleo bombeado do reservatório até o grupo de atuação pelo sistema de ligação entre os componentes. O sistema requer um acionamento, para que seja executada ação de avanço ou recuo do cilindro,

sendo ele por meio de válvulas direcionais, que comandam o fluxo de óleo direcionando-o pelos seus pórticos aos seus destinos. Segundo Tronca (2022, p.3), válvulas direcionais estão presentes em quase todos os sistemas hidráulicos, direcionando o fluxo de óleo, permitindo inversões de movimento de atuadores. Também servem para liberar ou bloquear a passagem de óleo através de seus pórticos.

### 2.6.2 Válvula direcional proporcional

As válvulas direcionais proporcionais possuem o mesmo princípio de funcionamento de uma válvula direcional comum, porém, seu carretel se desloca de acordo com a intensidade do sinal elétrico que a mesma recebe. (TRONCA, Introdução à hidráulica 2022, p. 26). Deslocando-se de acordo com a intensidade do sinal elétrico, o carretel realiza somente o movimento necessário para a aplicação requerida. Em válvulas direcionais comuns, as posições são binárias, totalmente aberta ou totalmente fechada. Já em modelos proporcionais, a posição de abertura e fechamento pode variar em qualquer ponto determinando a vazão necessária para a aplicação. Deste modo consegue-se controlar também a pressão e velocidade do fluido, obtendo uma maior precisão nos movimentos e controle nas cargas exercidas. Na Figura 7, imagem ilustrativa comercial de uma válvula direcional acionada por solenoide, ou seja, por sinal elétrico.

Figura 7– Imagem de uma válvula direcional proporcional



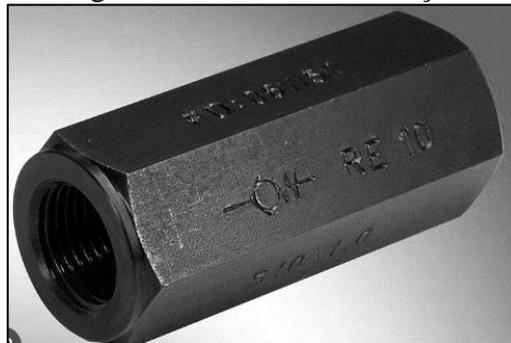
Fonte: (VÁLVULA, 2023)

### 2.6.3 Válvula de Retenção

O conceito geral de uma válvula de retenção, é bloquear o fluxo do fluido em um determinado sentido. No sentido de atuação do sistema, esta válvula permite a passagem do fluido livremente, porém no sentido contrário, o bloqueia totalmente. Utilizada em aplicações onde necessita-se reter a carga impedindo que o atuador volte ao seu estado de origem sem o devido comando de retorno, garantindo também a segurança do sistema.

As válvulas de retenção são aparentemente pequenas quando comparadas a outros componentes hidráulicos, mas elas são componentes que servem a funções muito variadas e importantes. Uma válvula de retenção consiste basicamente do corpo da válvula, vias de entrada e saída e de um assento móvel que é preso por uma mola de pressão. (GOMES *et al.*, 2008). A Figura 8 exemplifica uma válvula de retenção simples, onde pode ser utilizada em diversos sistemas hidráulicos.

Figura 8– Válvula de Retenção



Fonte: Oleodinâmica - Sistemas Hidráulicos e Pneumáticos Ltda. (2023).

## 2.7 GRUPO DE ATUAÇÃO OU ATUADORES

Atuadores hidráulicos são componentes, cuja função é transformar energia hidráulica em energia mecânica, levando uma máquina ou processo a realizar um determinado trabalho mecânico. (PEREIRA, 2006).

Um atuador hidráulico básico consiste em um cilindro hidráulico, um pistão e uma haste. O cilindro é uma estrutura tubular fechada, normalmente feita de um metal resistente, que contém um fluido hidráulico em seu interior. O pistão é uma peça sólida que se move dentro do cilindro e é vedado para evitar vazamentos de fluido, movimentando a haste para fora do cilindro realizando o trabalho necessário. Quando o fluido é pressurizado e aplicado em uma

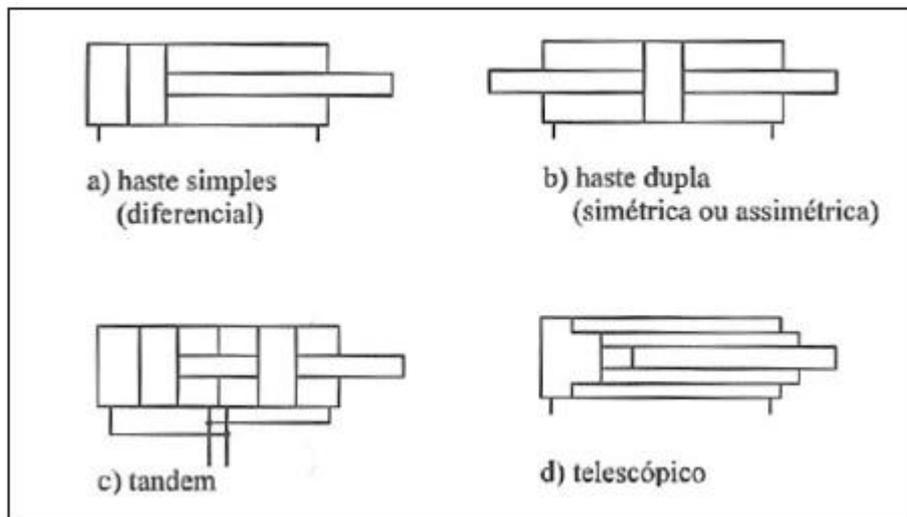
extremidade do pistão, ele exerce uma força no pistão, movendo a haste para fora do cilindro. Quando a pressão é aplicada na outra extremidade do pistão, a haste retorna à posição original.

Os atuadores, também chamados de cilindros, dispõem de diversos tipos e tamanhos para as mais diversas aplicações. Segundo Linsingen (2013), os atuadores podem ser classificados em função da forma de ação, do tipo construtivo e do modo de fixação. Estas classificações geram embasamento no momento do dimensionamento do projeto.

No formato de classificação para uma aplicação prática segundo a ação, estão os atuadores de simples e dupla ação, onde a potência hidráulica é efetiva em um sentido do movimento do atuador ou para o avanço, ou para o retorno do cilindro. Já no sentido oposto o movimento é resultante de uma ação externa, podendo ser uma força aplicada ou até mesmo a força da gravidade. Para o dispositivo de testes para engates de reboque, a melhor opção se trata de um atuador de dupla ação e haste simples, conforme a Figura 9.

Conforme Linsinger (2013), o atuador de duplo efeito ou dupla ação, com haste simples, indicados também na Figura 9, pode ser chamado de cilindro diferencial, devido a diferença de área existente, que é menor do lado da haste, quando comparada com a do lado do fundo.

Figura 9– Tipos de atuadores de dupla ação



Fonte: LINSINGEN, Fundamentos de sistemas hidráulicos (2013).

No formato de classificação segundo o tipo construtivo, são atuadores para diversas aplicações, desde cilindros pequenos para pequenas fixações a cilindros de grande porte e submetidos a condições externas agressivas, como a elevação de cargas pesadas. Na indústria,

os principais tipos utilizados são os cilindros com tirantes e cilindros com flanges. Já no formato de classificação segundo a forma de fixação, este modo respeita as particularidades construtivas do atuador, podendo ser de fixação rígida ou articulada.

## 2.8 UTILIZAÇÃO DE CÉLULAS DE CARGA EM ATUADORES HIDRÁULICOS

Células de carga são dispositivos utilizados para medir a força ou carga aplicada a um sistema. Na maioria das situações elas são associadas a aplicações de medição de carga em sistemas mecânicos, porém podem ser utilizadas também em conjunto com atuadores hidráulicos para monitorar a força exercida pelos mesmos.

O princípio de funcionamento das células de carga baseia-se na variação da resistência ôhmica de um sensor denominado extensômetro ou *strain gage*, quando é submetido a uma deformação. Utilizam-se comumente em células de carga quatro extensômetros ligados entre si segundo a ponte de *Wheatstone*, e o desbalanceamento da mesma, em virtude da deformação dos extensômetros, é proporcional à força que a provoca. É através da medição deste desbalanceamento que se obtém o valor da força aplicada. (ALVA, 2008).

A célula de carga integrada a um atuador hidráulico, permite que seja feita a medição da força gerada pelo atuador durante a sua operação. A célula de carga é instalada entre o atuador hidráulico e o sistema onde a força está sendo aplicada. Conforme o atuador hidráulico é acionado, a célula de carga converte a força mecânica em um sinal elétrico proporcional à carga aplicada. Este sinal elétrico é transmitido para um sistema controle, onde pode ser processado e utilizado para monitorar e controlar o desempenho do atuador hidráulico. Dessa forma, as células de carga permitem a medição em tempo real da força exercida pelos atuadores hidráulicos, possibilitando um controle mais preciso e confiável do sistema. Agregando esta funcionalidade ao sistema, o teste de fadiga nos engates de reboque poderá ter uma melhor consistência, visto que monitorando a carga aplicada e a mesma não tendo grande variação. A validação poderá constatar que a aplicação da carga foi constante na sua totalidade durante o teste.

## 2.9 SISTEMA DE FILTRAGEM

O principal objetivo da filtragem é manter o fluido hidráulico limpo e livre de partículas que possam danificar componentes como bombas, válvulas, cilindros e mangueiras. Isso ajuda a prevenir o desgaste prematuro e a reduzir as chances de falhas operacionais. Mais

de 75% das falhas em sistemas hidráulicos são devidos ao excesso de contaminação. As partículas de sujeiras podem fazer com que equipamentos caros, de alta tecnologia, de grande responsabilidade, falhem. (TRONCA, Introdução à hidráulica 2022, p. 02).

Para o projeto do dispositivo de ensaio de resistência mecânica, o sistema ideal para filtragem do fluido, é a *off-line* pois é indicada para sistemas hidráulicos de alta precisão e também em ambientes em que o fluido deve estar com menor quantidade possível de partículas contaminantes

## 2.10 DIMENSIONAMENTO DE SISTEMAS HIDRÁULICOS

A hidráulica é uma das ciências mais antigas e que nos dias atuais vem se adaptando, evoluindo e está presente em praticamente todos os setores da indústria. Embora muitos estudos venham sendo desenvolvidos acerca da hidráulica industrial, poucos buscam alinhar esse conhecimento a criação de rotinas para dimensionamentos de sistemas hidráulicos. (OLIVEIRA, 2021).

Na indústria, onde o objetivo principal não é a construção de máquinas e sim a construção de um novo processo ou dispositivo de atuação para a melhoria contínua ou automatizações de processos, o dimensionamento de sistemas hidráulicos se dá pela expertise de profissionais do ramo ou até mesmo o *benchmarking* entre máquinas e dispositivos já existentes.

Oliveira (2021) desenvolveu um aplicativo para dispositivos móveis *Android* e *iOS*, a partir de uma mesma base de código, produzido em uma biblioteca *JavaScript*, com a finalidade de dimensionar uma unidade hidráulica. O aplicativo contará com telas intuitivas, em que o usuário será responsável por informar os dados de entrada de acordo com suas necessidades, simulando diferentes configurações a fim de dimensionar os principais componentes do sistema e receber dados úteis para seleção comercial dos mesmos. Para avaliação do App, foram abordados dois estudos de casos referentes ao dimensionamento de unidades hidráulicas para finalidades específicas. O aplicativo apresentou confiabilidades acima de 96% quando comparado seus resultados aos obtidos nos casos analisados, estando em conformidade com o esperado.

A tecnologia por si só, traz a autonomia para os profissionais que desejam realizar alguma atividade de melhoria ou automação em seus processos, a possibilidade de dimensionar seus sistemas hidráulicos permitindo agilizar algumas etapas do processo otimizando tempo e recursos. Esta opção pode ajudar nas etapas iniciais de dimensionamento de projetos hidráulicos, quando o

profissional não tem a devida vivência na área e necessita um auxílio rápido, provendo os subsídios básicos para o projeto.

### 3 MATERIAIS E MÉTODOS

Este capítulo tem como objetivo a avaliação estrutural dos modelos de engates de reboque produzidos na Keko Acessórios S/A, bem como os requisitos e as especificações para o desenvolvimento do dispositivo de testes. Em sequência, será apresentada a proposta em etapas para a confecção do dispositivo, de modo a atender os distintos modelos de engates de reboque nas condições normativas para o teste.

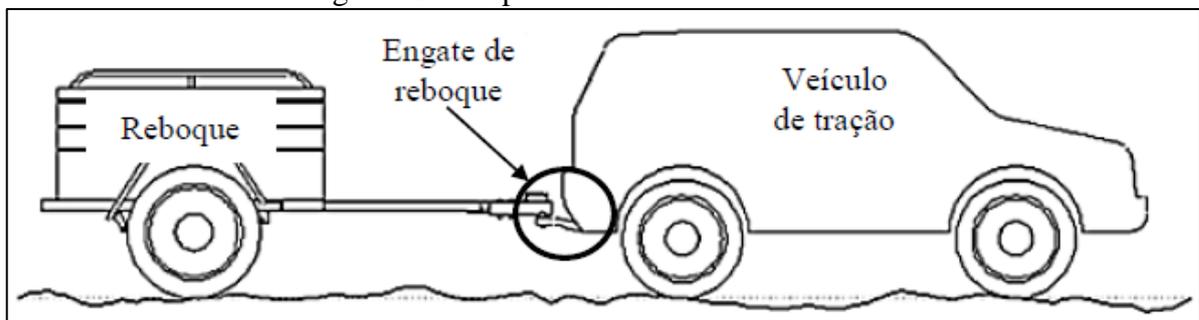
#### 3.1 CONTEXTUALIZAÇÃO DO PROBLEMA

Nesta seção são apresentados os detalhes do produto, as aplicações e as necessidades e requisitos para a sua homologação.

##### 3.1.1 Apresentação do produto

Fabricado pela Keko Acessórios S/A, o engate de reboque ou também chamado de acoplamento mecânico tem por objetivo tracionar reboques ou *trailers* que atendam as categorias estabelecidas pela NBR ISO 3853:1998, sendo  $0_1$  que representa a categoria de até 750 kg de massa total do reboque e  $0_2$ , de até 3500 kg de massa total do reboque. Na figura 10, é possível visualizar por meio de uma ilustração este acoplamento entre veículo e *trailer*.

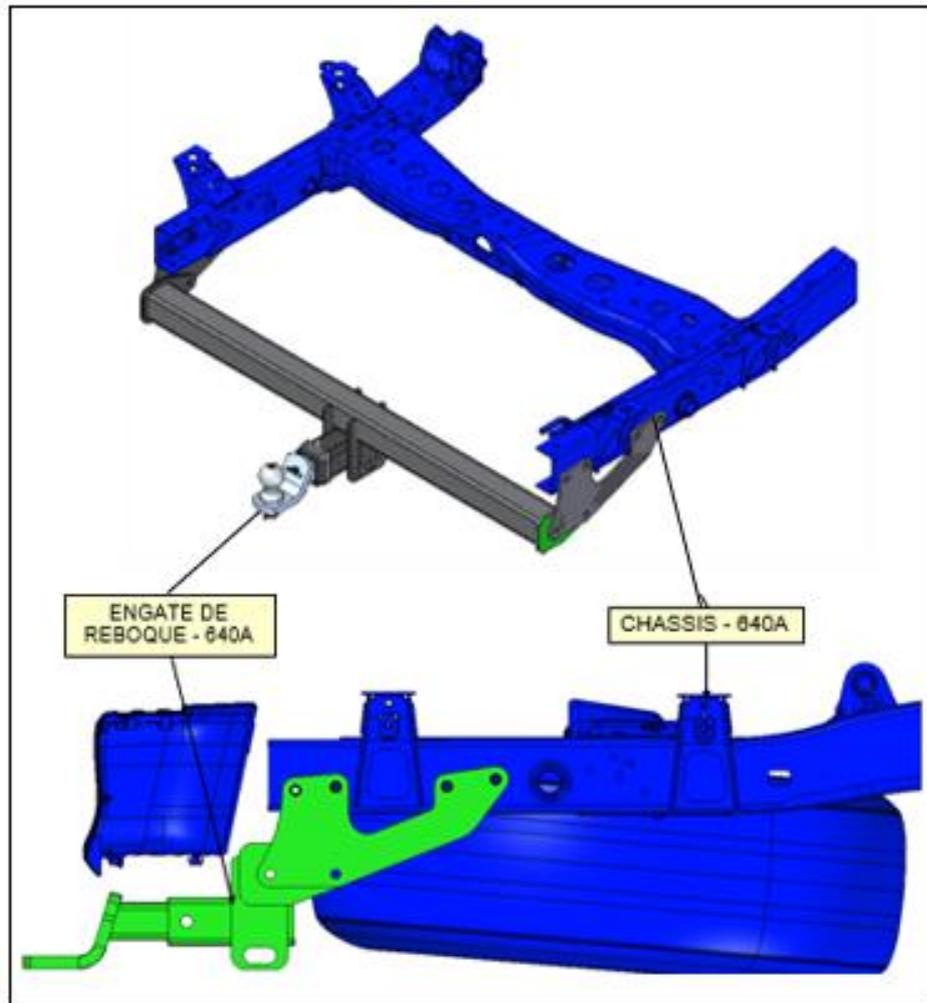
Figura 10- Acoplamento entre trailer e veículo



Fonte: Balbinot, L. (2017).

Na Figura 11, é mostrada a forma de fixação entre o acoplamento mecânico e o chassi do veículo. No modelo, está referenciado em azul o chassi do veículo e em verde o acoplamento mecânico, fixado por meio de uma base lateral parafusada no corpo central do engate e no chassi.

Figura 11- Fixação entre engate de reboque chassi do veículo. Modelo Hilux



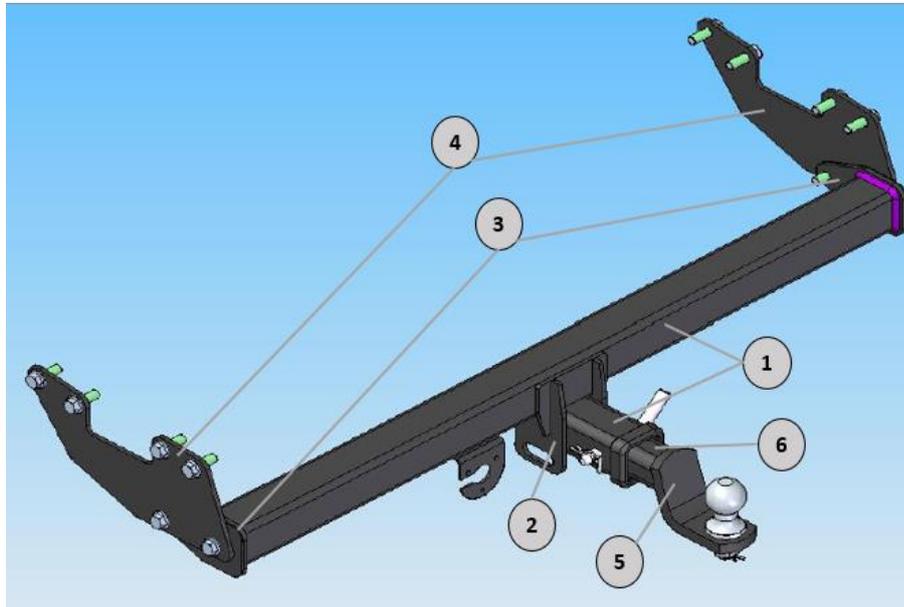
Fonte: O Autor (2023).

### 3.1.2 Detalhamento do Produto

Para a fabricação dos engates de reboque é utilizado o aço carbono com algumas variações na sua liga. A Figura 12, ilustra em modelo 3D o conjunto engate de reboque para a *pick-up* Hilux – a partir de 2016 produzido pela montadora Toyota. O engate de reboque tem sua fixação direta no chassi do veículo por meio de parafusos, e deve ser acoplado na parte traseira inferior do veículo. O produto é composto por um corpo central, suportes laterais para

a fixação no veículo e o acoplamento com a esfera. Este acoplamento mecânico é projetado para ter capacidade de tracionar reboques que tenham massa total de até 750 kg.

Figura 12-Modelo CAD do Engate de Reboque com seus componentes numerados



Fonte: O Autor (2023).

No Quadro 1, são apresentados os respectivos materiais dos componentes de fabricação com suas respectivas propriedades mecânicas.

Quadro 1- Lista de materiais do engate de reboque

ITEM	DESCRIÇÃO	MATÉRIA-PRIMA	LIMITE DE ESCOAMENTO ( $S_y$ ) [MPa]	RESISTÊNCIA A TRACÇÃO ( $\sigma$ ) [MPa]	MÓDULO DE ELASTICIDADE ( $E$ ) [GPa]	DENSIDADE ( $\rho$ ) [g/cm <sup>3</sup> ]	COEFICIENTE DE POISSON ( $\nu$ )
1	Tubos base e de apoio	Aço SAE 1008	285	340	205	7,87	0,29
2	Suporte central	Aço SAE 1010	285	330	205	7,87	0,29
3	Chapas laterais	Aço SAE 1010	285	330	205	7,87	0,29
4	Suportes laterais	Aço SAE 1010	285	330	205	7,87	0,29
5	Suporte de fixação da Esfera	ASTM A36	250	400	200	7,85	0,26
6	Tubo macho - engate para tração	Aço SAE 1008	285	340	205	7,87	0,29

Fonte: O Autor (2023).

O processo de manufatura dos engates de reboque, se dá em processos de fabricação simples e utilizados frequentemente nas indústrias do setor metalmeccânico, são eles: corte dos tubos em serra-fita, corte laser em chapas, dobra das chapas em dobradeiras CNC, furação em furadeiras de bancada e solda MIG robotizada para a montagem dos componentes.

Após a união dos componentes, o engate passa pelo processo de acabamento superficial. Os componentes recebem um tratamento nano-cerâmico, por meio de banhos que gera uma resistência a corrosão e durabilidade no produto. Após este tratamento, o engate recebe uma pintura por eletrodeposição (*E-coat*) agregando uma camada superficial de no máximo 30  $\mu\text{m}$  de espessura. O processo de cura para deposição é por meio de estufa. Ao ser retirado da estufa, por fim, se agrega uma camada de pintura pó na cor preto brilhante de no máximo 100  $\mu\text{m}$ , gerando no total uma camada de 130  $\mu\text{m}$  de camada superficial.

### 3.1.3 Validação e portfólio de produtos

Para a aprovação de engenharia, o produto deve suportar 2.000.000 de ciclos em bancada de testes sendo aplicada a força longitudinal proposta em projeto. Em caso de não atendimento, deve ser redimensionado, bem como seu dispositivo de fixação na bancada e submetido novamente ao teste buscando a aprovação.

O portfólio atual da empresa compreende 96 modelos de engates de reboque, sendo distribuídos para 64 modelos de veículos diferentes, visto que alguns veículos têm mais de um modelo de engate de reboque desenvolvido. O Quadro 2 representa os 10 modelos mais vendidos no ano de 2022 com seus respectivos comprimentos totais, cargas de tração e força resultante. 60% destes itens têm capacidade para tracionar *trailers* de até 1500 kg, representando a maior capacidade dentre os modelos produzidos. Esta massa total do *trailer* é utilizada como variável juntamente com a massa total do veículo para a determinação da força resultante ( $F_{res}$ ) conforme Equação 1 citada no capítulo 2. Esta força resultante se trata da força a ser utilizada nos ensaios de fadiga, onde é aplicado 60% da mesma nos sentidos de tração e compressão. Logo, quanto maior a massa do *trailer*, maior será a força a ser aplicada no teste.

Quadro 2– Engates de reboque mais vendidos

MODELO DE ENGATE DE REBOQUE	VEÍCULO	COMPRIMENTO (mm)	TRAÇÃO (Kg)	Força Resultante (Kg)
Hilux (Original)	Hilux	1153	1500	594,37
New L200 Triton Sport	Triton	946	1500	574,91
Engate Reboque K2 Corolla Cross	Corolla Cross	1100	750	314,11
SW4 (Original)	SW4	1124	1500	570,18
Engate Reboque Toyota Corolla	Corolla	1017	700	274,68
Fiat Toro (Original)	Toro	682	400	193,97
Engate Reboque Ranger (Original)	Ranger	1164	1500	601,12
S10	S-10	1150	1500	518,97
Nova Frontier	Frontier	1140	1500	567,58
Engate Reboque K1 Compass	Compass	1100	750	321,05

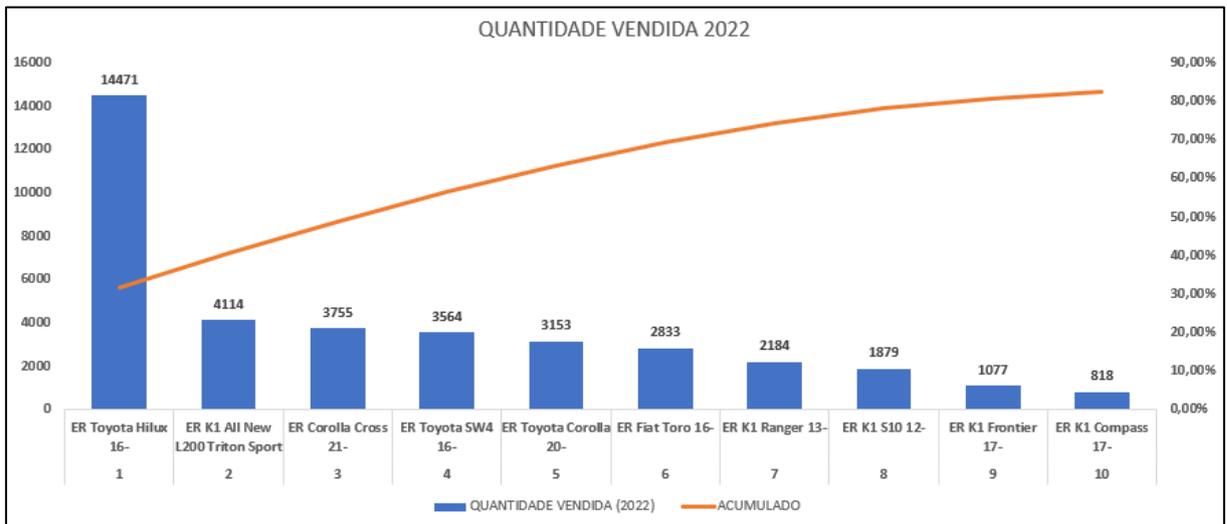
Fonte: O Autor (2023)

As condições de contorno a serem utilizadas nos testes de resistência mecânica do dispositivo serão determinadas de acordo com que todos os produtos do portfólio se enquadrem na validação. O objetivo será simular a tração exercida sob o produto simulando a condição de rodagem de um veículo e avaliar a resistência mecânica obtendo a condição de aprovação com a permanência do produto por 2.000.000 sem a evidência de trincas e quebras.

O dispositivo deve permitir o acoplamento de engates com o comprimento total de até 1500 mm, compreendendo toda variação de comprimento de engates já desenvolvidos. Com o intuito de novos desenvolvimentos para veículos com maior capacidade de tração, o teste será capaz de promover uma força de tração de até 1100 kg.

A Figura 13, evidencia que estes modelos dentre a quantidade total, representam 80% do volume de venda da empresa, sendo o modelo para o veículo Hilux da fabricante Toyota o item mais vendido de 2022 com 14471 unidades. Já os modelos dos veículos L200 Triton, Frontier e Compass, estão no *ranking* dos mais vendidos, porém ainda não possuem homologação junto ao INMETRO tampouco ensaios de validação aprovados.

Figura 13-Curva de produtos mais vendidos no ano de 2022



Fonte: O Autor (2023)

### **3.1.4 Custos de validação**

Com base no histórico de reprovações em bancada de diversos modelos de engates e visando a otimização de tempo, recursos produtivos e financeiros, projetou-se um dispositivo para a realização de ensaio de fadiga preliminar ao da homologação oficial. Nesta condição, foi possível identificar as possíveis falhas de projeto e processo antes mesmo da homologação, gerando a oportunidade de reduzir custos em ensaios terceirizados. O produto somente será enviado aos laboratórios externos após a conclusão de que está apto a resistir a quantidade de ciclos necessária com sua respectiva carga.

Nos últimos 5 anos, foram lançados 67 novos modelos de engates de reboque, sendo que 23 foram reprovados no ensaio de tração, ou seja, 34% dos ensaios resultaram em um custo de R\$ 133.740,00 com reprovações do total de R\$ 396.850,00 de custo total com ensaios de validação. O valor médio por ensaio é de R\$ 5.923,00. O relatório de custos bem como os ensaios reprovados podem ser observados no Quadro 3. Os itens destacados na cor laranja, representam os ensaios reprovados em laboratório.

Quadro 3– Custos de ensaios de tração de 2017 a 2022.

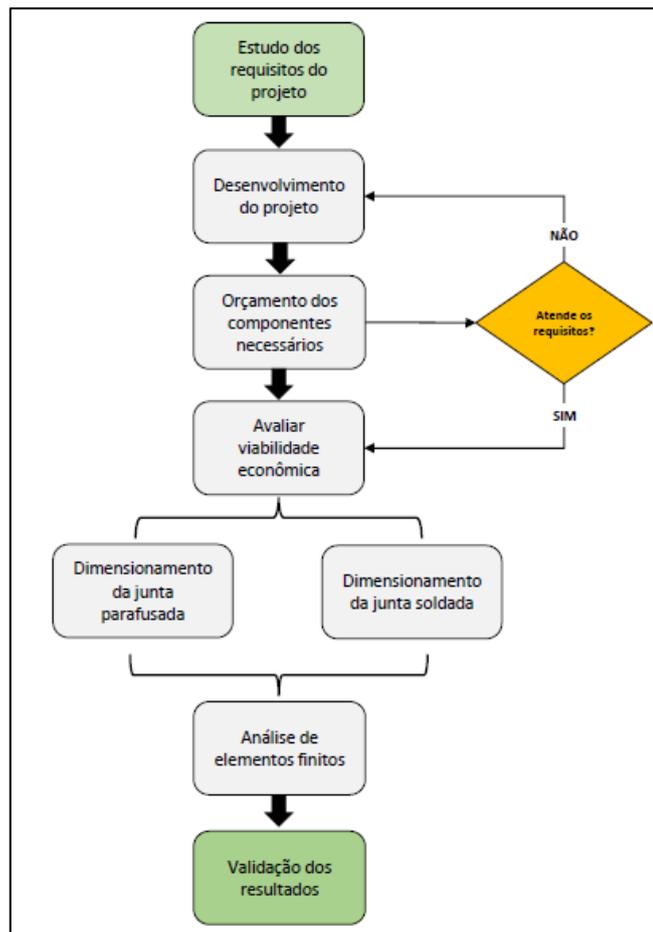
NARRATIVA ITEM - SISTEMA	PREÇO TOTAL
Modelo de engate S10 Testes de valição Bancada de testes.	R\$ 8.600,00
Teste de validação do Engate Reboque KEKO K3 Valor: R\$ 5.000,00 AEP: 73/2014 - OI: 1721	R\$ 5.000,00
Ensaio físico de resistência mecânica conforme NBR ISO 3853.	R\$ 8.600,00
TESTE DE HOMOLOGAÇÃO DE ENGATE DE REBOQUE - MODELO S10 R\$ 8.500,00 AEP 73/2014	R\$ 8.500,00
Ensaio de Resistência Mecânica do Engate de Reboque Fiat	R\$ 8.600,00
HOMOLOGAÇÃO ENGATE AMAROK R\$ 8.500 AEP: 73/2014	R\$ 8.500,00
HOMOLOGAÇÃO ENGATE TRITON 08 R\$ 8.500,00 AEP: 73/2014	R\$ 8.500,00
TESTE DE HOMOLOGAÇÃO NO INMETRO - ENGATE SW4 16 R\$ 8.500,00 AEP 73/2014	R\$ 8.500,00
TESTE DE VALIDAÇÃO ENGATE SW4 (validação robô de solda) R\$ 5.000,00 AEP: 73/2014	R\$ 5.000,00
TESTE HOMOLOGAÇÃO SPECTRA - SW4 16 R\$ 5000,00 AEP 73/2014	R\$ 5.000,00
TESTE DE VALIDAÇÃO ENGATE DE REBOQUE K3 S10 AEP: 73/2014 R\$ 5.000	R\$ 5.000,00
TESTE DE HOMOLOGAÇÃO - ENGATE DE REBOQUE K1 HR-V R\$ 5.000 AEP 73/2014	R\$ 5.000,00
TESTE DE VALIDAÇÃO - ENGATE DE REBOQUE K1 TORO R\$ 5.000,00 AEP 73/2014	R\$ 5.000,00
TESTE DE VALIDAÇÃO - ENGATE DE REBOQUE RAV4 R\$ 5.000,00 AEP: 73/2014	R\$ 5.000,00
TESTE DE HOMOLOGAÇÃO - ENGATE TORO (ORIGINAL/P&A) R\$ 5.000 AEP 73/2014	R\$ 5.000,00
Teste de fadiga mecânica HRV	R\$ 5.000,00
TESTE DE VALIDAÇÃO - ENGATE DE REBOQUE K1 OUTLANDER R\$ 5.000,00 AEP 73/2014 FORNECEDOR	R\$ 5.000,00
Teste de validação - Engate de Reboque K1 ER Duster Valor: R\$5.000,00 AEP 73/2014	R\$ 5.000,00
TESTE DE VALIDAÇÃO - ENGATE DE REBOQUE K1 FIAT TORO R\$ 5.000,00 - AEP 73/2014	R\$ 5.000,00
Realização do Ensaio de Resistência Mecânica do Engate do Toro (P&A) 2.000.000 de ciclos de fadiga Mecânica.	R\$ 5.500,00
TESTE DE VALIDAÇÃO - ENGATE DE REBOQUE COMPASS 2017 R\$ 6.500 AEP: 73/2014	R\$ 6.500,00
TESTE DE VALIDAÇÃO - ENGATE DE REBOQUE WR-V R\$ 6.500,00	R\$ 6.500,00
TESTE DE VALIDAÇÃO - ENGATE DE REBOQUE K3 RANGER 13- ORÇAMENTO: P098-17 VALOR: R\$ 6.500,00	R\$ 6.500,00
TESTE DE VALIDAÇÃO - ENGATE DE REBOQUE COMPASS 2017 ORÇAMENTO: P098-17 VALOR: R\$ 5.000,00	R\$ 5.000,00
Ensaio físico engate de reboque Hilux Custo ensaio hilux - 3.300,00	R\$ 3.300,00
Ensaio físico engate de reboque SW4 Custo ensaio SW4 - 3.300,00	R\$ 3.300,00
TESTE DE VALIDAÇÃO ENGATE TORO R\$ 5.500 AEP 73/2014	R\$ 5.500,00
TESTE DE VALIDAÇÃO ENGATE DE REBOQUE K3 RANGER R\$ 5.500 AEP 73/2014	R\$ 5.500,00
Ensaio de Fadiga mecânica Engate Eco B515 Ford. Custo: R\$ 5.000	R\$ 5.000,00
Requisição para Bancada de Teste Engate B515 Eco Ford Valor: R\$ 2.000	R\$ 2.000,00
Requisição ensaio mecanica engate de reboque Toyota Hilux Valor: 6.000,00	R\$ 6.000,00
Requisição para realização de ensaio físico Spectra para engate de reboque Toyota SW4. Valor: 6.600,00	R\$ 6.600,00
Requisição pedido de compra ensaios de fadiga ER Toyota Valor: 2.400,00 referente gabarito fixação	R\$ 2.400,00
Requisição para pedido de compra ensaios adicionais ER Hilux e SW4 Valor: 36.000,00	R\$ 36.000,00
Requisição para ensaio físico chain safety test, ER Toyota Hilux e SW4 Valor: 2.400,00 (1.200,00 cada)	R\$ 2.400,00
Ensaio de Fadiga Projto 490 - Enmgate de Reboque Corolla R\$ 6.100 para 01 ensaio	R\$ 6.100,00
Ensaio de Resistência Mecânica do Engate Toyota 360B R\$ 9.750,00 Projeto Engate Reboque Corolla	R\$ 9.750,00
Ensaio Toyota CADG-401-I R\$ 6.100,00	R\$ 6.100,00
Ensaio CONTRAN R\$ 8.250	R\$ 8.250,00
Ensaio de fadiga engate Corolla NOVA PONTEIRA R\$ 8.000,00	R\$ 8.000,00
Ensaio adicionais para validação do engate Corolla R\$ 6.100,00 (valor total R\$ 19.200,00)	R\$ 6.100,00
Ensaio adicionais para validação do engate Corolla R\$ 1950 (valor total R\$ 19.200,00)	R\$ 1.950,00
Ensaio adicionais para validação do engate Corolla R\$ 11.150,00 (valor total R\$ 19.200,00)	R\$ 11.150,00
Ensaio de Fadiga R\$ 7300 (valor total) - R\$ 6218 nesta linha	R\$ 6.218,00
Ensaio de Fadiga R\$ 7300 (valor total) - R\$ 1082 nesta linha	R\$ 1.082,00
Teste 3 - Static Overload Test (Ductility confirmation) - AEP. 46/2019 - OI: 3204 - R\$ 5.000,00	R\$ 5.000,00
Teste 4 - Deformation Strength Test - AEP. 46/2019 - OI: 3205 - R\$ 8.500,00	R\$ 8.500,00
Teste 5 - Safaty Chain - AEP. 46/2019 - OI: 3205 - R\$ 2.400,00	R\$ 2.400,00
Ensaio de Fadiga ER RAM Rampage - AEP 46/2022 Orçamento nº P064-22 - No valor de R\$ 11.700,00	R\$ 11.700,00
Ensaio complementar de Fadiga - Proposta: P094-22 - OI: 3839 - Ensaio Complementar - R\$ 4.200,00	R\$ 4.200,00
Ensaio complementar de Fadiga - Proposta: P094-22 Solicitante: OI: 3839 - Preparação Bancada - R\$ 4.200,00	R\$ 4.200,00
Ensaio auto-qualificação - R\$ 3570	R\$ 3.570,00
Ultimo ensaio engate - R\$ 3570	R\$ 3.570,00
Ensaio de carregamento estático engate Corolla AEP 30/2018 UFRGS R\$ 3570	R\$ 3.570,00
Teste de Fadiga Norma NBR ISO 3800 - AEP: 46/2019 - OI: 3025 - R\$ 3.570,00 -	R\$ 3.570,00
Teste de Fadiga Norma TSF1100 - AEP: 46/2019 - OI: 3025 - R\$ 3.570,00 -	R\$ 3.570,00
Ensaio Fadiga - R\$ 3570	R\$ 3.570,00
Teste 1 - Teste de Fadiga Norma TSF 1100 - AEP. 46/2019 - OI: 3206 - R\$ 3.930,00	R\$ 3.930,00
Ensaio de fadiga em engate de reboque automotivo em 01 amostra (VW T-Cross) conforme NBR ISO 3853 - R\$ 4500	R\$ 4.500,00
Ensaio de fadiga em engate de reboque automotivo em 01 amostra (GM-Tracker) conforme NBR ISO 3853 - R\$ 4500	R\$ 4.500,00
Ensaio de Fadiga engate reboque Creta (segundo ensaio) AEP 63/2021 - R\$ 4500	R\$ 4.500,00
Ensaio fadiga engate de reboque creta (ensaio 1) - AEP 63/2021 - R\$ 4500	R\$ 4.500,00
Teste de Fadiga Engate de Reboque Bronco - R\$ 4.500,00 - AEP: 94/2021 - OI: 3632 - NF: 2022/157	R\$ 4.500,00
Serviço do Segundo Teste no E.R. BRONCO NF 2022/294 emitida em 18/05/2022 Valor: R\$ 5.000,00	R\$ 5.000,00
Teste Validação - NF 460 - R\$ 5.000,00 AEP: 45/2022 - OI:3838	R\$ 5.000,00
Ensaio Fadiga Ponteira - R\$ 5.000,00 - NF: 2022/733 - AEP: 43/2022 - OI: 3844	R\$ 5.000,00
Ensaio de Fadiga para validação - R\$ 5.500,00	R\$ 5.500,00
<b>CUSTO TOTAL</b>	<b>R\$ 396.850,00</b>
<b>CUSTO REPROVAÇÕES</b>	<b>R\$ 133.740,00</b>
<b>CUSTO MÉDIO</b>	<b>R\$ 5.923,13</b>

Fonte: O Autor (2023).

### 3.2 MÉTODO

No fluxograma da Figura 14, estão representadas as etapas para o projeto do dispositivo de teste de resistência mecânica. Os requisitos de projeto são a primeira etapa, a fim de atender a legislação e normativas, bem como todos os modelos de engate de reboque do portfólio da empresa. Ao determinar os requisitos, o projeto é desenvolvido elencando os materiais e componentes necessários juntamente com o orçamento para a viabilidade econômica. Obtendo a viabilidade econômica a próxima etapa se caracteriza no dimensionamento da junta parafusada que fará a interface com o produto, e após o dimensionamento da junta soldada dos componentes do dispositivo. Quando concluído, o projeto é submetido à uma análise de elementos finitos, a fim de garantir que suportará todas as cargas exercidas durante os ensaios de resistência mecânica.p

Figura 14– Fluxograma de trabalho



Fonte: O Autor (2023)

## 4 DESENVOLVIMENTO DO TRABALHO

Neste capítulo, serão apresentadas as etapas de desenvolvimento do dispositivo e integração dos componentes para seu funcionamento. As atividades apresentam-se na seguinte ordem: requisitos de projeto, desenvolvimento de estrutura para os ensaios de fadiga, integração dos componentes hidráulicos e viabilidade orçamentária.

### 4.1 REQUISITOS DE PROJETO

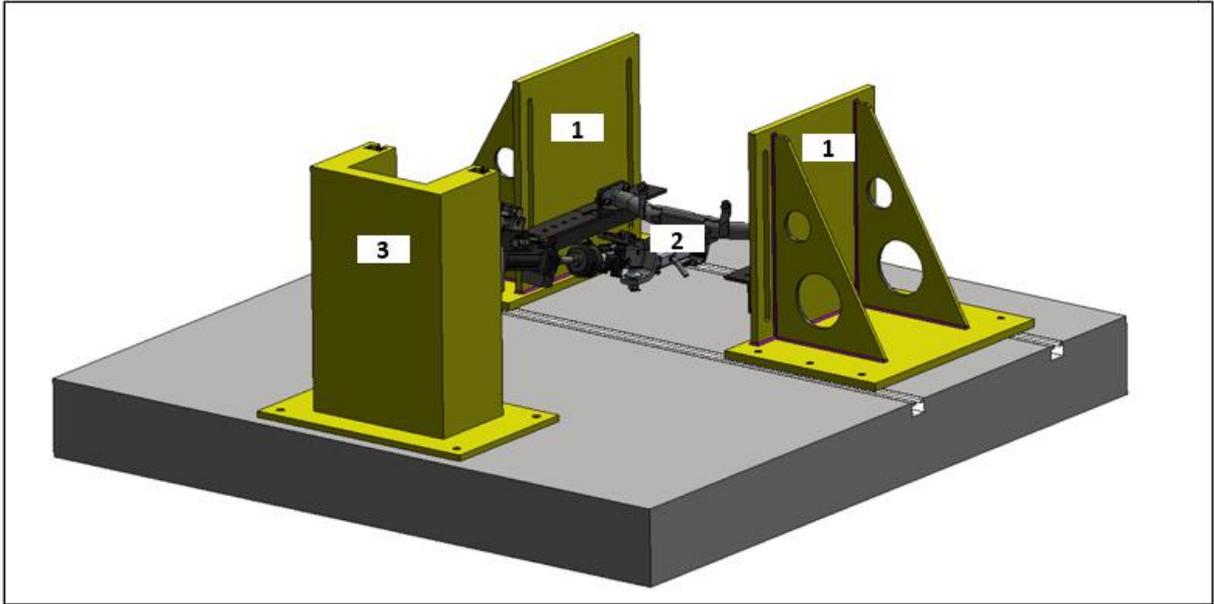
A determinação dos requisitos se faz imprescindível, visto que se trata do escopo geral e abordam as expectativas finais do projeto. Para que o dispositivo tenha a otimização esperada, deve contar com algumas características, tais como;

- a) Realização dos testes automatizados;
- b) Garantir a fixação dos engates de reboque em seus pontos de ancoragem originais;
- c) Possibilitar o deslocamento das bases de fixação laterais a fim de realizar o teste para dimensões extremas de engates de reboque (menor modelo, veículo: Amarok com dimensões de 320 mm e maior modelo, veículo: Discovery Sport com dimensões de 1303 mm);
- d) Possibilitar ajuste do ângulo máximo de 20° e mínimo de 15° do atuador hidráulico para atendimento à Norma ABNT ISO 3853;
- e) Fixação compatível para atuação da força de (1100 kg) durante os ciclos de ensaio conforme Norma ABNT ISO 3853.

### 4.2 PROJETO DO DISPOSITIVO

O projeto do dispositivo foi realizado usando o *software Solid Works*, tendo como referência os modelos CAD dos engates de reboque como base para o dimensionamento mínimo e máximo das bases de fixação. Na vista isométrica da Figura 15, está ilustrado o dispositivo completo com o sistema de testes e engate de reboque. O projeto consistirá em duas bases de fixação (1), onde será acoplado o engate de reboque (2), e uma torre (3) para fixação do atuador para a realização do teste.

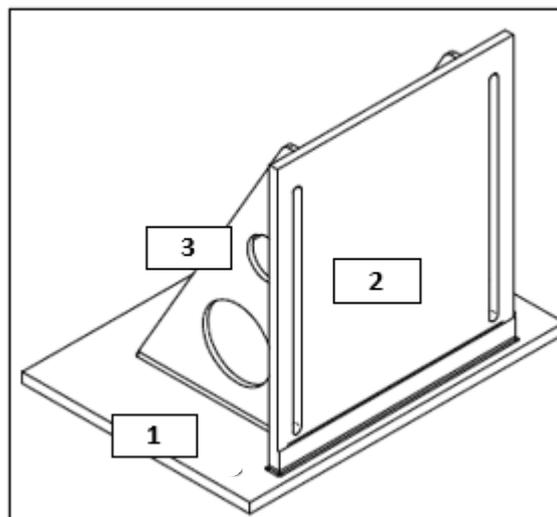
Figura 15- Vista isométrica – Dispositivo de Testes



Fonte: O autor (2023)

Conforme a Figura 16 da vista lateral esquerda, o projeto consiste em uma base de 25,4 mm de espessura (1), uma face vertical com rasgo em oblongo (2) para fixação dos engates de reboque também de espessura de 25,4 mm. Para a união 90° destes 2 componentes, utiliza-se um conjunto de mãos-francesas (3) de 12,7 mm de espessura. A torre de montagem tem sua face usinada para permitir o encaixe dos produtos com melhor precisão e sem interferências.

Figura 16- Vista lateral esquerda base de fixação



Fonte: O autor (2023)

Ambas estruturas foram projetadas em aço carbono 1020, e para sua produção, utilizou-se processo inicial de oxicorte e posterior usinagem para o alinhamento e planificação dos componentes, bem como acabamento em regiões de fixação. Este processo de construção juntamente com os materiais, representam 14% do custo total do equipamento.

Para garantir o atendimento aos requisitos mínimos de projeto estabelecidos, realizou-se alguns estudos como, o dimensionamento e escolha dos componentes, dimensionamento de solda e junta parafusada e análise de esforços estruturais.

#### 4.2.1 Determinação das condições de contorno

Esta etapa tem por objetivo, a determinação das condições de contorno que foram utilizadas para os dimensionamentos das uniões parafusadas e soldadas. As principais variáveis para esta determinação, é a força de aplicação do teste e o comprimento total do produto testado. A força longitudinal máxima foi determinada por meio da Equação (1) para a condição máxima, levando em consideração o veículo mais pesado da categoria e a maior massa de reboque permissível. Conforme ISO 3853, o cálculo da força longitudinal a ser aplicada é de 60% da relação entre o produto da massa do veículo ( $m_M$ ) e da massa do reboque ( $m_R$ ) dividido pelo somatório da massa do veículo ( $m_M$ ) e da massa do reboque ( $m_R$ ), multiplicado pela aceleração da gravidade ( $g$ ).

Força longitudinal máxima

$$0,6D = g \cdot \frac{m_M \cdot m_R}{m_M + m_R} = 9,81 \frac{3665 \cdot 3500}{3665 + 3500} = 1075,3 \text{ kg} \quad (1)$$

Já o comprimento total do produto, levou-se em consideração o maior comprimento de engate de reboque produzido. Levando em consideração estas condições de contorno, o dispositivo se tornará capaz de atender todo o mix de produtos produzidos em suas condições máximas com segurança. O Quadro 4 evidencia a relação entre as condições de contorno pré-estabelecidas.

Quadro 4- Relação de dimensões máximas aplicadas

VEÍCULO COM PESO MÁXIMO	RAM 3500
PESO (Kg)	3665
PESO MÁXIMO DE REBOQUE (Kg)	3500
VEÍCULO COM MAIOR ENGATE DE REBOQUE	L. Rover Discovery Sport
COMPRIMENTO TOTAL DO ENGATE (mm)	1303

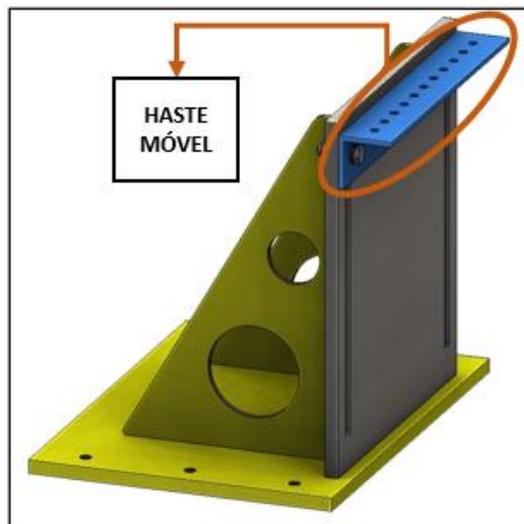
Fonte: O autor (2023)

#### 4.2.2 Dimensionamento de junta parafusada

Neste capítulo, vai ser explorada necessidade de uma junta parafusada no dispositivo de ensaio de engates de reboque, bem como o dimensionamento dos mesmos para atender aos requisitos mínimos de projeto sem falhas.

Na figura 17, está evidenciada a haste móvel utilizada para a fixação dos engates de reboque no dispositivo. Esta haste tem por base uma chapa de 6,3 mm de espessura dobrada em um ângulo de 90° que é fixada através de parafusos na torre principal. Esta junta parafusada garante a posição para a realização do engate de reboque e também a sustentação do mesmo durante a execução do teste.

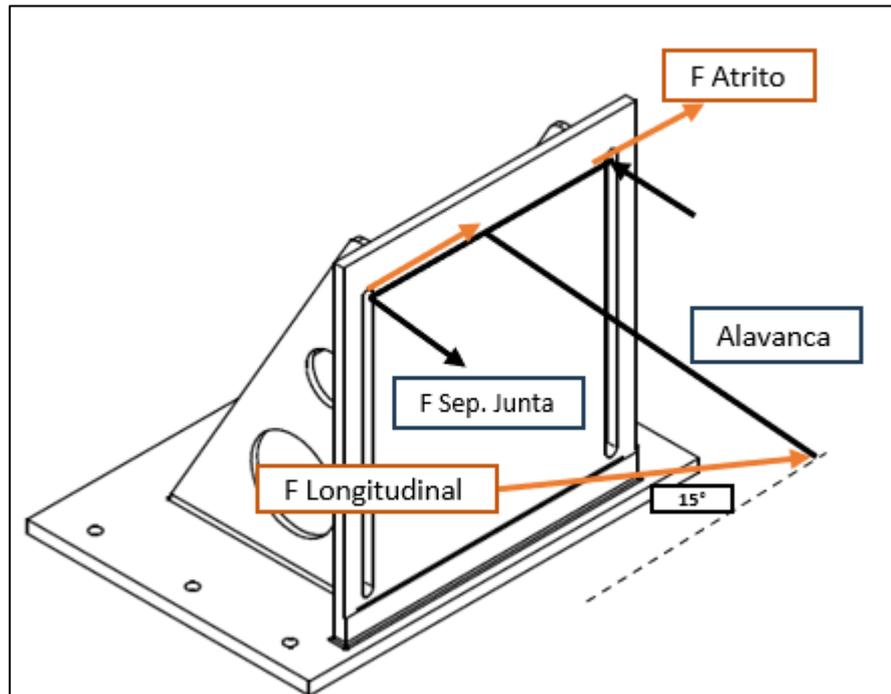
Figura 17- Vista isométrica de base com junta parafusada



Fonte: O autor (2023)

A Figura 18 evidencia o diagrama de corpo livre de uma das bases de fixação, definindo os sentidos das forças aplicadas pelo atuador, bem como o braço de alavanca que o sistema exerce, o sentido da força de atrito e o sentido da força de separação da junta.

Figura 18- Diagrama de corpo livre para forças aplicadas



Fonte: O autor (2023)

Para fins de cálculos e avaliação da resistência do conjunto, se pré-estabeleceu um parafuso de rosca métrica de 20 mm (M20) e de classe 8.8. Para a classe 8.8 de parafusos, o Quadro 5 indica respectivamente a resistência mínima de prova ( $S_p$ ), resistência mínima de tração ( $S_{ut}$ ), resistência mínima ao escoamento ( $S_y$ ) e a área de tensão de tração ( $A_t$ ).

Quadro 5- Resistências mecânicas de parafusos Classe 8.8

CLASSE 8.8	
$S_p$	600 MPa
$S_{ut}$	830 MPa
$S_y$	660 MPa
$A_t$	245 mm <sup>2</sup>

Fonte: O autor (2023)

Segundo SHIGLEY (2006), aplicando a resistência mínima de prova ( $S_p$ ) e área de tensão de tração ( $A_t$ ) conforme a Equação (2), obtém-se a Força de Prova ( $F_p$ ) que define a tensão a partir da qual, o material começa a apresentar deformação permanente.

Força de Prova

$$F_p = S_p \times A_t = 600 \times 245 = 147000 \text{ N} \quad (2)$$

Segundo SHIGLEY (2006), os parafusos de fixação geralmente recebem uma pré-carga trativa da origem do torque de montagem. Esta pré-carga pode ser determinada com a utilização de um critério de 70% do valor da força de prova quando se tem juntas parafusadas com desmontagens frequentes. Com a Equação (3), determina-se a força de pré-carga ( $F_i$ ).

Força de pré-carga

$$F_i = 0,7 \times F_p = 0,7 \times 147000 = 102900 \text{ N} \quad (3)$$

Uma das formas de garantir a pré-carga dos parafusos, está no controle do torque de montagem do conjunto. Segundo SHIGLEY (2006) determina-se o torque ( $T$ ) usando a Equação (4), admitindo o fator  $k=0,2$ , como condição do parafuso de porca e o diâmetro do parafuso estabelecido como 0,02 m.

Torque

$$T = F_i \times k \times d = 102900 \times 0,2 \times 0,02 = 411,6 \text{ Nm} \quad (4)$$

Devido as bases de fixação estarem sofrendo uma força longitudinal no centro do engate de reboque, cada base absorve o impacto da metade desta força. Aplicando a maior carga estabelecida de 10.788 N, cada base absorve 5.394 N de impacto, e multiplicando ao braço de alavanca obtido pela metade do comprimento do maior produto da categoria com 651,5 mm, obtém-se o momento gerado na junta parafusada conforme a Equação (5).

Momento

$$M = 5394 \times 651,5 = 3514,2 \text{ Nm} \quad (5)$$

O momento gerado é dividido pela medida entre o centro dos diâmetros de fixação na Equação (6), para a obtenção da força de separação da junta ( $F_{st}$ ) em sentido perpendicular à junta parafusada tendendo ocasionar a desmontagem do sistema. Isto se aplica a somente ao parafuso esquerdo se o sistema estiver em regime de compressão, e ao parafuso direito em regime de tração.

Força de Separação da Junta

$$F_{st} = \frac{M}{0,5} = 7028,4 \text{ N} \quad (6)$$

Para fins de cálculos do fator de segurança, será obtida a força de atrito disponível a título de ser comparada com a força de atrito requerida. A força de atrito disponível determina-se pela Equação (7) utilizando o fator de atrito 0,1.

Força de Atrito Disponível

$$F_a = (F_i - F_{st}) \times 0,1 = (102900 - 7028,4) \times 0,1 = 9587,17 \text{ N} \quad (7)$$

O fator de segurança de escorregamento para a junta parafusada é determinado pela Equação (8), levando em consideração as forças de atrito no sentido longitudinal.

Fator de Segurança

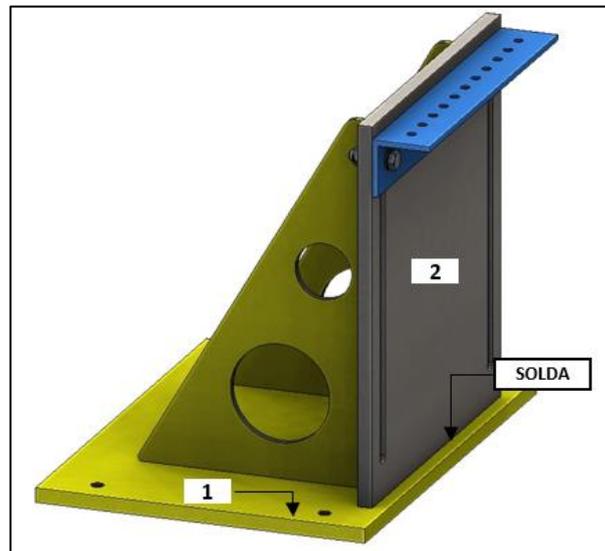
$$F_S = \frac{F_a}{\left(\frac{D}{2}\right)} = \frac{9587,17}{\frac{5394}{2}} = 3,55 \quad (8)$$

Os dados obtidos mostram que mesmo aplicando as forças máximas exigidas nos testes, a junta parafusada suporta até 3,55 vezes à estas cargas propostas. Pode-se considerar um projeto superdimensionado, porém levando em consideração de que o dispositivo em questão não será um produto de produção seriada e deve resistir à fadiga, se manterá o parafuso de métrica 20 (M20) de classe 8.8.

### 4.2.3 Dimensionamento de junta soldada

Na Figura 19, está evidenciado uma junta em ângulo de 90°, bem como o tipo de cordão de solda usados para a união dos dois componentes. A base principal (1) será unida com a alma (2) por meio de uma união soldada em 90°. O estudo foi realizado a fim de garantir a resistência da solda entre componentes avaliando a carga aplicada em teste. A base principal (1) e a alma (2), são chapas de aço carbono SAE 1020 com espessura de 25,4 mm. Para fins de cálculos, se comparou a carga máxima de aplicação de 1.100 kg com a carga máxima admissível pelo sistema. A seguir são determinadas as dimensões da perna ( $w$ ) e garganta ( $t$ ).

Figura 19- Tipo de junta soldada



Fonte: O Autor (2023)

Para esta junta soldada, é utilizado o processo de solda GMAW, também chamada de solda a arco de metal gasoso.

O aço carbono SAE 1020 possui resistência a tração de 400 MPa, logo determina-se o arame de solda com a resistência a tração mais próxima do aço. Para este caso, utilizou-se o

ER70S6 que possui 70 kpsi, ou 482,6 MPa de resistência à tração. O cordão de solda tem o comprimento de 600 mm ou 26,62 in, compreendendo toda área de contato entre as chapas em ambos os lados. O anexo B evidencia o mínimo tamanho para a perna de solda ( $w$ ) conforme a espessura do metal base. Para a espessura de 25,4 mm, utilizou-se a perna de solda de 5/16 in ou 8 mm.

#### 4.2.3.1 Resistência à fadiga da junta soldada

O Instituto Americano de Construção de Aço (AISC) definiu algumas categorias para diferentes tipos de solda, denominando-as por letras, sendo **A**, **B**, **B'**, **C**, **D**, **E**, **E'** e **F**. A categoria **F** representa a resistência ao cisalhamento, a qual é utilizada para os cálculos de vida da junta soldada deste projeto.

Como critério de avaliação, utilizou-se um fator de segurança  $N_{frs} = 1,5$  para determinar a maior carga suportada na junta soldada para o sistema obter vida infinita. Conforme Anexo B, utilizando a categoria **F** para resistência à fadiga, a variação de tensão para a resistência à fadiga ( $S_{ers}$ ) para vida infinita que deverá ser considerada, é de 55,15 Mpa. Colocar em SI

Variação de tensão de cisalhamento permissível

$$\tau_{adm} = \frac{S_{ers}}{N_{frs}} = \frac{8000}{1,5} = 5333 \text{ Psi} = 36,76 \text{ MPa} \quad (9)$$

A equação (10) representa a carga máxima admitida pela junta soldada, utilizando a perna de 5/16 in e 23,62 in de comprimento. Para os cálculos, necessita-se da área da garganta a qual é o produto entre o fator multiplicador 0,707 pela perna de solda e o comprimento.

Carga máxima

$$P_{max} = \tau_{adm} \times A = 5333 \times 2 \times 23,62 \times 0,3125 \times 0,707 = 55661 \text{ lb} = 247,6 \text{ KN} \quad (10)$$

Realizando a conversão de 55661 lb para kg, obtém-se 25.244,07 kg, evidenciando que o conjunto suportará a carga requerida de 1.100 kg de aplicação do teste.

As margens da solda são pontos mais suscetíveis à falhas, logo verificou-se a tensão na margem ( $\sigma_{margem}$ ), dada pela equação (11) onde divide-se a área da perna de solda da carga máxima admissível.

Tensão de margem

$$\sigma_{margem} = \frac{P_{max}}{A_{fusão}} = \frac{55661}{2 \times 23,62 \times 0,3125} = 3770,4 \text{ Psi} = 26 \text{ MPa} \quad (11)$$

Admitindo que a variação de tensão para a resistência à fadiga ( $S_{ers}$ ) da categoria **F** seja de 8 kpsi, determina-se o fator de segurança para a margem da solda na equação (12).

Fator de segurança para margem de solda

$$N_{margem} = \frac{S_{ers}}{\sigma_{margem}} = \frac{8000}{3770,4} = 2,12 \quad (12)$$

## 4.3 SELEÇÃO DOS COMPONENTES

### 4.3.1 Atuador eletromecânico

No sistema em questão, uma atualização significativa foi realizada, onde o atuador hidráulico previamente projetado foi substituído por um atuador eletromecânico, visando racionalização de layout e redução de custo. Esta alteração proporciona algumas vantagens, como precisão no controle das operações permitindo ajustes finos, eliminação do risco de vazamentos devido ao sistema não utilizar fluidos hidráulicos e maior eficiência energética.

Um atuador eletromecânico é um dispositivo que combina elementos elétricos e mecânicos para realizar movimentos precisos e controlados em resposta a sinais elétricos. Para o seu funcionamento, faz-se necessária a utilização de um motor elétrico que será responsável

por realizar o movimento mecânico da aplicação. Acoplado ao sistema, geralmente se utilizam sensores para medir a posição do real eixo, fazendo com que os dados gerados sejam precisos e enviados ao sistema de controle. Este sistema de controle é utilizado para processar os sinais recebidos e transmiti-los ao painel onde o operador poderá avaliar os parâmetros do processo, bem como fazer os ajustes necessários, de posição, força de atuação, frequência de atuação e contagem de ciclos.

Os atuadores eletromecânicos levam como vantagem também a rápida resposta a mudanças, como por exemplo, a inversão de movimento. Também tendem a ser mais compactos e leves, visto que para seu funcionamento exige somente um motor elétrico acoplado ao seu eixo principal, em comparação ao sistema hidráulico, onde além do atuador, o sistema demanda de uma unidade hidráulica dimensionada de acordo com o tamanho e necessidade de entrega do atuador.

Os sistemas eletromecânicos garantem uma melhor eficiência se utilizados aproximadamente em até 10 Hz de frequência. O projeto em questão demanda no máximo 5 Hz de frequência para o trabalho, medida estipulada pela média de frequências utilizadas nos testes realizados em laboratórios terceirizados. Sendo assim, uma opção vantajosa para o sistema de testes de engates de reboque, visto que além das vantagens citadas acima, o mesmo se torna mais viável economicamente, com um valor de aproximadamente 50% do hidráulico. O Quadro 6 demonstra a relação entre força e frequência para o atuador proposto *versus* dimensionado em projeto e o requisito da Norma ABNT ISO 3853:1998 que permite atuação máxima de 35 Hz.

Quadro 6- Relação entre força e frequência do projeto

MODELO TN 5	SERVOATUADOR PROPOSTO	PROJETO	NORMA ISO 3853
FORÇA DE ATUAÇÃO MÁXIMA (kg)	1750	1100	-
FREQUÊNCIA DE ATUAÇÃO MÁXIMA (hz)	10	5	35

Fonte: O Autor (2023)

Para a composição do sistema, além do atuador, se requer um sistema de geração e um sistema de controle, ou seja, um motor elétrico, drive de comunicação e unidade controladora respectivamente.

### 4.3.2 Integração dos componentes

Para o funcionamento pleno do sistema, o atuador deve ser acionado por um motor elétrico dimensionado de acordo com as especificações de projeto e do atuador selecionado. Foi utilizado um servomotor rotativo da marca Moog e modelo G-5-V8(L50) que atua com torque nominal de 26,3 Nm e velocidade nominal de 2800 rpm. Interligado ao sistema, utilizou-se um drive de controle com o intuito de controlar os acionamentos necessários ao sistema. Este drive controla e ajusta a tensão e frequência fornecidas ao sistema para o controle da velocidade, torque e posição da haste do atuador. Equipamento utilizado da marca Moog e modelo MSD G392-016-000P001.

Em comunicação com o drive é necessário a integração com um controlador, ou seja, uma unidade responsável por realizar a interface dos dados entre os componentes e um visualizador, como um computador comum compatível com sistema Windows. Também utilizado como recurso para determinação e ajuste dos parâmetros de teste. Este supervisor possui um software que permite que o programador estipule a posição inicial da haste do atuador, bem como o curso de trabalho. Também se faz o ajuste da carga a ser aplicada e frequência. Após parametrizado, pode-se acompanhar o teste interrompendo-o ou não e fazer o monitoramento por meio da contagem de ciclos e gráficos gerados com base nas grandezas avaliadas. Todos os componentes listados, bem como suas integrações, resultam em 86% do custo total do dispositivo.

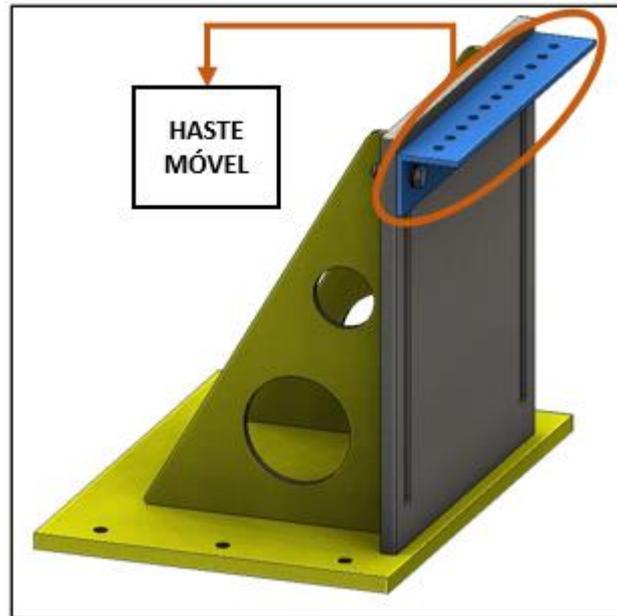
## 4.4 RESULTADOS DE PROJETO

Neste capítulo é abordado um comparativo entre os requisitos de projeto previamente determinados no item 4.1 e os objetivos alcançados nas saídas de projeto identificadas.

Para a realização dos testes automatizados, o projeto contou com um sistema integrado que necessita a intervenção humana somente para a instalação do engate de reboque ao dispositivo, para parametrização do ensaio, e dar início ao mesmo. O controlador disponível no sistema permite que o ensaio aconteça conforme programação, finalizando o teste após o tempo ou contagem de ciclos programados. Durante o teste, o *software* também faz a compilação dos dados requeridos bem como a elaboração das curvas do ensaio.

Para garantir a fixação dos engates de reboque em seus pontos de ancoragem originais, o sistema conta com uma haste móvel acoplada às bases direita e esquerda do dispositivo conforma indicado na Figura 20. Esta haste móvel possui furações distribuídas de que permitem o acoplamento de todos os modelos de engate de reboque, visto que a interface dos engates de reboque se dá por meio de flange com diâmetro padronizado.

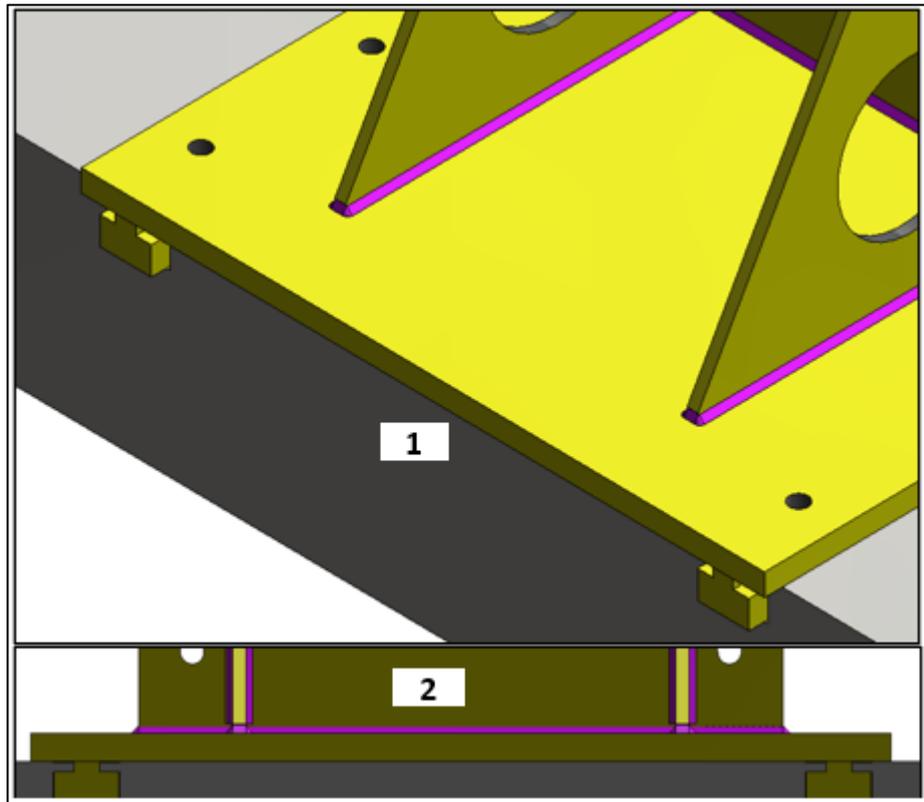
Figura 20- Haste móvel para fixação dos Engates de Reboque



Fonte: O Autor (2023)

Para atender todos os modelos de engates de reboque, o dispositivo foi projetado com a possibilidade de movimentação dos suportes de fixação. Esta movimentação se dá por um trilho engastado podendo estar em um piso comum ou base sísmica, conforme Figura 21. Esta movimentação lateral, possibilita a montagem de todos os modelos de engates de reboque, visto que há uma grande variação de comprimentos totais dos mesmos, realizando desde a montagem do menor modelo com 320 mm, ao maior com 1303 mm. Seção (1) evidenciando vista isométrica e seção (2) vista frontal.

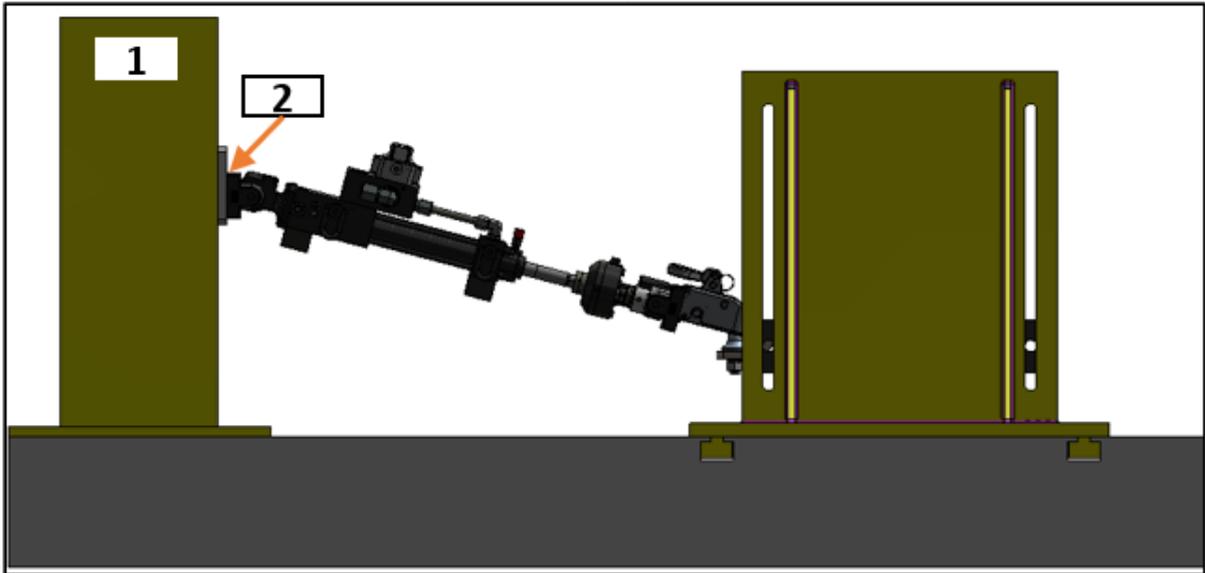
Figura 21- Fixação do dispositivo no trilho



Fonte: O Autor (2023)

A Norma ABNT NBR ISO 3853 permite que o ensaio seja executado em dois ângulos diferentes, com base em regras de posicionamento da esfera do acoplamento, bem como uma comparação da carga estática admissível com a força resultante. Os ângulos podem ser de  $15^\circ$  ou  $20^\circ$ . Com base neste requisito o dispositivo foi planejado para que o atuador eletromecânico fosse acoplado a um flange e fixado por pinos, podendo intercambiar a posição do mesmo conforme necessidade do teste. Este flange está acoplado a uma torre (1) engastada ao piso com o objetivo de posicionar o atuador eletromecânico conforme necessidade. A Figura 22 ilustra a torre de fixação do atuador, bem como o flange (2) para permitir a variação de ângulo.

Figura 22- Torre de acoplamento do atuador em ângulo



Fonte: O Autor (2023)

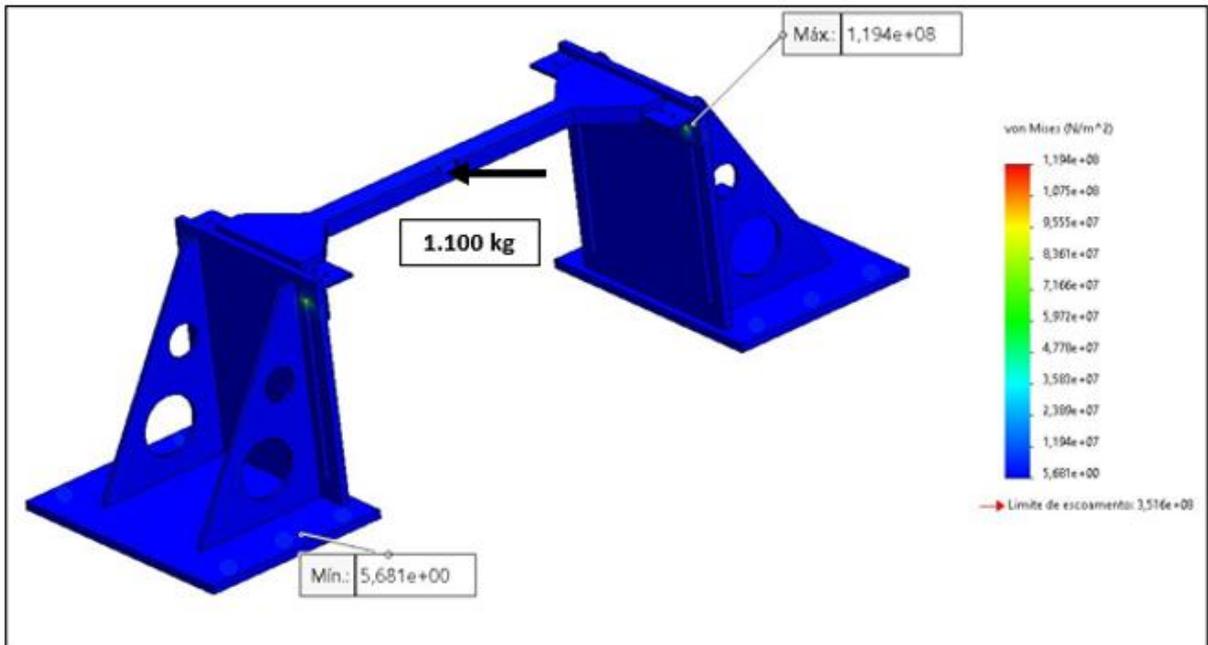
#### 4.4.1 Análise estrutural

Conforme capítulo 4.2.1, a maior força de atuação para o teste considerando o maior veículo, de acordo com a Equação (1) onde relaciona a massa do veículo ( $m_M$ ) com a massa do reboque ( $m_R$ ) e a aceleração da gravidade ( $g$ ), é de 1075,3 kg. Esta carga foi arredondada para 1100 kg e utilizada para o dimensionamento da junta parafusada no capítulo 4.2.2 e para a junta soldada no capítulo 4.2.3, com a utilização do maior comprimento de engate de reboque, que é de 1303 mm. Esta combinação foi considerada a condição mais severa dos testes. Esta condição foi utilizada com o intuito dos dimensionamentos e análise estrutural, pois a força de aplicação e a dimensão do engate de reboque, são de veículos diferentes, ocasionando uma baixa probabilidade desta combinação ser aplicada em testes de campo. Na prática, a força de aplicação ou comprimento total será menor, habilitando o dispositivo a realização de testes mais severos ocasionalmente e obtendo maior durabilidade em testes contínuos.

Realizando a análise estática via *software Solid Works* nas condições de contorno estabelecidas aplicando 1.100 Kg de força na situação que simula o maior produto fabricado com 1303 mm, a Figura 23 apresenta a estrutura de fixação dos engates de reboque com uma barra fixa simulando o mesmo. A barra é composta pelo mesmo material de fabricação dos engates de reboque bem como mesma a dimensão de matéria prima. O resultado final ficou dentro dos limites de tensão. O material aço carbono SAE 1020 tem como limite de escoamento

3,516e +08 MPa, e a estrutura apresentou tensão máxima na região da junta parafusada com 1,194e +08 MPa, ou seja 34% do limite. Já a menor tensão registrada foi de 5,684 MPa na região plana de apoio com o solo.

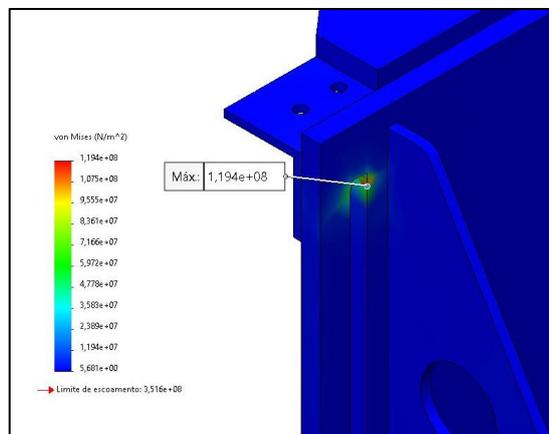
Figura 23- Análise estática da estrutura



Fonte: O Autor (2023)

A Figura 24 evidencia a vista aproximada do ponto de maior concentração de tensão, onde está localizada a junta parafusada.

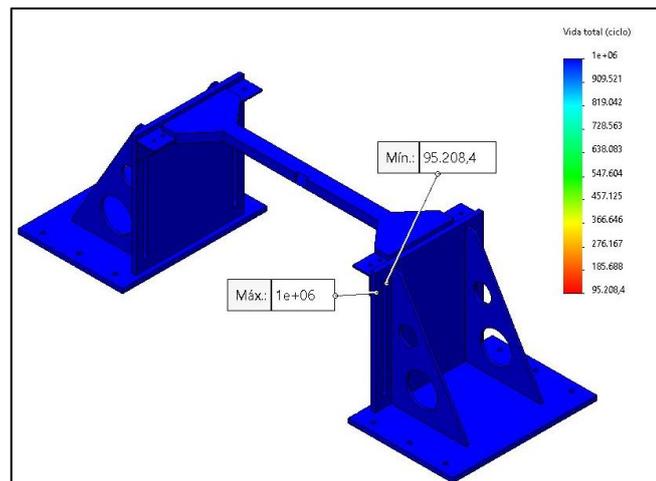
Figura 24- Ponto concentrador de tensão



Fonte: O Autor (2023)

Após a obtenção dos resultados estáticos, o conjunto foi submetido à uma análise de fadiga a fim de estimar sua vida útil. A análise também realizada no *software Solid Works*, avaliou os resultados através da obtenção da malha fina triangular caracterizando uma análise bidimensional. A Figura 25 demonstra que o dispositivo de modo geral atingiu a resistência superior a 1 milhão de ciclos, o que caracteriza vida infinita. Na região da união pela junta parafusada, o ponto de encaixe do parafuso ficou com maior concentração de tensão, obtendo uma vida útil 10,5 vezes menor que o conjunto. Isto demonstra que o parafuso dimensionado atende plenamente os requisitos de projeto, porém sua vida útil em comparação ao dispositivo é menor. Nesta situação a ação que pode ser tomada ao longo dos testes, é a troca dos componentes de fixação (parafuso, arruela e porca) a fim de garantir o pleno funcionamento do dispositivo.

Figura 25- Análise de fadiga do dispositivo



Fonte: O Autor (2023)

## 5 CONCLUSÃO

O objetivo geral deste trabalho foi o desenvolvimento de um dispositivo para teste mecânico em engates de reboque e posterior validação experimental da carga de tração de projeto, sendo alcançado com êxito, visando as expectativas do projeto em poder efetuar os ensaios em todos os modelos de engates de reboque já desenvolvidos pela empresa devido ao dispositivo permitir o ajuste de comprimento total abrangendo os 96 modelos existentes. Também conta com a possibilidade da realização dos testes com todas as respectivas cargas de atuação e até mesmo podendo aumentar o escopo de produtos para o segmento de *pick up*'s de grande porte que possuem capacidade de reboque de 3500 kg, superior aos 1500 kg utilizados até então como máxima capacidade de reboque para os produtos.

Após pesquisa realizada para determinar todas as variações de tamanhos dos modelos de engates de reboque e métodos de construção, desenvolveu-se o projeto de um dispositivo eletromecânico para ensaios de fadiga de acordo todos os requisitos da Norma ABNT NBR ISO 3853:1998, a qual rege o método de realização dos ensaios de fadiga para engates de reboque.

Além da cobertura de todo o portfólio, o dispositivo é projetado para atuação constante em 5 Hz, capaz de executar um teste completo de 2.000.000 de ciclos em 4,6 dias, atendendo possível projeção futura de dois lançamentos de novos produtos por mês.

O projeto foi desenvolvido no *software* de desenho *Solid Works*, onde foi possível dimensionar a bancada de fixação do produto e dos componentes utilizados para o ensaio. A proposta utilizada foi utiliza-se um atuador eletromecânico no centro da bancada a fim de distribuir a carga de aplicação igualmente sobre o produto. A estrutura do produto foi projetada em aço SAE 1020 e também se utilizou um atuador eletromecânico, célula de carga, drive de controle e uma unidade de controle para geração dos dados.

Por questões de tempo hábil, prazo de entrega dos fornecedores dos componentes necessários e disponibilidade de verba neste segundo semestre de 2023, não foi possível realizar a construção do dispositivo. Devido a este fato, como sugestão para trabalhos futuros, pode-se realizar a aquisição dos componentes e construção do dispositivo. Outra proposta para a execução do projeto, é a realização de uma parceria entre a empresa Keko Acessórios S/A e a Universidade de Caxias do Sul (UCS), tendo em vista a ampliação do escopo de ensaios da Universidade e possibilidade de homologação dos produtos na cidade de Caxias do Sul, a qual não possui nenhum laboratório de testes para engates de reboque. Com a criação desta parceria,

o investimento de construção do projeto fica a cargo da empresa, enquanto o espaço físico, mão de obra para a realização dos testes, certificações necessárias para homologação de produto e relatórios a cargo da Universidade. Esta opção se torna atrativa, pois com a união das organizações será possível a emissão dos laudos de aprovação, tornando economicamente mais viável ainda o projeto.

## REFERÊNCIAS

- ANFAVEA – ASSOCIAÇÃO NACIONAL DOS FABRICANTES DE VEÍCULOS AUTOMOTORES. DOI: <https://anfavea.com.br/site/edicoes-em-excel/>. Acesso em: 10 mar. 2023.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR ISO 3853**: Veículos rodoviários – Dispositivos de acoplamento mecânico do veículo de tração para reboques-moradia – (trailers) e reboques leves – Ensaio de resistência mecânica. Rio de Janeiro, 1998.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR ISSO/IEC 17025**: Requisitos gerais para a competência de laboratórios de ensaio de calibração. 2º edição, 2005.
- CONSELHO NACIONAL DE TRÂNSITO - BRASIL. **Resolução Contran Nº 937**. 63. ed. Brasil, 01 abr. 2022. Seção 1, p. 126-126.
- MINISTÉRIO DA ECONOMIA/INSTITUTO NACIONAL DE METROLOGIA, QUALIDADE E TECNOLOGIA. **PORTARIA Nº 309**: Aprova o Regulamento Técnico da Qualidade para Fornecedor de Dispositivo de Acoplamento Mecânico (Engate) - Consolidado. 5 jul. 2022.
- LINSINGEN, I. V. Fundamentos de Sistemas Hidráulicos. 4. Ed. Ver. – Florianópolis: Ed. Da UFSC, 2013.
- FIALHO, Eng. A. B. Automação Hidráulica, Projetos, Dimensionamentos e Análise de Circuitos. 6. Ed. São Paulo, 2012.
- MARINHO, G. Introdução à hidráulica proporcional, DOI: <https://hidraulicaepneumatica.com/introducao-a-hidraulica-proporcional/>. Acesso em 20 mai. 2023
- DE LAS HERAS, S. Fluidos, bombas e instalações hidráulicas. 2. Ed. Barcelona, 2018.
- TRONCA, Rafael. Introdução à hidráulica: módulos 1 ao 4. Caxias do Sul: 2022. Color. Disciplina HID0203A UCS
- ALVA, Juan Gerardo Castillo. Controle por Aprendizado de Sistemas Servo – Hidráulicos de Alta Frequência. 2008. 94 f. Monografia (Especialização) - Curso de Engenharia Mecânica, Puc - Rio, Rio de Janeiro, 2008. Cap. 3
- MACINTYRE, A. J. Bombas e instalações de bombeamento. 2. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2016.
- OLIVEIRA, Jean Rosa. DESENVOLVIMENTO DE UM APLICATIVO MÓVEL PARA DIMENSIONAMENTO DE UNIDADES HIDRÁULICAS. 2021. 62 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Mecânica, Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Piauí, Teresina, 2021. Cap. 1.

PEREIRA, Pedro Ivo Inacio. ANÁLISE TEÓRICO-EXPERIMENTAL DE CONTROLADORES PARA SISTEMAS HIDRÁULICOS. 2006. 163 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Mecânica, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2006. Cap. 2.

SIMÕES, Roberto Mac Intyer. Sistemas hidráulicos e pneumáticos. Londrina: Editora e Distribuidora Educacional S.A., 2016.

NORTON, Robert L.. **PROJETO DE MÁQUINAS**: uma abordagem integrada. 4. ed. Massachusetts: Bookman, 2013. 1042 p.

**GRISON, Vagner. PROJETOS DE SISTEMAS MECÂNICOS: uniões parafusadas. Caxias do Sul: -, 2021. 40 p**

## OBRAS CONSULTADAS

ANFAVEA – ASSOCIAÇÃO NACIONAL DOS FABRICANTES DE VEÍCULOS AUTOMOTORES. DOI: <https://anfavea.com.br/site/edicoes-em-excel/>. Acesso em: 10 mar. 2023.

CÓDIGO DE TRÂNSITO BRASILEIRO.

DOI:[http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/leis/19503compilado.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/19503compilado.htm). Acesso em 06 de abr. 2023.

SAVARAUTO. **Ficha técnica RAM 1500**. 2023. Disponível em: [https://www.savarautoram.com.br/ram-caxias-do-sul/novos/ram-1500-laramie?utm\\_source=google%3Asearch&utm\\_medium=search&utm\\_campaign=CAXIASDOSUL\\_INSTITUCIONAL\\_SAVARAUTO\\_SUL\\_790621](https://www.savarautoram.com.br/ram-caxias-do-sul/novos/ram-1500-laramie?utm_source=google%3Asearch&utm_medium=search&utm_campaign=CAXIASDOSUL_INSTITUCIONAL_SAVARAUTO_SUL_790621). Acesso em: 01 jun. 2023.

SAVARAUTO. **Ficha técnica RAM 2500**. 2023. Disponível em: [https://www.savarautoram.com.br/ram-caxias-do-sul/novos/ram-2500-laramie?utm\\_source=google%3Asearch&utm\\_medium=search&utm\\_campaign=CAXIASDOSUL\\_INSTITUCIONAL\\_SAVARAUTO\\_SUL\\_790621](https://www.savarautoram.com.br/ram-caxias-do-sul/novos/ram-2500-laramie?utm_source=google%3Asearch&utm_medium=search&utm_campaign=CAXIASDOSUL_INSTITUCIONAL_SAVARAUTO_SUL_790621). Acesso em: 01 jun. 2023.

SAVARAUTO. **Ficha técnica RAM 3500**. 2023. Disponível em: [https://www.savarautoram.com.br/ram-caxias-do-sul/novos/ram-3500-laramie?utm\\_source=google%3Asearch&utm\\_medium=search&utm\\_campaign=CAXIASDOSUL\\_INSTITUCIONAL\\_SAVARAUTO\\_SUL\\_790621](https://www.savarautoram.com.br/ram-caxias-do-sul/novos/ram-3500-laramie?utm_source=google%3Asearch&utm_medium=search&utm_campaign=CAXIASDOSUL_INSTITUCIONAL_SAVARAUTO_SUL_790621). Acesso em: 01 jun. 2023.

FORD. **Ficha técnica F-150**. 2023. Disponível em: <https://www.ford.com.br/picapes/f-150/compare-as-versoes/platinum/>. Acesso em: 01 jun. 2023.

**BALBINOT, Lucas**. ENSAIO DE UM ENGATE DE REBOQUE ATRAVÉS DE ELEMENTOS FINITOS E DESENVOLVIMENTO DE DISPOSITIVO PARA VALIDAÇÃO EXPERIMENTAL. 2017. 67 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Mecânica, Ucs, Caxias do Sul, 2017. Cap. 3.

GOMES, Marcio Rodrigues *et al.* **APOSTILA DE HIDRÁULICA**. Bahia: Cfet-Ba, 2008. 65 p.

**ANEXO A – QUADRO DE ITENS DE FIXAÇÃO DE JUNTA PARAFUSADA**

Quadro 7- Itens de fixação utilizados em junta parafusada

<b>ITEM DE FIXAÇÃO</b>	<b>NORMA REF.</b>	<b>BITOLA (mm)</b>	<b>QUANTIDADE</b>
Parafuso sextavado externo rosca parcial M20 x 2,5 x 60	DIN 931	20	4
Arruela de pressão 20 x 32 x 2,4	DIN 127	20	4
Porca auto frenante M20 x 2,5	DIN 982	20	4

Fonte: O autor (2023)

## ANEXO B – ESPECIFICAÇÕES PARA DIMENSIONAMENTO DE SOLDA LIVRO NORTON

Figura 26- Tamanho de solda com base na espessura de metal-base

Espessura do metal-base (T)	Tamanho mínimo da solda
<u>dimensões em polegadas</u>	
$T \leq 1/4$	1/8
$1/4 < T \leq 1/2$	3/16
$1/2 < T \leq 3/4$	1/4
$3/4 < T$	5/16
<u>dimensões em mm</u>	
$T \leq 6$	3
$6 < T \leq 12$	5
$12 < T \leq 20$	6
$20 < T$	8

Fonte: Norton (2013)

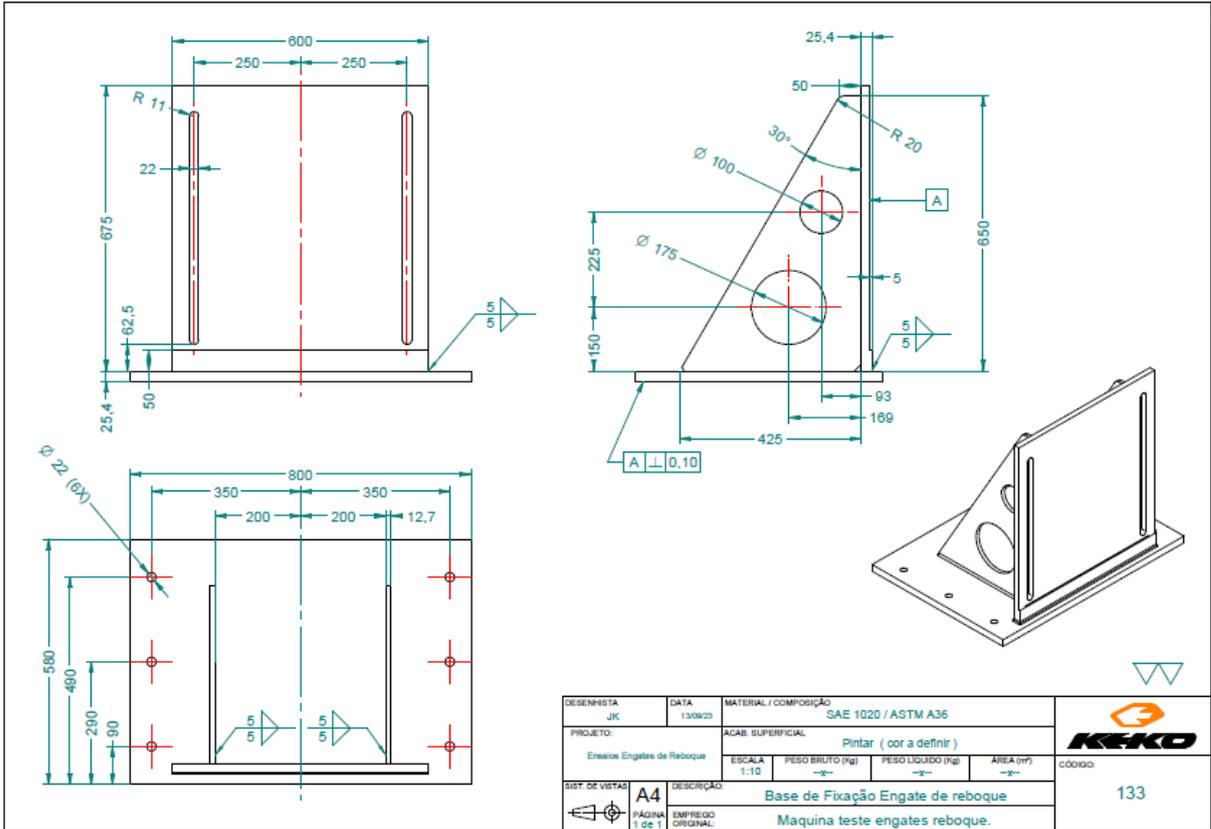
Figura 27- Categorias de solda

Categoria AISC	$C_f$ ips	$S_{cr}$ kpsi
A	250 E08	24,0
B	120 E08	16,0
B'	61 E08	12,0
C	44 E08	10,0
D	22 E08	10,0
E	11 E08	4,5
E'	3,9 E08	2,6
F	150 E10	8,0

Fonte: Norton (2013)

## ANEXO C – DESENHO 2D DO DISPOSITIVO DE FIXAÇÃO DOS ENGATES DE REBOQUE

Figura 28- Estrutura de fixação dos engates de reboque



Fonte: Keko Acessórios (2023)