



# **Desenvolvimento do chassi de um reboque para transporte de veículos ligeiros**

Mestrado em Engenharia Automóvel

Mariana Lourenço Fernandes

Leiria, setembro de 2022



# **Desenvolvimento do chassi de um reboque para transporte de um veículo ligeiro**

Mestrado em Engenharia Automóvel

Mariana Lourenço Fernandes

Dissertação realizada sob a orientação do Professor Doutor Fernando da Conceição Batista  
e do Professor Sérgio Pereira dos Santos

Leiria, setembro de 2022

# **Originalidade e Direitos de Autor**

A presente dissertação é original, elaborada unicamente para este fim, tendo sido devidamente citados todos os autores cujos estudos e publicações contribuíram para a elaborar.

Reproduções parciais deste documento serão autorizadas na condição de que seja mencionada a Autora e feita referência ao ciclo de estudos no âmbito do qual a mesma foi realizado, a saber, Curso de Mestrado em Engenharia Automóvel, no ano letivo 2021/2022, da Escola Superior de Tecnologia e Gestão do Instituto Politécnico de Leiria, Portugal, e, bem assim, à data das provas públicas que visaram a avaliação destes trabalhos.

# **Agradecimentos**

Inicialmente, gostaria de agradecer aos meus orientadores o Professor Sérgio Santos e o Professor Fernando Batista, que durante todo o desenvolvimento do projeto me apoiaram, dedicando muito do seu tempo e paciência para me orientar.

Os meus maiores agradecimentos são dedicados ao meu marido e aos meus pais pelo incentivo e apoio, não só durante o desenvolvimento deste projeto, mas durante estes dois anos de formação.

# Resumo

O presente relatório apresenta os trabalhos desenvolvidos no âmbito da dissertação de conclusão do Mestrado em Engenharia Automóvel.

Esta dissertação foi elaborada com o fim de se obter um semirreboque com uma plataforma com sistema basculante que permitisse que o estrado no qual está apoiado o veículo, apresentasse um mecanismo de descida até ao solo para facilitar o carregamento e o descarregamento dos veículos transportados, eliminando a necessidade de existirem extratos amovíveis.

Estando envolvido o dimensionamento de um semirreboque para circulação da via rodoviária pública foi efetuada uma análise cuidada às normas e regulamentos europeus que definem os requisitos para a construção de um semirreboque de categoria O2, garantindo-se assim o cumprimento da legislação portuguesa em vigor. Também no dimensionamento do semirreboque foram consideradas as exigências de carregamentos que um semirreboque desta categoria vai estar sujeito durante a sua vida útil.

Neste trabalho são apresentadas modelações efetuadas do chassi, do sistema de elevação e rebaixamento e são também apresentados os cálculos dos esforços que o semirreboque vai estar sujeito a nível estático e dinâmico.

Posteriormente, com os dados provenientes dos cálculos analíticos foram realizadas as simulações numéricas usando o método dos elementos finitos para conhecer o estado de tensão e deformação da estrutura do semirreboque.

Apresenta-se neste relatório uma avaliação cinemática e funcional do sistema de elevação proposto e ainda uma avaliação sobre os resultados do dimensionamento mecânico ao nível dos esforços suportados pela estrutura dos semirreboques. Propostas de melhoria e de futuros desenvolvimentos são também apresentados.

**Palavras-chave:** Semirreboque, Rampa, Elementos Finitos, Simulações Numéricas, Chassi

# Abstract

This report presents the work developed in the framework of the dissertation of completion of the master's degree in Automotive Engineering.

This dissertation was elaborated to obtain a semitrailer with a platform with tilting system that would allow the platform on which the vehicle is supported, to present a mechanism of descent to the ground to facilitate the loading and unloading of vehicles transported, eliminating the need for removable extracts.

When the sizing of a semitrailer for the circulation of the public road was involved, a careful analysis was carried out to the European standards and regulations that define the requirements for the construction of a semitrailer category O2, thus ensuring compliance with the Portuguese legislation in force. Also, in the sizing of the semi-trailer were considered the requirements of loading that a semi-trailer of this category will be subject during its useful life.

This work presents models made of the chassis, the lifting and lowering system and presents the calculations of the efforts that the semi-trailer will be subject to at the static and dynamic level.

Subsequently, with the data from the analytical calculations, numerical simulations were performed using the finite element method to know the state of stress and deformation of the semitrailer structure. This report presents a kinematic and functional evaluation of the proposed lifting system and an evaluation of the results of mechanical dimensioning at the level of the efforts supported by the structure of the semi-trailers. Proposals for improvement and future developments are also presented.

**Keywords:** Semi-trailer, Ramp, Finite Elements, Numerical Simulation, Ansys, Chassis

# Índice

<b>Originalidade e Direitos de Autor</b> .....	<b>iii</b>
<b>Agradecimentos</b> .....	<b>iv</b>
<b>Resumo</b> .....	<b>v</b>
<b>Abstract</b> .....	<b>vi</b>
<b>Lista de Figuras</b> .....	<b>ix</b>
<b>Lista de Tabelas</b> .....	<b>xi</b>
<b>Lista de Gráficos</b> .....	<b>xii</b>
<b>Lista de Equações</b> .....	<b>xiii</b>
<b>Lista de siglas e acrónimos</b> .....	<b>xiv</b>
<b>1. Introdução</b> .....	<b>1</b>
<b>1.1. Especificações do Projeto</b> .....	<b>2</b>
<b>1.2. Objetivos do trabalho</b> .....	<b>2</b>
<b>2. Estrutura do Relatório da Tese</b> .....	<b>3</b>
<b>3. Estado da Arte</b> .....	<b>4</b>
<b>3.1. Enquadramento</b> .....	<b>4</b>
<b>3.2. Definição de um semirreboque</b> .....	<b>6</b>
<b>3.3. Legislação</b> .....	<b>8</b>
<b>3.4. Dimensionamento do Chassi</b> .....	<b>14</b>
<b>3.5. Análise de Esforços no Semirreboque</b> .....	<b>16</b>
<b>3.6. Método dos Elementos Finitos</b> .....	<b>21</b>
3.6.1. Software comercial Ansys .....	<b>23</b>
<b>3.7. Sistema Hidráulico</b> .....	<b>23</b>
<b>3.8. Materiais</b> .....	<b>25</b>
3.8.1. Tubo Aço S355J2H .....	<b>27</b>
3.8.2. Alumínio AW5754 (AlMg3) .....	<b>27</b>
<b>4. Seleção e Dimensionamento de Componentes</b> .....	<b>29</b>
<b>4.1. Eixos</b> .....	<b>29</b>

<b>4.2.</b>	<b>Engate e Roda Jóquei.....</b>	<b>31</b>
<b>4.3.</b>	<b>Jantes e Pneus .....</b>	<b>32</b>
<b>4.4.</b>	<b>Estrutura do chassi.....</b>	<b>33</b>
<b>4.5.</b>	<b>Sistema de Iluminação .....</b>	<b>35</b>
<b>5.</b>	<b>Desenvolvimento do Projeto .....</b>	<b>37</b>
<b>5.1.</b>	<b>Projeto Estrutural do Reboque.....</b>	<b>37</b>
5.1.1.	Dimensionamento Hidráulico .....	37
5.1.2.	Cálculo das Forças .....	39
5.1.2.1.	Forças Estáticas .....	39
5.1.2.2.	Forças Dinâmicas .....	41
<b>5.2.</b>	<b>Modelação CAD.....</b>	<b>43</b>
<b>5.3.</b>	<b>Apresentação do mecanismo de elevação.....</b>	<b>44</b>
<b>6.</b>	<b>Resultados Ansys .....</b>	<b>47</b>
<b>7.</b>	<b>Conclusão e sugestões para trabalhos futuros.....</b>	<b>57</b>
<b>7.1.</b>	<b>Conclusão .....</b>	<b>57</b>
<b>7.2.</b>	<b>Sugestões para trabalhos futuros.....</b>	<b>58</b>
<b>8.</b>	<b>Bibliografia .....</b>	<b>59</b>
<b>9.</b>	<b>Apêndice.....</b>	<b>63</b>
<b>9.1.</b>	<b>Apêndice 1.....</b>	<b>63</b>

# Lista de Figuras

Figura 1 – Semirreboque de 1 eixo (Nautiquad, 2022).....	4
Figura 2 – Semirreboque de 2 eixos e com cobertura (TopTrailer, 2022).....	5
Figura 3 – Semirreboque para barcos (Na Linha Trailers, 2022) .....	5
Figura 4 – Semirreboque para bicicletas e motas (Nautiquad, 2022) .....	5
Figura 5 – Semirreboque com caixa de carga (Nautiquad, 2022).....	6
Figura 6 - coordenadas fixas do veículo (Gillespie, 1992).....	18
Figura 7 – Viatura a passar por cima de uma lombaa com as duas rodas ao mesmo tempo (Jason C. Brown, 2002).....	18
Figura 8 – viatura a passar por cima de um obstáculo com 1 roda de cada vez (Jason C. Brown, 2002).....	19
Figura 9 – Forças presentes num veículo (Jason C. Brown, 2002).....	20
Figura 10 - Circuito Hidráulico (José Danilo Rairán Antolines, 2006) .....	25
Figura 11 – Semirreboque com todos os componentes montados .....	29
Figura 12 – Eixo Knott (Knott GmbH, s.d.).....	30
Figura 13 – Desenho 2D do Eixo (Knott GmbH, s.d.) .....	30
Figura 14 – Engate de Reboque com Roda Jóquei (Knott GmbH, s.d.) .....	31
Figura 15 – Imagem 2D do engate de reboque com medidas (Knott GmbH, s.d.).....	31
Figura 16 – Indicação de montagem do engate de reboque (Knott GmbH, s.d.).....	32
Figura 17 – Jantes e Pneus (Knott GmbH, s.d.).....	33
Figura 18 – Formato do Perfil Retangular .....	33
Figura 19 – Chassi do Semirreboque.....	34
Figura 20 – Chapa perfurada Aveimaster (Aveimaster, 2019) .....	34
Figura 21 – Chassi com as chapas perfuradas .....	35
Figura 22 – Esquema de ligação de ficha de 7 PIN .....	36
Figura 23 – Conjunto de luzes semirreboque (Unitrailer, s.d.).....	36
Figura 24 – Ponto onde foi retirada a força do cilindro hidráulico.....	37
Figura 25 – BMW Serie 3 G20.....	39
Figura 26 – Aplicação das Forças Estáticas .....	40
Figura 27 - Aplicação das Forças Dinâmicas .....	42

Figura 28 – Chassi do Semirreboque .....	43
Figura 29 – Chassi completo do semirreboque .....	44
Figura 30 – Caixa para sistema hidráulico .....	44
Figura 31 – Chapa de fixação do cilindro hidráulico e da longarina que vai ao engate .....	44
Figura 32 – Semirreboque na posição de andamento.....	45
Figura 33 - Semirreboque na posição de carga e descarga.....	45
Figura 34 – Mecanismo de rebaixamento e elevação.....	45
Figura 35 – Peças montadas no eixo dianteiro .....	46
Figura 36 – Peças montadas no eixo traseiro .....	46
Figura 37 – Quadro com as análises Ansys.....	47
Figura 38 – Quadro Ansys com o projeto de análise .....	48
Figura 39 – Características de material utilizado no Ansys .....	48
Figura 40 – Características do segundo material utilizado no Ansys.....	49
Figura 41 – Peça com malha de tamanho 25.....	49
Figura 42 – Segunda peça com tamanho de malha 25 .....	50
Figura 43 – Características de malha da estrutura.....	50
Figura 44 – Forças e encastramentos aplicados a estrutura.....	51
Figura 45 – Análises efetuadas no Ansys.....	51
Figura 46 – Resultados da Tensão Equivalente de Von-Mises .....	52
Figura 47 – Resultados específicos da tensão equivalente de Von-Mises.....	52
Figura 48 – Ponto máximo da tensão .....	53
Figura 49 – Resultados da deformação .....	53
Figura 50 – Resultados do fator de segurança.....	54
Figura 51 – Resultados específicos do fator de segurança .....	54
Figura 52 – Valor mínimo do fator de segurança.....	55
Figura 53 – Resultados da Fadiga .....	55
Figura 54 – Resultados específicos da fadiga .....	56

# Lista de Tabelas

Tabela 1 – Diretivas a respeitar na Homologação .....	9
Tabela 2 – Fatores de segurança e dinâmica (Jason C. Brown, 2002).....	19
Tabela 3 – Fatores globais de carga de travagem (Jason C. Brown, 2002) .....	19
Tabela 4 – Coeficientes de atrito (Instituto da Mobilidade e dos Transportes, I.P, 2012).....	21
Tabela 5- Composição Química do Aço S355J2H .....	27
Tabela 6 – Propriedade Mecânicas do Aço S355J2H.....	27
Tabela 7 – Composição Química do Alumínio AW5754.....	28
Tabela 8- Propriedade mecânicas do Alumínio AW5754 .....	28
Tabela 9 – Dados do Eixo (Knott GmbH, s.d.) .....	30
Tabela 10 – Dados Técnicos do Engate de reboque (Knott GmbH, s.d.) .....	31
Tabela 11 – Dados Técnicos das jantes e pneus (Knott GmbH, s.d.) .....	32
Tabela 12 – Característica da Bomba electro-hidráulica .....	38
Tabela 13 – Dimensões BMW Série 3 .....	39
Tabela 14 – Dimensões do conjunto reboque e veículos.....	40

# Lista de Gráficos

Gráfico 1 – Comparação da massa de diversos perfis sob pressão em relação a carga (Costa, 2012) .....	26
Gráfico 2 - Força de Reação no cilindro hidráulico .....	38

# Lista de Equações

(1).....	14
(2).....	14
(3).....	15
(4).....	15
(5).....	15
(6).....	15
(7).....	15
(8).....	16
(9).....	16
(10).....	17
(11).....	17
(12).....	20
(13).....	20
(14).....	20
(15).....	20
(16).....	38
(17).....	38
(18).....	41
(19).....	41
(20).....	41
(21).....	42
(22).....	42
(23).....	42
(24).....	43
(25).....	43

## Lista de siglas e acrónimos

$B^*$	Força de travagem necessária
CAD	Desenho assistido por computador
ESTG	Escola Superior de Tecnologia e Gestão
$F_y$	Força no engate de reboque
$F_t$	Força horizontal nos eixos
$G_A$	Massa máxima do reboque
$P_v$	Peso do veículo
$P_r$	Peso do reboque
t	Tonelada
V	Volts
$W_{eixo}$	Força vertical nos eixos
$\sigma_m$	Tensão média

# 1. Introdução

A procura de produtos de máxima qualidade na indústria automóvel obriga a que se esteja em constante desenvolvimento de novas técnicas para projetar novos produtos. A tendência mundial é atingir níveis de segurança cada vez maiores para os componentes estruturais dos veículos sem que isso implique um sobredimensionamento dos mesmos.

As técnicas de análise de componentes mecânicos, com a utilização de ferramentas computacionais, tais como o método dos elementos finitos e métodos de cálculo de fiabilidade, tem permitido o dimensionamento de estruturas com níveis de segurança pré-determinados, permitindo a redução de custos, de tempo de desenvolvimento e lançamento de novos produtos, possibilitando o estudo de alternativas mais funcionais e a otimização de soluções já conhecidas de forma mais rápida e eficiente. (Santos & Barbosa, 2004)

Um semirreboque geralmente consiste num veículo não motorizado que é conectado através de um engate de reboque a uma viatura motorizada, como um jipe ou uma viatura ligeira. (Operation of long semi-trailers in the United States, 2003)

Os semirreboques têm diversas funcionalidades e podem ser utilizados para transporte de diversas cargas, como automóveis, motas, barcos, entre outras. Existem vários tipos de semirreboques no mercado, distinguindo-se por categorias da massa máxima de carga.

Uma das grandes vantagens de um semirreboque é a sua flexibilidade na utilização, sendo rápidos de acoplar e desacoplar, o que permite uma rápida troca do veículo trator. Mais uma vantagem é a sua excelente relação custo-benefício. A utilização de rampas nos semirreboques para carregar e/ou descarregar os veículos do reboque torna a sua utilização ligeiramente menos prática e mais demorada, e o que se propõe neste trabalho é suprimir as mesmas tornando o processo de carregamento e /ou descarregamento mais prático e rápido.

O trabalho desta dissertação inicia-se com análise das normas europeias e nacionais de forma a ser possível definir as necessidades e as dimensões máximas admissíveis na estrada, para um semirreboque. Após esta fase procedeu-se à modelação CAD. De seguida realizam-se as simulações necessárias para verificar as tensões e deformações presentes na estrutura

e concluir se o dimensionamento efetuado vai suportar as cargas presentes durante a sua utilização.

## **1.1. Especificações do Projeto**

Pretende-se desenvolver um semirreboque de 2 eixos para uma carga de até 3500 kg. Componentes como os eixos, jantes, engate de reboque e pneus vão ser utilizados já com homologação, centrando todos os desenvolvimentos no dimensionamento do chassi e de um sistema hidráulico conectado aos eixos de forma que a plataforma desça o mais perto do nível do chão, facilitando assim o carregamento e descarregamento do veículo.

## **1.2. Objetivos do trabalho**

Os principais objetivos deste semirreboque vão ser os seguintes:

- Desenvolver um semirreboque para transporte de veículos ligeiros enquadrado na categoria O2;
- Projetar e modelar o sistema de elevação da plataforma do semirreboque para as situações de carga e descarga;
- Analisar as forças presentes no semirreboque desenvolvido;
- Analisar as tensões, a fadiga e o coeficiente de segurança na estrutura do semirreboque

## 2. Estrutura do Relatório da Tese

No capítulo inicial desta dissertação, fez-se uma contextualização do tema do projeto. São ainda referidos os objetivos e motivações para o desenvolvimento do trabalho.

No capítulo 3 são apresentados os fundamentos teóricos em que se baseia o desenvolvimento do trabalho. Abordam-se as diretivas e leis a seguir para a construção de um semirreboque. Seguidamente são analisados os conceitos necessários para uma análise das forças presentes num veículo, o método dos elementos finitos para uma análise estrutural do chassi. São ainda abordados os procedimentos necessários para a utilização dos softwares necessários.

No capítulo 4 são selecionados todos os componentes necessários para a montagem e funcionamento do semirreboque e são também apresentadas as características dos mesmos e a justificação na sua escolha.

No capítulo 5 e 6 são apresentados os cálculos da forças estáticas e dinâmicas do semirreboque e da força necessária do cilindro hidráulico com a respetiva escolha deste componente com base nos resultados obtidos. Apresenta-se a modelação CAD efetuada, com explicação do processo seguido para obtenção do modelo final. São indicados os passos efetuados para a realização das simulações no programa Ansys e apresentados os resultados obtidos.

No capítulo 7 apresentam-se as conclusões que se retiraram do trabalho e dos objetivos inicialmente propostos. Tecem-se ainda algumas possíveis sugestões de melhoria para trabalhos futuros.

## 3. Estado da Arte

### 3.1. Enquadramento

Após uma rápida análise ao mercado dos semirreboques em Portugal é possível verificar que existem algumas empresas que constroem e vendem semirreboques para transporte de veículos e as mais diversas cargas, mas também é possível encontrar empresas que importam de outros países fabricantes e depois fazem a revenda dos mesmos.

Para melhor abordagem dos diferentes semirreboques existentes, efetuou-se uma rápida pesquisa de mercado. Dos diferentes tipos de semirreboques destacam-se os seguintes:

- Semirreboques para transporte de automóveis;
- Semirreboques para transporte de barcos;
- Semirreboques para transporte de motas e bicicletas;
- Semirreboques de carga;

Os semirreboques para transporte de automóveis podem ser abertos ou fechadas e ainda divergir entre um ou dois eixos. Na figura 1 e 2 é possível visualizar os dois tipos de semirreboques mencionado.



Figura 1 – Semirreboque de 1 eixo (TopTrailer, 2022)



Figura 2 – Semirreboque de 2 eixos e com cobertura (Nautiquad, 2022)

Outro tipo de semirreboques são os de transporte de barcos, estes têm um formato diferente e por norma são utilizados materiais bastante resistentes à corrosão devido a água do mar. Na figura 3 encontra-se um exemplo de um semirreboque para transporte de barcos.



Figura 3 – Semirreboque para barcos (Na Linha Trailers, 2022)

O transporte de motos e bicicletas implica que o semirreboque contenha um encaixe próprio para as rodas dos veículos a transportar, como se pode observar na figura 4.



Figura 4 – Semirreboque para bicicletas e motos (Nautiquad, 2022)

Por fim temos os reboques de carga que assim como, os de transporte de automóveis também se podem dividir em abertos ou fechados e com um ou dois eixos. A característica que os distingue dos demais é a caixa de carga, como se pode observar na figura 5.



Figura 5 – Semirreboque com caixa de carga (Nautiquad, 2022)

O presente projeto consiste no dimensionamento de um semirreboque destinado ao transporte de automóveis, sendo mais direcionado para veículos clássicos e/ou carros desportivos.

Pude constatar que existe alguma escassez de oferta mais personalizada deste género de veículos, práticos e fáceis de manusear. Esta escassez pode ser derivada a diversos fatores, sendo que por um lado temos a questão burocrática que torna o processo de homologação complicado e demorado, mas também pode colocar-se a questão do desenvolvimento, pois utilização de programas de simulação computacional pode ser um entrave devido ao custo destes programas.

A ideia inicial deste projeto surgiu da necessidade pessoal de construir um semirreboque para transporte de veículos clássicos que seja prático na sua utilização e que o ângulo que faz com o chão seja o menor possível de forma a conseguir o carregamento dos veículos com uma distância muito reduzida ao solo.

### **3.2. Definição de um semirreboque**

Um semirreboque é um veículo não motorizado que se acopla a um veículo trator, que permite o transporte por via rodoviária de diversos tipos de carga.

Os semirreboques têm uma utilização bastante vasta devido à sua versatilidade permitindo que sejam carregados com baixas cargas, mas também com peso e volumes elevados. A possibilidade de serem acoplados a diferentes veículos tratores de forma rápida e fácil é mais uma das grandes mais valias deste tipo de veículos. (Silva, 2013)

O Instituto da Mobilidade e dos Transportes, IMT, divide os veículos por grupos sendo que os reboques e semirreboques se enquadram na categoria O, esta por sua vez se subdivide nas seguintes subcategorias:

- O1 – reboques com massa máxima não superior a 0,75 t;
- O2 – reboques com massa máxima superior a 0,75 t mas não superior a 3,5 t;
- O3 – reboques com massa superior a 3,5 t mas não superior a 10 t;
- O4 – reboques com massa superior a 10 t. (Instituto da Mobilidade e dos Transportes, I.P, 2012)

Os semirreboques são equipados com alguns equipamentos como eixos, sistemas de travagem, suspensões, engate de reboque, quinta roda, entre outros, exigindo um desenvolvimento e ensaios bastante rigorosos. Existem, por isso, diversas empresas na indústria dos reboques e semirreboques especialistas no projeto e produção desses componentes.

Ao dimensionar um semirreboque é da responsabilidade do projetista selecionar os componentes com uma capacidade compatível com as exigências a que o semirreboque vai estar sujeito.

Existem duas empresas que se destacam nesta área sendo elas a AL-KO e a KNOTT, ambas as empresas são alemãs e os seus produtos bastante semelhantes.

No mercado existem todos os componentes necessários para equipar um semirreboque já devidamente homologados.

### **Eixos**

Existe uma grande variedade de eixos podendo os mesmos divergir nos seguintes aspetos:

- Eixos sem travão incorporado;
- Eixos com travão incorporado;

- Capacidade de Carga;
- Dimensão da barra.

### **Engate de Reboque**

O engate para o reboque é o componente que vai fazer a ligação do semirreboque ao veículo trator. Há engates com características diferentes e, também por isso, é necessário ao escolher, ter os seguintes pontos em consideração:

- Eixo e engate devem ser produzidos pelo mesmo fabricante;
- O tipo de lança, pode ser em T ou em V;
- O diâmetro da bola de engate;
- O peso do semirreboque;
- Com ou sem sistema de travagem;
- Força no ponto de engate.

### **3.3. Legislação**

Numa sociedade existem regras e normas que têm de ser cumpridas, e no caso da produção de semirreboques também existem regras que têm de ser obrigatoriamente cumpridas, mesmo que isso implique um aumento dos custos de produção.

Os projetos de semirreboques exigem que sejam analisados diversos fatores relevantes à sua homologação, como atender a requisitos normativos, cumprir com as regras da legislação em vigor e responder adequadamente às exigências mecânicas das estradas por onde irão transitar. (Martins, 2008)

Em Portugal a legislação define que, os reboques em que o peso bruto, que é a soma da tara e da carga que o veículo pode transportar, quando não excede os 300 kg se encontram dispensados de matrícula, no entanto todos os que ultrapassam os 300 kg necessitam de matrícula própria.

É fundamental conhecer todas as normas a respeitar de forma a evitar problemas de não conformidade, conseguindo, à partida, encontrar a melhor solução de otimizar o produto. (Martins, 2008)

Assim enumera-se:

O Decreto-Lei n.º 40/2016 de 29 de julho que é uma transposição das diretivas europeias, regulamenta quais as habilitações necessárias para conduzir os diversos tipos de veículos.

Como mencionado anteriormente o reboque em desenvolvimento encontra-se na categoria O2 e a lei diz o seguinte “veículos a motor com massa máxima autorizada não superior a 3 500 kg, concebidos e construídos para transportar um número de passageiros não superior a oito, excluindo o condutor, a que pode ser atrelado um reboque com massa máxima até 750 kg ou, sendo esta superior, desde que a massa máxima do conjunto formado não exceda 3 500 kg”, apenas necessita de carta de condução com a categoria B. Para “conjuntos de veículos acoplados compostos por um veículo trator da categoria B e um reboque ou semirreboque com massa máxima autorizada não superior a 3 500 kg” é necessário carta B mais E. (Decreto-lei n.º 40/2016 de 26 de julho)

Para que um veículo possa circular na via pública é necessário que o mesmo cumpra os requisitos legais para se efetuar a homologação do veículo.

Para a homologação de um veículo é necessário seguir as regras presentes no Decreto-Lei n.º 16/2010 de 12 de março. Na tabela 1 são enumerados os regulamentos relativos aos veículos reboques da categoria O2.

Tabela 1 – Diretivas a respeitar na Homologação

***Diretivas a respeitar na Homologação***

<b><i>Diretiva</i></b>	<b>Regulamento</b>	<b>Tipo</b>
<i>70/222/CEE</i>		Espaço da chapa de matrícula da retaguarda.
<i>71/320/CEE</i>	Regulamento n.º 13	Travagem
<i>76/114/CEE</i>		Chapas (regulamentares)
<i>76/756/CEE</i>	Regulamento n.º 48	Instalação de dispositivos de iluminação e de sinalização luminosa.
<i>76/757/CEE</i>	Regulamento n.º 3	Dispositivos retrorrefletores para veículos a motor e seus reboques
<i>76/758/CEE</i>	Regulamento n.º 7	Luzes delimitadoras, de presença da frente, de presença da retaguarda, de travagem, de circulação diurna e de presença laterais.
<i>76/759/CEE</i>	Regulamento n.º 6	Luzes indicadoras de mudança de direção.

76/760/CEE	Regulamento n.º 4	Dispositivos de iluminação da chapa de matrícula da retaguarda.
77/538/CEE	Regulamento n.º 38	Luzes de nevoeiro da retaguarda.
77/539/CEE	Regulamento n.º 23	Luzes de marcha-atrás
2015/719		Massas e dimensões (outros veículos para além dos referidos no elemento 44).
94/20/CE	Regulamento n.º 55	Dispositivos de engate

## Travagem

O regulamento n.º 13 da Comissão Económica das Nações Unidas para a Europa, relativa a travagem indica que semirreboques da categoria O2 devem ser equipados com sistema de travagem de tipo contínuo, semicontínuo ou de inércia.

Travagem por inércia, a travagem realizada utilizando as forças geradas pela aproximação do reboque ao veículo trator.

Um sistema de travagem por inércia é constituído por um dispositivo de comando, uma transmissão e os travões das rodas. O dispositivo de comando são os componentes integrantes do engate de reboque; a transmissão são os componentes compreendidos entre saída do engate de reboque até a entrada do travão; e, por fim o travão de roda ou apenas travão é o órgão onde se desenvolvem as forças que se opõem ao movimento do veículo.

Existem alguns requisitos para o sistema da travagem de serviço:

- O sistema tem de atuar em todas as rodas do veículo;
- A ação de travagem deve ser repartida simetricamente pelas rodas do eixo;

O comportamento do veículo durante uma travagem com aderência reduzida deve cumprir requisitos os requisitos presentes no presente regulamento, sendo alguns deles os seguintes:

- Os componentes dos dispositivos de comando, travões e transmissão têm de ser compatíveis entre si;
- “A transmissão dos esforços da cabeça de engate aos travões do reboque deve realizar-se quer por mecanismo articulado, quer por um ou vários

fluidos. Pode, todavia, utilizar-se um cabo com bainha (cabo do tipo Bowden) para assegurar parte da transmissão; esta parte deve ser tão curta quanto possível.”

- O sistema de travagem por inércia deve permitir recuar o reboque por meio do veículo motorizado sem impor uma força de arrastamento continua que exceda  $0,8g \times G_A$ , sendo  $G_A$  a massa máxima tecnicamente admissível do reboque declarada pelo fabricante.
- Todas as articulações devem ser autolubrificadas ou facilmente acessíveis para lubrificação;
- “Os dispositivos de travagem por inércia devem ser dispostos de tal modo que, em caso de utilização do curso máximo da cabeça de engate, nenhuma parte da transmissão emperre, sofra uma deformação permanente ou se fracture. A verificação deve ser efetuada após o desengate da parte da transmissão das alavancas de comando do travão.”

### **Chapas (regulamentares)**

Pela Diretiva 76/114/CEE à chapa regulamentar corresponde uma chapa de características que tem de estar afixada num lugar de fácil acesso, mas que ao mesmo tempo não seja de fácil substituição tendo de conter os seguintes elementos:

- Nome do fabricante;
- Número da Homologação;
- Número de identificação do veículo;
- Peso máximo admissível pelo veículo;
- Peso máximo autorizado no prato;
- Peso máximo admissível por eixo.

### **Luzes delimitadoras, de presença da frente, de presença da retaguarda, de travagem, de circulação diurna e de presença laterais**

O regulamento n.º 7 da Comissão Económica da Nações Unidas para a Europa define as limitações e obrigações quanto a iluminação dos veículos. No caso dos reboques de categoria O2 o regulamento define como obrigatórias luzes de presença da retaguarda, luz de travagem e luzes delimitadoras.

A tensões nominais de funcionamento das luzes podem variar de 6 V, 12 V ou 24 V.

A luz delimitadora deve conter uma luz que pode ser branca ou vermelha.

### **Dispositivos de Engate**

O regulamento n.º 58 da Comissão Económica das Nações Unidas para a Europa define as limitações e obrigações referentes aos engates de reboques.

No caso dos reboques de categoria O2 o regulamento define que um reboque equipado com uma lança de tração que não tem movimento vertical independente do reboque e cujos eixos estão posicionados na proximidade do centro de gravidade do reboque, quando uniformemente carregado, a carga vertical exercida sobre o engate do veículo trator não deve ser superior a 10 % da massa máxima do reboque, ou 1000 kg, conforme o que seja menor. A massa máxima do reboque significa a massa total transmitida ao solo pelos eixos do reboque quando este se encontra atrelado a um veículo trator enquanto carregado com a massa máxima tecnicamente admissível.

### **Massas e dimensões**

O Decreto-Lei n.º 132/2017 de 24 de agosto é o documento que regulamenta as dimensões máximas autorizadas para circulação. Seguidamente são apresentadas as respetivas dimensões e peso para o conjunto do veículo trator e semirreboque constantes na Lei.

O presente regulamento fixa, para efeitos de circulação, os pesos e as dimensões máximos dos veículos a motor e seus reboques. As disposições constantes do presente regulamento relativas a reboques são também aplicáveis aos semirreboques.

É importante perceber alguns conceitos disposto na legislação (*Artigo 2.º do Decreto-Lei n.º 132/2017 de 24 de agosto*).

- Dimensões máximas autorizadas – *“as dimensões máximas para a utilização de um veículo previstas na secção seguinte”*;
- Tara – *“o peso do veículo em ordem de marcha, sem passageiros nem carga, com o líquido de arrefecimento, lubrificantes, 90 % do total de combustível, 100 % dos outros fluidos, exceto águas residuais, ferramentas e roda de reserva, quando esta seja obrigatória e, com exceção dos ciclomotores, motociclos, triciclos e quadriciclos, o condutor (75 kg), devendo*

*ainda ser considerado, no caso dos veículos pesados de passageiros, o peso do guia (75 kg), se estiver previsto um lugar específico para o mesmo”;*

- *Peso Bruto Rebocável – “a capacidade máxima de carga rebocável dos veículos a motor e tratores agrícolas”;*
- *Dimensões – “as medidas de comprimento, largura e altura do contorno envolvente de um veículo, compreendendo todos os acessórios para os quais não esteja prevista uma exceção”.*

Agora analisando o que diz respeito as dimensões dos reboques e semirreboques na legislação (Artigo 3.º do Decreto-Lei n.º 132/2017 de 24 de agosto).

Comprimento máximo:

- b) Reboques de um ou mais eixos — 12,00 m;*

Largura máxima:

- a) Qualquer veículo, exceto os referidos nas alíneas b) e c) do número anterior — 2,55 m;*
- b) Veículos de transporte condicionado ou contentores ou caixas amovíveis condicionadas transportadas nos veículos — 2,60 m;*

Altura máxima incluindo a carga:

- a) Veículos a motor e seus reboques — 4,00 m;*

Os semirreboques devem ainda respeitar os seguintes pontos:

- a) A distância máxima entre o eixo da cavilha de engate e a retaguarda do semirreboque é de 12,00 m;*
- b) A distância medida horizontalmente entre o eixo da cavilha de engate e qualquer ponto da dianteira do semirreboque não deve ser superior a 2,04 m.*

### 3.4. Dimensionamento do Chassi

O chassi, segundo Chandra, é o esqueleto onde todos os elementos mecânicos do veículo são acoplados, sendo por isso considerado o componente mais significativo de um veículo, além de ser o principal responsável por conferir resistência e estabilidade ao veículo durante a sua utilização. (M. Ravi Chandra, 2012)

O chassi de um veículo deve estar dimensionamento de forma a garantir uma boa resposta as solicitações a que está sujeito durante a sua vida útil.

O critério de Von Mises é um critério de cedência utilizado para definir a fronteira entre o regime elástico e o regime plástico dos diversos tipos de materiais. “Este critério permite obter uma tensão equivalente unidimensional a partir de um estado de tensão genérico que origina a mesma energia de distorção que a do estado de tensão unidimensional equivalente, aplicado ao material.” (Lopes, 2011)

A cedência deve ser independente do referencial considerado para a caracterização do tensor de tensões. O critério de Von Mises é definido em função dos invariantes do tensor das tensões de desvio, principalmente em função do segundo invariante  $J_2$ . (Lopes, 2011)

“O critério de Von Mises surge em 1913 e enuncia que a deformação plástica surge quando o valor da energia elástica de distorção por unidade de volume, denominada por  $W_d^e$  atinge um valor crítico que é equivalente ao da energia elástica de distorção do estado de tensão de cedência do material.” (Lopes, 2011)

A equação 1 determina o segundo invariante do tensor de tensões de desvio.

$$\begin{aligned} J_2 &= \frac{1}{2} \sigma'_{ij} \sigma'_{ij} = \frac{1}{2} (\sigma_x'^2 + \sigma_y'^2 + \sigma_z'^2) + \tau_{xy}^2 + \tau_{yz}^2 + \tau_{xz}^2 \\ &= \frac{1}{6} [(\sigma_1 - \sigma_2)^2 + (\sigma_2 - \sigma_3)^2 + (\sigma_1 - \sigma_3)^2] \end{aligned} \quad (1)$$

Com a equação 2 obtém-se o módulo de elasticidade ou módulo de rigidez ao corte.

$$G = \frac{E}{2(1 + \nu)} \quad (2)$$

“A partir do segundo invariante do tensor das tensões de desvio, do módulo de elasticidade volumétrica e transversal e a tensão média  $\sigma_m$ , ou tensão hidrostática”. (Lopes, 2011) A equação 3 representa a energia elástica de distorção.

$$W^e = \frac{J_2}{2G} + \frac{\sigma_m^2}{2k} \quad (3)$$

A partir da tensão de corte octaédrica também é possível obter a energia elástica de distorção, equação 4.

$$W^e = \frac{3}{4G} \tau_{oct}^2 + \frac{\sigma_m^2}{2k} \quad (4)$$

Podendo concluir-se que, equação 5.

$$\tau_{oct} = \sqrt{\frac{2}{3} J_2} \quad (5)$$

No estudo da cedência dos materiais é normal considerar que o valor da energia elástica de deformação contém apenas a componente de desvio e através da equação 6 é possível observar isso.

$$W_d^e = \frac{J_2}{2G} = \frac{3}{4G} \tau_{oct}^2 \geq W_{critico} \quad (6)$$

Para se chegar ao valor crítico da energia elástica é necessário obedecer as seguintes condições:

- $\sigma_1 = \sigma_e$ ;
- $\sigma_2 = \sigma_3 = 0$ .

$\sigma_e$  é a tensão de cedência ou tensão limite de elasticidade do material.

A energia de distorção elástica crítica por unidade de volume pode ser obtida através da equação 7.

$$W_{critico} = \frac{3}{4G} \left[ \frac{1}{3} \sqrt{2\sigma_e^2} \right]^2 = \frac{1}{6G} \sigma_e^2 \quad (7)$$

A partir das equações anteriores é possível chegar a expressão para o critério de Von Mises, equação 8.

$$(\sigma_1 - \sigma_2)^2 + (\sigma_2 - \sigma_3)^2 + (\sigma_1 - \sigma_3)^2 = 2\sigma_e^2 \quad (8)$$

“Repare-se a partir da expressão para o critério de von Mises que um estado de tensão tridimensional genérico é comparado com uma tensão uniaxial que é a tensão de cedência do material. Esta expressão traduz bem o significado e a importância dos critérios de cedência, que se pode resumir na característica do critério conseguir aferir e comparar um estado de tensão multi-axial com um estado de tensão uniaxial que resulta de um ensaio mecânico de tração.” (Lopes, 2011)

O formato genérico na expressão para o estado de tensão equivalente de Von Mises é dado pela equação 9, e é utilizado quando o estado de tensões se encontra num sistema de eixos cartesianos definido por (x, y, z).

$$(\sigma_x - \sigma_y)^2 + (\sigma_y - \sigma_z)^2 + (\sigma_x - \sigma_z)^2 + 6(\tau_{xy}^2 + \tau_{yz}^2 + \tau_{xz}^2) = 2\sigma_e^2 \quad (9)$$

Outro esforço a que o chassi vai estar sujeito é a fadiga de quando um componente está sujeito a carregamentos cíclicos, repetidos e flutuantes até a rutura, isto é, é a diminuição gradual da resistência de um material por efeito de solicitações periódicas.

“A rutura ocorre pelo desenvolvimento e aumento progressivo de fissuras resultantes da deformação plástica cíclica. Mesmo que a tensão nominal seja bem menor que o limite elástico, localmente as tensões podem estar acima do escoamento devido à concentração de tensões em torno de inclusões ou entalhes mecânicos. Consequentemente, a deformação plástica ocorre localmente em uma microescala.” (Driemeier, 1995)

### 3.5. Análise de Esforços no Semirreboque

A realização de uma análise de esforço de um semirreboque consiste em submeter o mesmo a carregamentos arbitrários. Com este procedimento é possível quantificar a magnitude dos esforços internos e dos deslocamentos da estrutura.

As condições de operação dos veículos são baseadas no histórico dos diversos tipos de superfícies rodoviárias, distâncias de ensaio, entre outros. Estas condições implicam testes demorados e dispendiosos para os construtores por isso, foram desenvolvidas simulações laboratoriais para cumprir as condições de operação, mas também, com o tempo de validação dos veículos.

Os ensaios realizados proporcionam uma simulação do ambiente de carga rodoviária do solo de prova através de atuadores programados computacionalmente aplicados nos pneus ou nos eixos das rodas.

Para projetar um veículo é necessário saber quais as cargas mais prejudiciais a que a estrutura vai estar sujeita de forma a garantir que a mesma não falhe em serviço devido a sobrecarga instantânea e para garantir uma vida útil satisfatória à fadiga. (Jason C. Brown, 2002)

Numa fase inicial de desenvolvimento para os cálculos, a carga dinâmica é frequentemente substituída uma carga estática vetorizada, definida na equação 10.

$$\text{carga dinâmica} = \text{carga estática} \times \text{carga dinâmica vetorizada} \quad (10)$$

Muitas vezes é utilizado ainda um fator de segurança, que é aplicado conforme a equação 11.

$$\begin{aligned} \text{carga equivalente} \\ &= \text{carga estática} \times \text{carga dinâmica vet.} \\ &\times \text{fator segurança} \end{aligned} \quad (11)$$

As principais cargas presentes nos veículos para um funcionamento normal são as seguintes:

- Flexão: vai provocar uma deformação segundo o eixo ZZ;
- Torção: vai causar torção segundo o eixo XX e flexão segundo o eixo YY;
- Cargas de travagem, aceleração, obstáculos. (Jason C. Brown, 2002)

Na figura 6 encontram-se apresentadas as coordenadas fixas do veículo.

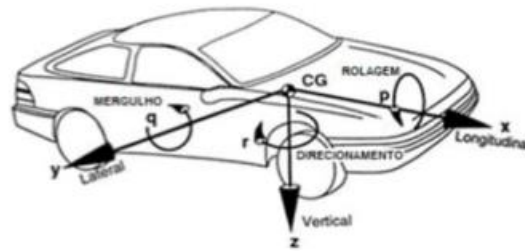


Figura 6 - coordenadas fixas do veículo (Gillespie, 1992)

A flexão ocorre quando ambas as rodas de um eixo encontram simultaneamente uma colisão simétrica, como na figura 7. Alguns valores previamente definidos para os fatores dinâmicos e de segurança encontram-se na tabela 2.



Figura 7 – Viatura a passar por cima de uma lombada com as duas rodas ao mesmo tempo (Jason C. Brown, 2002)

A torção ocorre quando apenas uma roda de um eixo encontra um obstáculo. A carga assimétrica vertical aplicada vai provocar torção, mas também flexão no corpo no veículo. Na figura 8 é possível observar um caso de torção de um veículo.



Figura 8 – viatura a passar por cima de um obstáculo com 1 roda de cada vez (Jason C. Brown, 2002)

Tabela 2 – Fatores de segurança e dinâmica (Jason C. Brown, 2002)

	<i>Mais comum</i>	<i>Erz (1957)</i>	<i>Pawlowski (1969)</i>
<i>Carga dinâmica</i>	3	2	2.5
<i>Fator de segurança</i>	1,5		1,4 – 1,6

Nos veículos foi verificado que as acelerações longitudinais são menores que as cargas de travagem, com exceção dos reboques e semirreboques que é utilizado um fator de carga de 1,5. (Jason C. Brown, 2002)

Na tabela 3 são apresentados os fatores globais de carga de travagem sugeridos por diversos autores.

Tabela 3 – Fatores globais de carga de travagem (Jason C. Brown, 2002)

	<i>Pawlowski (1969)</i>	<i>Cranfield tests (Tidbury 1966)</i>	<i>Garrett (1953)</i>
<i>Veículos ligeiros</i>	1,1 g	1,84 g	1,75 g
<i>Veículos Pesados</i>	0,75 g		

Uma vez que as forças de travagem no solo são compensadas por uma distância vertical,  $h$ , ao centro de gravidade do veículo, haverá transferência de peso da traseira do veículo para as rodas dianteiras.

Na figura 9 é possível observar a aplicação das forças num veículo.

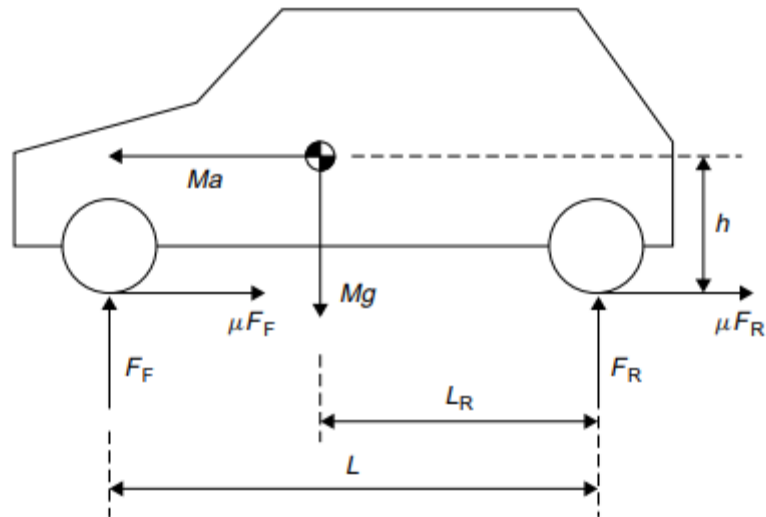


Figura 9 – Forças presentes num veículo (Jason C. Brown, 2002)

Na equação 12 tem-se o equilíbrio da força longitudinal:

$$Ma = \mu Mg = \mu F_F + \mu F_R \quad (12)$$

Onde,

- $\mu$  - coeficiente de atrito;
- $M$  – massa do veículo;
- $a$  – desaceleração da travagem;
- $Mg$  – peso do veículo;
- $F_F$  – força no eixo dianteiro;
- $F_R$  – força no eixo traseiro.

Para a equação dos momentos, temos a equação 13.

$$F_F L = Mg L_R + Mah \quad (13)$$

Para os cálculos das forças no eixo dianteiro e traseiros temos as equações 14 e 15.

$$F_F = \frac{Mg(L_R + \mu h)}{L} \quad (14)$$

$$F_R = \frac{Mg(L_F - \mu h)}{L} \quad (15)$$

O IMT define os coeficientes de atrito conforme as superfícies em contacto, como se pode visualizar na tabela 4.

Tabela 4 – Coeficientes de atrito (Instituto da Mobilidade e dos Transportes, I.P, 2012)

<i>Superfícies</i>	<i>Coefficiente de atrito</i>	<i>Coefficiente de atrito</i>
	<i>estático, <math>\mu_s</math></i>	<i>cinético, <math>\mu_k</math></i>
<i>Borracha – betão seco</i>	1	0,8
<i>Borracha – betão molhado</i>	0,6	0,4
<i>Borracha – neve/ relva molhada</i>	0,2	0,15
<i>Borracha – asfalto com óleo</i>	0,15	0,1
<i>Borracha - gelo</i>	0,1	0,05
<i>Borracha - água</i>		0

### 3.6. Método dos Elementos Finitos

O recurso a sistemas de simulação computacional antigamente era muito reduzido comparativamente com os dias de hoje, as novas ferramentas com os recursos atuais de computação gráfica como a Tecnologia CAE (Engenharia Assistida por computador) e MEF (Método dos Elementos Finitos) eram extremamente limitadas. Na década de 50 surgiram os primeiros computadores digitais e os métodos matriciais para análise de estruturas. A partir desta altura houve um grande desenvolvimento destas ferramentas que agora são utilizadas em larga escala. (Costa, 2012)

O método dos elementos finitos é uma ferramenta que já faz parte do dia a dia dos projetistas, ajudando a reduzir o tempo de desenvolvimento pois permite logo excluir situações em análise que não vão ao encontro dos objetivos do projeto. (Furtado, 2013)

Segundo Andrade 2017, o método dos elementos finitos é um procedimento numérico de simulação de fenómenos físicos na análise e desenvolvimento de projetos complexos, destacando-se os seguintes: (Marques, 2014)

- Simulação de montagens: a análise das tensões e deformações de deslocamentos, das interações entre os componentes na fase de protótipos virtuais, vai proporcionar uma redução no número de protótipos físicos;
- “Simulação de mecanismos: simulação do movimento em mecanismos de motores, atuadores, redutores, entre outros;” (Marques, 2014)
- Simulação de estruturas soldadas: análise das cargas de pressão, força e carregamentos de suporte das estruturas soldadas;

- Previsão de falhas: vai analisar se o produto terá falhas referentes a tensões acima do limite, problemas de fadiga e encurvadura;
- “Otimização paramétrica: avaliação dos melhores parâmetros de projeto para a minimização de peso e tensão dos componentes;” (Marques, 2014)
- Frequências naturais: de forma a evitar problemas de ressonância é efetuado o cálculo das frequências naturais de vibração dos componentes;
- Transferência de calor: em cada ponto conjunto é possível analisar as trocas térmicas, como condução, convecção e radiação dos componentes;
- Impacto: com o objetivo de reduzir os protótipos físicos é possível simular o impacto dos objetos em queda livre;
- Fadiga: a vida útil de um produto pode ser calculada com a aplicação de esforços cíclicos, que depois vai mostrar as regiões mais críticas a serem alteradas; (Marques, 2014)

O método dos elementos finitos confere uma grande vantagem sobre a maioria dos métodos de análise numérica. Apresentam-se de seguida algumas dessas vantagens:

- Pode ser aplicável em qualquer área da engenharia;
- A região a ser analisada pode ter qualquer geometria;
- As condições de fronteira e os carregamentos não são restritos;
- “As propriedades dos materiais podem variar consoante o elemento, podendo até variar dentro do mesmo elemento”. (Marques, 2014)

Para a sua aplicação é necessário definir alguns parâmetros de forma a formular uma solução:

- “Discretização do meio contínuo;
- Definição da matriz de rigidez e do vetor de solicitação de cada um dos elementos;
- Formação das matrizes de rigidez e do vetor solicitação global;
- Resolução do sistema de equações com vista a determinar os deslocamentos nodais da estrutura;
- Determinação das tensões a partir dos deslocamentos;” (Marques, 2014)

Para facilitar a resolução destes problemas existem diversos softwares disponíveis no mercado como o Ansys, COSMO/M, Abaqus, entre outros. Neste trabalho vai-se utilizar o Ansys.

### 3.6.1. Software comercial Ansys

O Ansys é um programa de simulação computacional baseado no método dos elementos finitos que permite especificamente fazer o seguinte:

- Transferir ou construir os modelos CAD dos componentes a serem analisados;
- Aplicação de cargas e dados de forma intuitiva e *use friendly*;
- “O estudo das respostas físicas, tais como níveis de esforço, distribuições da temperatura ou campos eletromagnéticos”; (Marques, 2014)
- “O aperfeiçoamento prematuro dos projetos de maneira a reduzir custos de fabrico de protótipos”; (Marques, 2014)
- “O teste de protótipo em ambientes onde de outra maneira seria indesejável ou impossível (por exemplo, aplicações biomédicas).” (Marques, 2014)

As simulações no Ansys dividem-se em três fases diferentes:

- Pré-Processamento: definição dos materiais, dos elementos, da geometria em estudo, os modos de ligação e a escolha da malha;
- Processamento: esta é a fase onde se define as condições de simulação, como os pontos de fixação e as forças aplicadas, também são definidos os ensaios a realizar, estabelecendo os parâmetros que se pretende analisar.
- Pós-processamento: nesta fase faz-se a extração e análise dos resultados obtidos com as simulações processadas nas fases anteriores.

## 3.7. Sistema Hidráulico

Um circuito hidráulico é constituído por diversos componentes que associados uns aos outros fazem a passagem de um fluido, utilizada como meio de transferência de energia, convertendo esta em energia mecânica na saída do componente.

“Segundo Linsingen, a entrada de energia no sistema normalmente ocorre pela conversão da energia elétrica ou térmica em mecânica. Esta energia de entrada no sistema é convertida através dos motores para energia mecânica que é transferida para o fluido hidráulico e por meio de válvulas essa energia é submetida a uma unidade de conversão secundária, a qual transforma a energia do fluido para energia mecânica por meio de componentes hidráulicos, tais como: cilindros hidráulicos e motores hidráulicos.” (Peterson, 2015)

Um circuito hidráulico é composto pelos seguintes componentes:

- **Cilindro Hidráulico:** são atuadores lineares, onde a principal função é converter a força, potência e energia de hidráulico para mecânica. Estes podem ser divididos em duas categorias, simples ou de dupla ação. “Os cilindros de simples ação são denominados devido a atuação do cilindro ser realizada em apenas um sentido por força de fluido e o outro sentido por qualquer outro agente que não o fluido hidráulico. Já os cilindros de dupla ação são denominados assim devido ao movimento do pistão ser realizado pelo fluido hidráulico em qualquer uma das tomadas de pressão.”; (Peterson, 2015)
- **Bomba electro-hidráulica:** também pode ser designada de mini centralina e é composta por um reservatório para o fluido, um motor elétrico e uma bomba hidráulica. Esta vai fornecer óleo ao circuito hidráulico com pressão e escoamento adequados;
  - Válvulas de comando dos cilindros;
  - Válvulas antirretorno;
  - Tubagem Hidráulica.

Na figura 10 é possível visualizar um exemplo de um circuito hidráulico simples.

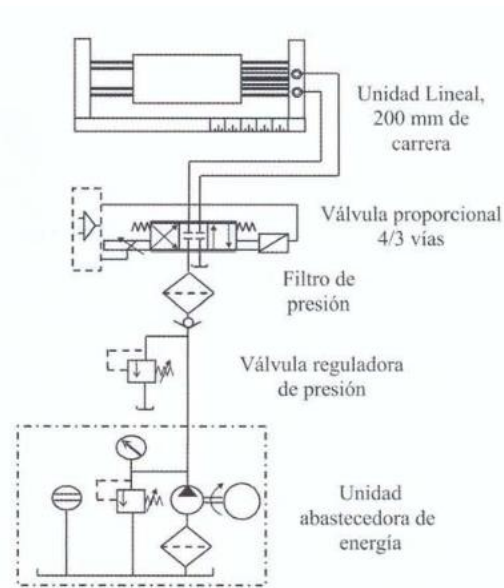


Figura 10 - Circuito Hidráulico (José Danilo Rairán Antolines, 2006)

### 3.8. Materiais

Muitos dos materiais encontrados no nosso dia-a-dia são reconhecidos como sendo metais, sendo que, em quase toda a sua totalidade, eles são de fato, ligas metálicas.

Quando se fala em metal existem propriedades que são facilmente reconhecidas, como por exemplo, o brilho metálico, boa condutibilidade elétrica e térmica, ductilidade, entre outras.

Uma liga consiste da união entre dois ou mais elementos químicos onde pelo menos dos elementos é um metal e onde todas as fases existentes têm propriedades metálicas. Como exemplos, temos o latão (liga de cobre e zinco), o aço carbono (liga de ferro e carbono), o bronze (liga de cobre e estanho) e muitas outras. (Costa, 2012)

A grande aplicação do aço pode ser atribuída às notáveis propriedades desta liga, à grande quantidade das matérias-primas necessárias à sua produção e o seu preço competitivo. O aço pode ser produzido em uma série de variedades e características que podem ser bem controladas, de modo a atender um certo uso específico. O produto final pode ser um chassi automotivo, um portão residencial, uma ponte, um petroleiro, um trator ou uma bicicleta. (Costa, 2012)

Os perfis tubulares conferem diversas vantagens face aos demais perfis metálicos presentes no mercado e devido à sua geometria eles têm uma boa resistência à compressão, torção e também aos esforços combinados, tendo ainda o benefício de poderem ser preenchidos com cimento aumentando a sua resistência aos esforços aplicados e melhorando a sua resistência ao fogo. Eles tornam as estruturas mais leves e económicas tendo em conta a sua excelente relação de qualidade, preço e peso.

No gráfico 1 é possível comparar diversos perfis metálicos onde se pode concluir que para uma mesma carga os perfis quadrados e retangulares necessitem de uma massa menor.

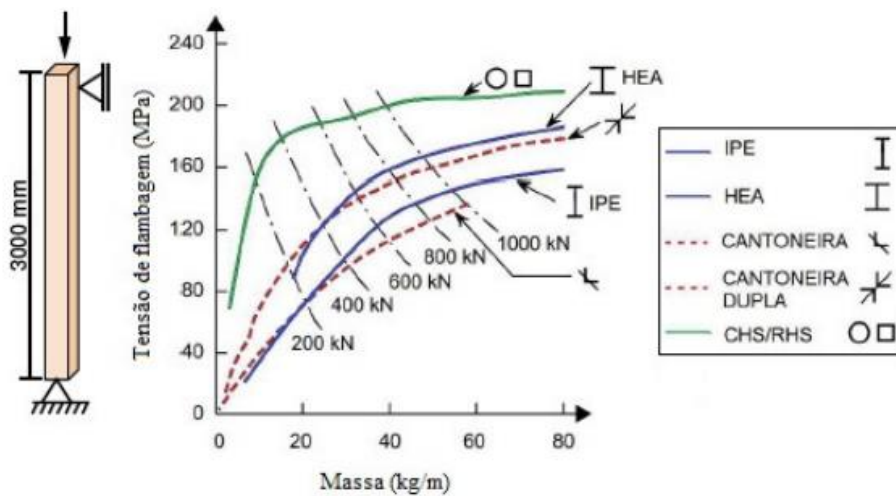


Gráfico 1 – Comparação da massa de diversos perfis sob pressão em relação a carga (Costa, 2012)

Os perfis quadrados, square hollow section (SHS), ou retangulares, rectangular hollow section (RHS), podem ser produzidos a partir de perfis circulares através de processos de laminação a quente, hot rolling, ou por conformação a frio, cold forming. (Góz, 2018)

O processo de conformação a frio ocorre a temperaturas relativamente mais baixas comparativamente ao ponto de fusão do metal, tendo como consequência o encruamento do material produzindo um aumento da resistência mecânica, mas diminuindo a ductilidade do material. (William D. Callister, 2016)

Contrariamente ao que acontece na conformação a frio a laminação a quente é realizada acima da temperatura de recristalização do metal, cerca de 850 °C. (William D. Callister, 2016) Como consequência da utilização de temperaturas elevadas no processo, as propriedades mecânicas serão homogêneas ao longo da secção, tendo também uma boa ductilidade e baixas tensões residuais. (Góz, 2018)

### 3.8.1. Tubo Aço S355J2H

Os perfis laminados a quente seguem a norma dimensional EN 10210-1. As normas são documentos elaborados por órgãos oficiais de forma a estabelecer normas, diretrizes ou características acerca de um material, produto, processo ou serviço. Através de uma norma, no caso nos materiais, é possível saber todas as características do mesmo.

O material mais comum nos perfis laminados a quente é o S355J2H, que é um aço carbono.

A composição química no aço encontra-se na tabela 5.

Tabela 5- Composição Química do Aço S355J2H

#### *Composição Química*

C (carbono)	Si (Silício)	Mn (Manganês)	P (fosforo)	S (enxofro)
0.22	0,55	1,60	0.03	0.03

Através da norma EN 10210-1, na tabela 6 estão as características mecânicas do aço.

Tabela 6 – Propriedade Mecânicas do Aço S355J2H

#### *Propriedades Mecânicas*

<i>Tensão de cedência, R (MPa)</i>	355
<i>Resistência à Tração (MPa)</i>	470 - 630
<i>Mínimo Alongamento na fratura (%)</i>	22
<i>Energia de Impacto (J)</i>	27
<i>Densidade ( kg/m<sup>3</sup>)</i>	0,00785
<i>Módulo de Elasticidade (GPa)</i>	210
<i>Coefficiente de Poisson</i>	0,3
<i>Coefficiente de Dilatação Térmica Linear (°C)</i>	$12 \times 10^{-6}$

### 3.8.2. Alumínio AW5754 (AlMg3)

Entre os metais de maior consumo no mundo, temos o alumínio que é um metal não ferroso abundante no planeta terra. Uma das grandes vantagens da sua utilização é por ser muito leve, ter uma boa resistência e a sua ductilidade. A sua utilização é bastante abrangente podendo destacar as áreas da indústria elétrica, mecânica, metalúrgica e construção civil.

O alumínio AW5754 (AlMg3) segue a norma EN 485-2 que fornece as principais características deste material.

As características abaixo mencionadas são referentes a uma chapa de alumínio de 2 mm de espessura.

A composição química no alumínio encontra-se na tabela 7.

Tabela 7 – Composição Química do Alumínio AW5754

**Composição Química (% Peso)**

Si (Silício)	Fe (Ferro)	Cu (Cobre)	Mn (Manganês)	Mg (Magnésio)	Cr (crómio)	Zn (Zinco)	Ti (Titânio)	Mn+Cr (Manganês + Crómio)	Al (Alumínio)
0.4	0.4	0.10	0.5	3.6	0.3	0.2	0.15	0.6	restante

Através da norma EN 485-2, na tabela 8 estão as características mecânicas do alumínio.

Tabela 8- Propriedade mecânicas do Alumínio AW5754

**Propriedade mecânicas (EN 485-2)**

<i>Tensão de cedência (MPa)</i>	80
<i>Resistência a tração</i>	190 - 240
<i>Densidade (g/cm<sup>3</sup>)</i>	2,7
<i>Modulo de Elasticidade (MPa)</i>	6900
<i>Coefficiente de Dilatação linear (mm/°C)</i>	$23,2 \times 10^{-6}$
<i>Condutividade térmica (W/mK)</i>	130-140
<i>Condutividade elétrica (MS/m)</i>	53 – 49
<i>Coefficiente de Poisson</i>	0,33

## 4. Seleção e Dimensionamento de Componentes

No presente capítulo apresentam-se e justificam-se as soluções selecionadas para o projeto dos subsistemas que compõem o reboque. Na imagem 11 é possível visualizar o semirreboque com todos os componentes montados. No apêndice 1 encontram-se os desenhos 2D com do semirreboque com as principais dimensões.

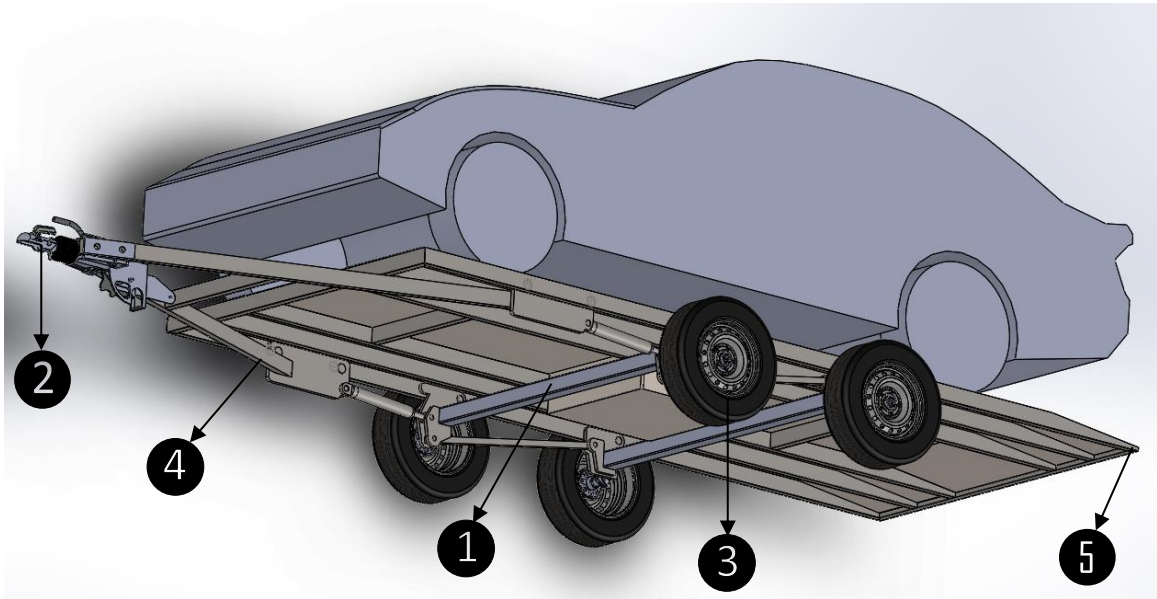


Figura 11 – Semirreboque com todos os componentes montados

O semirreboque é constituído pelos seguintes componentes:

- 1 – Eixos;
- 2 – Engate e Roda Jóquei;
- 3 – Jantes e pneus;
- 4 – Estrutura do Chassi;
- 5 – Sistema de Iluminação.

### 4.1. Eixos

De forma a realizar a escolha do eixo foram apurados os requisitos que deveria respeitar:

- Peso máximo admissível de 3500 kg;
- Pneus de 14 polegadas;
- Altura ao solo menor possível, de forma que a estrutura quando em carga não embata no chão.



## 4.2. Engate e Roda Jóquei

O engate de reboque deve ser produzido pelo mesmo fabricante do eixo por isso a marca de eleição vai ser novamente a Knott. Outra questão a ter em conta na escolha é o tipo de lança do reboque que no caso vai ser em V. O engate tem uma capacidade de carga entre os 2700 kg e os 3500 kg e uma força de suporte de 200 kg. Foi escolhido um engate já com a roda jóquei incorporada por ser mais prática a sua instalação. Na tabela 10 estão descritos os dados técnicos do engate de reboque e na figura 14 está uma imagem do engate de reboque com a roda jóquei incorporada.

Tabela 10 – Dados Técnicos do Engate de reboque (Knott GmbH, s.d.)

### *Dados Engate*

<i>Número do Artigo</i>	207020.001
<i>Tipo</i>	KFG35-D
<i>Capacidade de Carga</i>	2700-3500 kg
<i>Suport Load</i>	200 kg
<i>Peso</i>	40 kg
<i>Oversize</i>	Sim
<i>Preço unitário</i>	870,35 €



Figura 14 – Engate de Reboque com Roda Jóquei (Knott GmbH, s.d.)

Na figura 15 são apresentadas as principais medidas do componente.

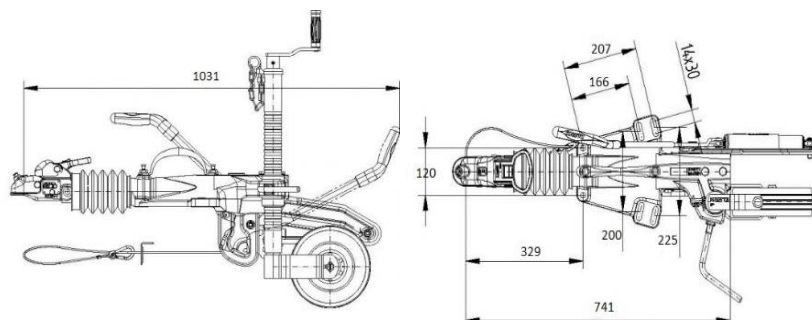


Figura 15 – Imagem 2D do engate de reboque com medidas (Knott GmbH, s.d.)

O engate escolhido tem a versatilidade de poder ser montado por cima da estrutura ou por baixo como se pode verificar na figura 16.

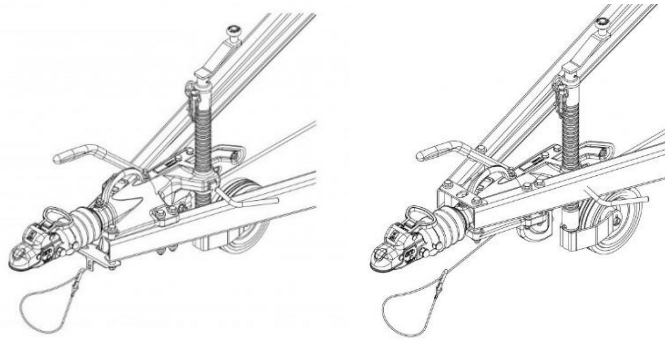


Figura 16 – Indicação de montagem do engate de reboque (Knott GmbH, s.d.)

### 4.3. Jantes e Pneus

Um dos componentes mais importantes são os pneus, pois é através destes que se desenvolvem as forças de contacto com o chão, estando estas diretamente ligadas com as características dinâmicas do veículo. Normalmente são os primeiros componentes a ser dimensionados pois vão limitar a capacidade de carga do equipamento. A escolha da jante e dos pneus teve de cumprir os seguintes requisitos:

- Conexão com o eixo 112x5 mm;
- Capacidade de carregamento total de 3500 kg.

A marca do conjunto jante e pneus é a Knott e as características de ambos os componentes se encontram na tabela 11.

Tabela 11 – Dados Técnicos das jantes e pneus (Knott GmbH, s.d.)

#### ***Dados Jantes e Pneus***

<i>Número do Artigo</i>	401524.001
<i>Dimensão da Roda</i>	185/80'R'14
<i>Capacidade de Carga</i>	900 kg
<i>Capacidade de Velocidade</i>	140 km/h
<i>Peso</i>	19,4 kg
<i>Material Jante</i>	Aço
<i>Diâmetro total (mm)</i>	650
<i>Oversize</i>	Não

*Preço unitário*

156,95 €

Na figura 17 pode-se visualizar uma imagem da jante e do pneu.



Figura 17 – Jantes e Pneus (Knott GmbH, s.d.)

#### 4.4. Estrutura do chassi

A estrutura do semirreboque foi projetada para a utilização de perfis e medidas standard de forma a minimizar ao máximo os custos associados à compra do metal necessário para a construção. O chassi é um dos componentes mais importantes pois é este que vai suportar os esforços em andamento assim como também a carga a transportar no reboque.

Para a projeção do chassi elegeu-se um tubo de aço com perfil retangular, tipo S355J2H, com as dimensões de 80x40 e uma espessura de parede de 3mm. A dimensão da plataforma do chassi é de 4,5 m por 2 m. Na figura 18 pode-se visualizar o formato do tubo e na figura 19 encontra-se a estrutura principal do chassi do reboque.

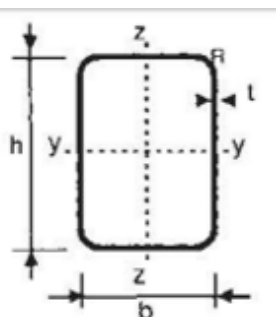


Figura 18 – Formato do Perfil Retangular

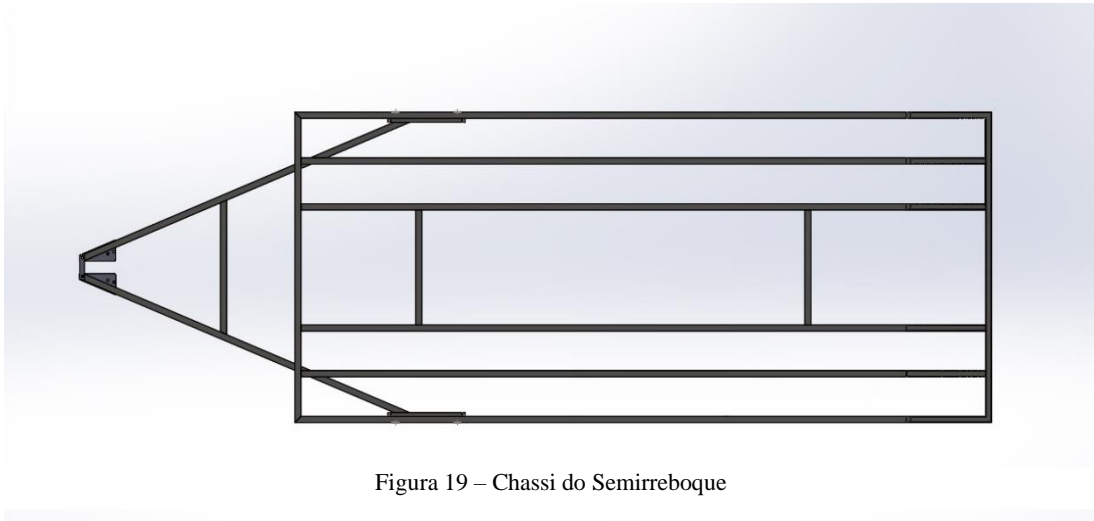


Figura 19 – Chassi do Semirreboque

A plataforma onde as rodas do veículo vão assentar é uma chapa perfurada de alumínio de forma a diminuir o peso do semirreboque, mas também porque vai facilitar o funcionamento quando for necessário amarrar o carro com cintas ao reboque. As chapas escolhidas são da empresa Aveimaster com a designação Chapa Perf ALU 7F P. Auto t/Kassbohrer 2500x625x4mm U85x60A, com um peso de mais ou menos 20 kg, figura 20.

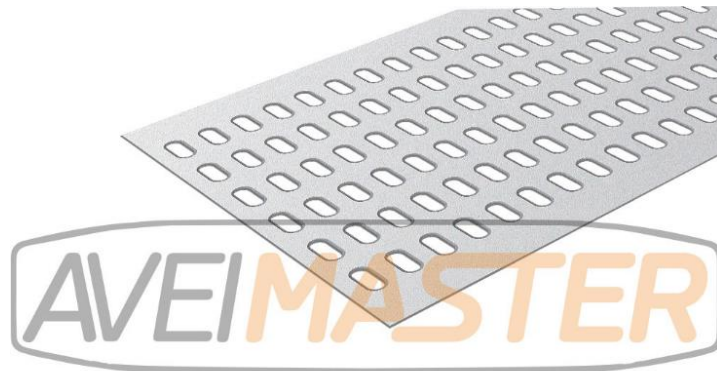


Figura 20 – Chapa perfurada Aveimaster (Aveimaster, 2019)

Na figura 21 encontra-se o chassi já com as chapas perfuradas aplicadas.

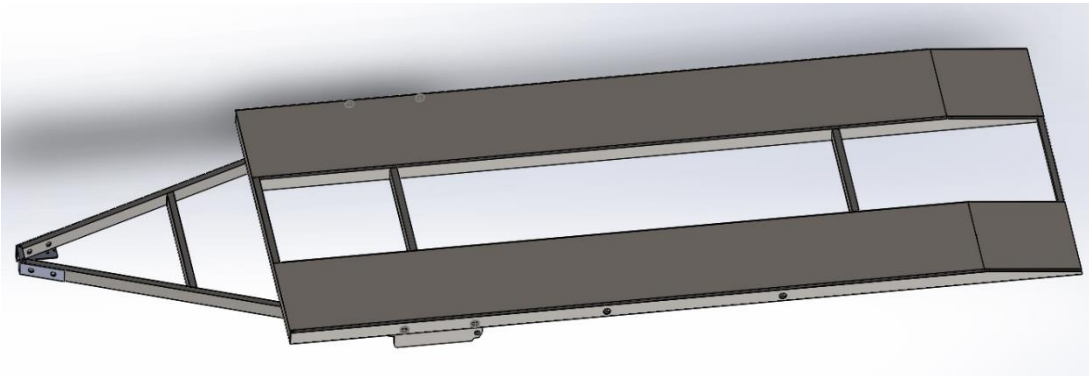


Figura 21 – Chassi com as chapas perfuradas

#### **4.5. Sistema de Iluminação**

O reboque para circular na via pública tem de ter um sistema de iluminação próprio. Assim o sistema conterà as seguintes luzes:

- Retaguarda
  - Luz de matrícula;
  - Duas luzes de presença, vermelhas;
  - Duas luzes de travagem, vermelhas;
  - Luzes de mudança de direção;
  - Luzes de nevoeiro;
  - Dois refletores vermelhos triangulares;
  - Luz de marcha atrás.
- Laterais
  - Refletores não triangulares de cor âmbar.

A ligação do veículo motor com o reboque é feita através de uma ficha universal de 7 pinos de 12 volts. Na figura 22 encontra-se o esquema da ficha de ligação.

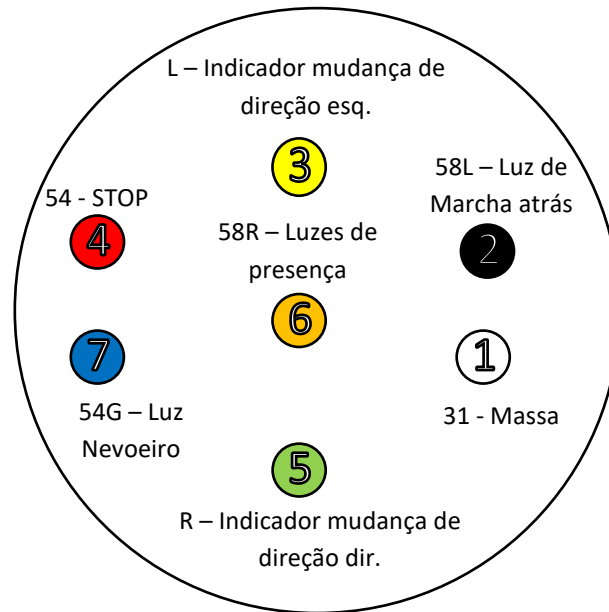


Figura 22 – Esquema de ligação de ficha de 7 PIN

Existem soluções no mercado onde é possível adquirir um conjunto com todas as luzes necessários. O conjunto escolhido está disponível na loja online da Unitrailer e tem incluído os cabos necessários para a ligação de todas as luzes. Na imagem 23 é possível visualizar uma imagem do conjunto escolhido.



Figura 23 – Conjunto de luzes semirreboque (Unitrailer, s.d.)

## 5. Desenvolvimento do Projeto

Neste capítulo vai ser dimensionado o hidráulico necessário para se conseguir subir e descer a plataforma do semirreboque, são calculadas as forças presentes no semirreboque em equilíbrio estático e dinâmico. Ainda é explicada a modelação CAD efetuada e o mecanismo desenvolvimento que vai fazer o movimento da plataforma de carga e descarga.

### 5.1. Projeto Estrutural do Reboque

#### 5.1.1. Dimensionamento Hidráulico

Para o dimensionamento do cilindro hidráulico foi inicialmente utilizado o Solidworks Motion para se conseguir ter o valor da força que o hidráulico tem de fazer para conseguir rebaixar e levantar a plataforma com o veículo carregado.

O valor da força foi retirado no ponto a vermelho da figura 24.

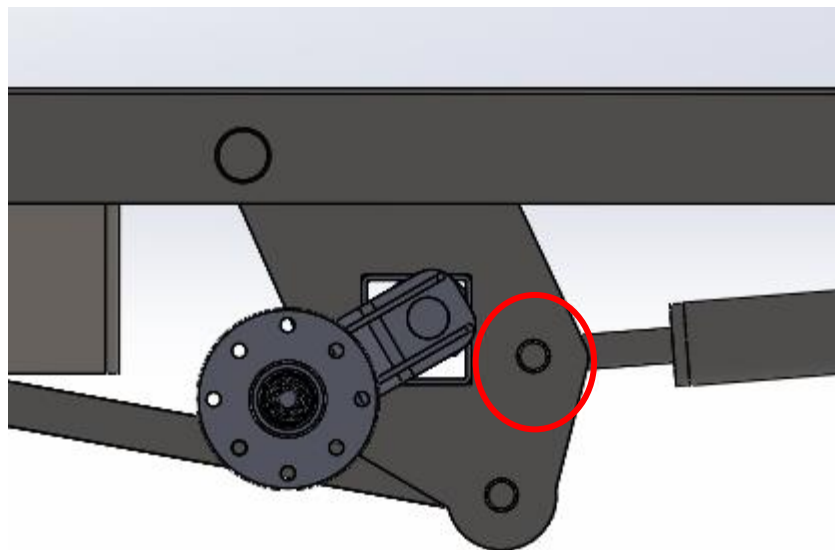


Figura 24 – Ponto onde foi retirada a força do cilindro hidráulico

Para se conseguir a força foi necessário no software definir um motor que vai simular o movimento do reboque quando este necessita de ser carregado e descarregado. O valor da força nos primeiros segundos não vai ser tido em conta pois este tem a ver com os perturbações iniciais do movimento imposto ao reboque. O valor da força máxima que vai ser utilizado e está presente no gráfico 2 é de 18496,89 N.

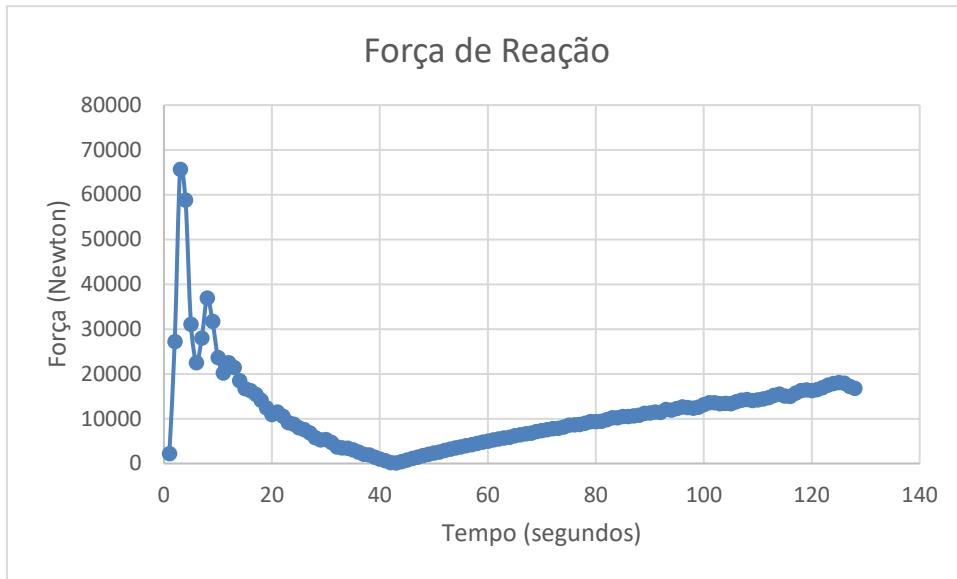


Gráfico 2 - Força de Reação no cilindro hidráulico

As características de uma bomba electro-hidráulica ou também designadas por mini centralina são as descritas na tabela 12.

Tabela 12 – Característica da Bomba electro-hidráulica

***Bomba electro-hidráulica - Características***

<i>Pressão</i>	180 bar 18000000 Pa
<i>Deposito</i>	12 litros
<i>Potência</i>	1600 W – 12 V

Tendo através do gráfico 2 a força exercida pelo cilindro hidráulico é possível calcular o diâmetro do mesmo através da equação 16.

$$Força\ exercida\ pelo\ cilindro = press\tilde{a}o \times \acute{a}rea \tag{16}$$

Na equação 17 está representado o diâmetro do cilindro necessário para fazer o movimento do semirreboque.

$$F = P \times A \Leftrightarrow 18496,89 = 18000000 \times \frac{\pi \times D^2}{4} \Leftrightarrow D = 0,036172\ m \tag{17}$$

$$= 36,172\ mm$$

### 5.1.2. Cálculo das Forças

Segundo a diretiva 97/27/CE o reboque possui uma carga de 3500 kgf e a carga vertical máxima no engate não pode ser superior a 10 % da carga máxima do reboque, o que significa que a carga máxima no engate de reboque é de 350 kgf.

O veículo escolhido para efetuar os cálculos foi um BMW Serie 3 Berlina, figura 24 e na tabela 13 encontram-se as dimensões referência do veículo.

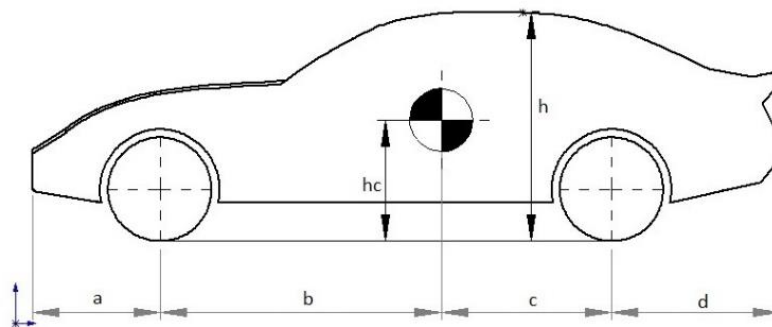


Figura 25 – BMW Serie 3 G20

Tabela 13 – Dimensões BMW Série 3

#### *Dados Veículo*

<i>Peso (kg)</i>	2140	<i>a (mm)</i>	803
<i>Peso Eixo Frontal (kg)</i>	1070	<i>b (mm)</i>	1774,68
<i>Peso Eixo Traseiro (kg)</i>	1070	<i>c (mm)</i>	1076,32
<i>Relação Peso Eixo Frontal (%)</i>	50	<i>d (mm)</i>	1059
<i>Relação Peso Eixo Traseiro (%)</i>	50	<i>h (mm)</i>	1440
<i>Largura entre rodas (Lr)</i>	1588	<i>hc (mm)</i>	763,62

#### 5.1.2.1. Forças Estáticas

Os cálculos das cargas estáticas são referentes aos carregamentos a que um reboque está sujeito quando se encontra imobilizado. Através das medidas do veículo, do reboque e do posicionamento do primeiro em cima do segundo, foram realizados cálculos para obter a força no engate do reboque,  $F_y$ , e a distribuição de pesos entre os dois eixos,  $W_{eixo1}$  e  $W_{eixo2}$ .

Na figura 25 é apresentado o modelo esquemático das forças do reboque e do veículo.

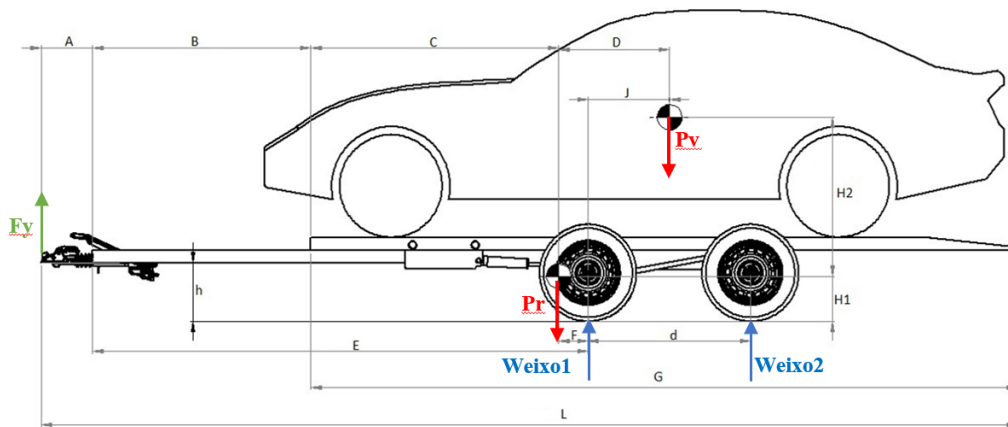


Figura 26 – Aplicação das Forças Estáticas

Na tabela 15 pode-se observar as dimensões do conjunto reboque e veículo.

Tabela 14 – Dimensões do conjunto reboque e veículos

**Dados Veículo + Reboque**

<i>Peso de Veículo (N)</i>	20972
<i>Massa do Reboque (kg)</i>	608
<i>Peso do Reboque (N)</i>	7149,3
<i>A (mm)</i>	329
<i>B (mm)</i>	1390,42
<i>C (mm)</i>	1585,33
<i>D (mm)</i>	802,69
<i>E (mm)</i>	3778,44
<i>G (mm)</i>	4500
<i>h (mm)</i>	350,18
<i>H1 (mm)</i>	274,78
<i>H2 (mm)</i>	1001,09
<i>d (mm)</i>	1036,02
<i>L (mm)</i>	6217,94

Foram efetuadas algumas simplificações e ponderações de forma a encontramos as seguintes forças:

- O reboque é composto por 2 eixos que foram simplificados por uma reação única,  $W_T$ , aplicada no ponto médio entre os dois eixos.

Tendo em conta a suposição feita acima temos a equação 18.

$$W_T = 2 \times W_e \Rightarrow W_e = \frac{W_T}{2} \quad (18)$$

O sistema de equação 19 consiste na soma das forças e momentos no ponto de engate do reboque, considerando que a soma dessas forças tem de ser zero.

$$\begin{cases} \sum F_y = 0 \\ \sum M_{F_y} = 0 \end{cases} \Leftrightarrow \begin{cases} F_y - P_{veiculo} - P_{reboque} + W_T = 0 \\ -P_{reboque} \times (A + B + C) - P_{veiculo} \times (A + B + C + D) + W_T \times \left(A + E + \frac{d}{2}\right) = 0 \end{cases} \quad (19)$$

$$\Leftrightarrow \begin{cases} F_y = 1087,86 \text{ N} \Rightarrow F_y = 108,786 \text{ kgf} \\ W_T = 86082,6 \text{ N} \end{cases}$$

Tendo em conta a consideração feita no início do temos a equação 20.

$$\begin{aligned} W_e = \frac{W_T}{2} &\Leftrightarrow W_e = \frac{86082,6}{2} \Leftrightarrow W_e = 13041,3 \text{ N} \Rightarrow W_e \\ &= 1304,13 \text{ kgf} \Rightarrow \begin{cases} W_{eixo1} = 1304,13 \text{ kgf} \\ W_{eixo2} = 1304,13 \text{ kgf} \end{cases} \end{aligned} \quad (20)$$

Após o cálculo foi possível chegar aos seguintes valores para as forças,

- $F_y = 108,786 \text{ kgf}$
- $W_{eixo1} = 1304,13 \text{ kgf}$
- $W_{eixo2} = 1304,13 \text{ kgf}$

### 5.1.2.2. Forças Dinâmicas

Os cálculos das forças dinâmicas são referentes às cargas a que o veículo e reboque estão sujeitos em situações dinâmicas, ou seja, quando existe aceleração ou desaceleração. Na figura 26 é possível verificar as forças dinâmicas numa situação de desaceleração,  $M \times ax$  e  $F_t$ , sendo provenientes da travagem o que origina cargas de maior intensidade, uma vez que nestas situações o reboque atinge uma maior alteração na sua aceleração.

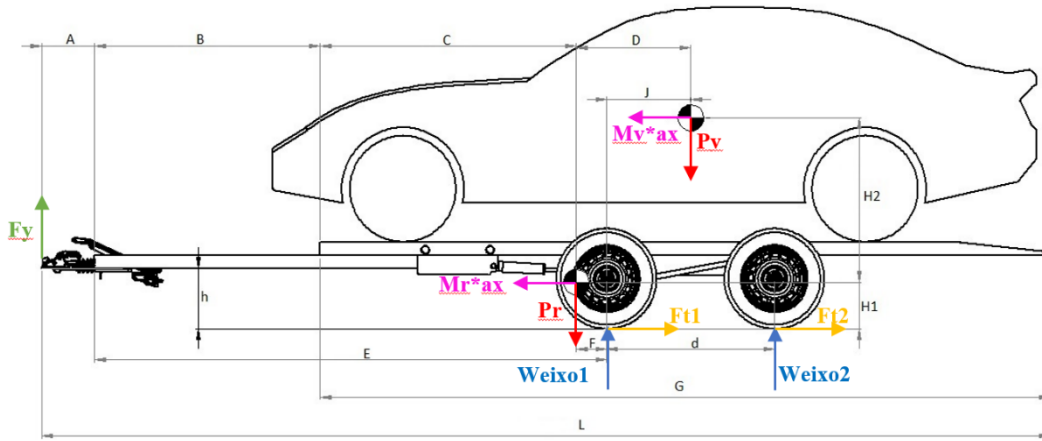


Figura 27 - Aplicação das Forças Dinâmicas

Assim como foi feita algumas simplificações no cálculo das forças estáticas no cálculo das forças dinâmicas foram feitas as mesmas simplificações. O reboque é composto por 2 eixos que foram simplificados por uma reação única,  $W_T$ , aplicada no ponto médio entre os dois eixos e uma única força,  $F_t$ .

Considerando as simplificações efetuadas temos a equação 21 e 22.

$$F_T = 2 \times F_e \Leftrightarrow F_e = \frac{F_T}{2} \quad (21)$$

$$W_T = 2 \times W_e \Rightarrow W_e = \frac{W_T}{2} \quad (22)$$

O sistema de equação 23 consiste na soma das forças e momentos no ponto de engate do reboque, considerando que a soma dessas forças tem de ser zero.

$$\begin{cases} \sum F_x = 0 \\ \sum F_y = 0 \Leftrightarrow \\ \sum M_{F_y} = 0 \end{cases}$$

$$\begin{cases} F_t - M_{veiculo} \times ax - M_{reboque} \times ax = 0 \\ F_y + W_T - P_{veiculo} - P_{reboque} = 0 \\ F_T \times h + W_T \times \left(A + E + \frac{d}{2}\right) + M_{reboque} \times ax \times (h - H1) + M_{veiculo} \times ax \times (H1 + H) \\ - P_{veiculo} \times (A + B + C + D) - P_{reboque} \times (A + B + C) = 0 \end{cases} \quad (23)$$

$$\Leftrightarrow \begin{cases} F_t = 2218 \text{ N} \\ F_y = 1701,25 \text{ N} \\ W_T = 25469,2 \text{ N} \end{cases}$$

Tendo em conta as simplificações efetuadas no início do temos as equações 24 e 25.

$$W_e = \frac{W_T}{2} \Leftrightarrow W_e = \frac{25469,2}{2} \Leftrightarrow W_e = 12734,6 \text{ N} \Rightarrow W_e = 1273,46 \text{ kgf} \Rightarrow \begin{cases} W_{eixo1} = 1273,46 \text{ kgf} \\ W_{eixo2} = 1273,46 \text{ kgf} \end{cases} \quad (24)$$

$$F_e = \frac{F_T}{2} \Leftrightarrow F_e = \frac{2218}{2} \Leftrightarrow F_e = 1109 \text{ N} \Rightarrow F_e = 110,09 \text{ kgf} \Rightarrow \begin{cases} F_{eixo1} = 110,09 \text{ kgf} \\ F_{eixo2} = 110,09 \text{ kgf} \end{cases} \quad (25)$$

Após o cálculo das equações foi possível chegar aos valores das forças:

- $F_y = 170,125 \text{ kgf}$
- $F_{t1} = 110,09 \text{ kgf}$
- $F_{t2} = 110,09 \text{ kgf}$
- $W_{eixo1} = 1273,46 \text{ kgf}$
- $W_{eixo2} = 1273,46 \text{ kgf}$

## 5.2. Modelação CAD

A modelação de todas as peças que fazem parte do chassi foi feita no software SolidWorks, tendo o processo se prolongado por diversos meses. O processo foi iniciado com a montagem da estrutura do chassi, figura 27.

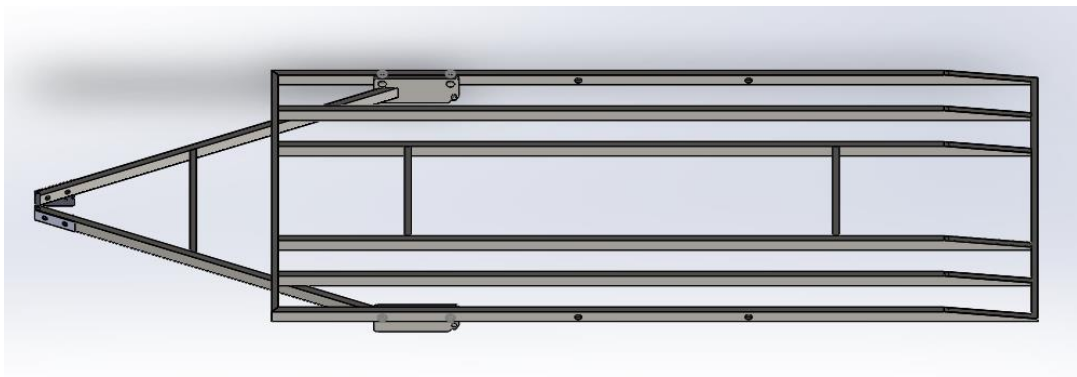


Figura 28 – Chassi do Semirreboque

Era necessário colocar uma chapa nas zonas onde vão ficar as rodas do automóvel mas também achei necessário tapar a parte do meio de forma a que se for necessário carregar um automóvel mais pequena, este semirreboque também fosse capaz, figura 28.

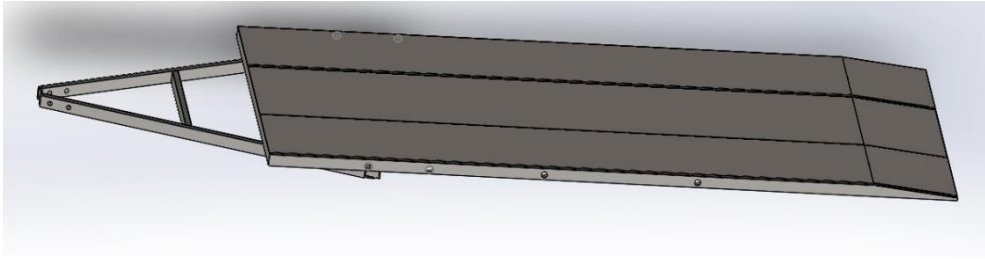


Figura 29 – Chassi completo do semirreboque

Foi criada uma caixa central por baixo do reboque para se poder colocar todo o sistema hidráulico, figura 29.

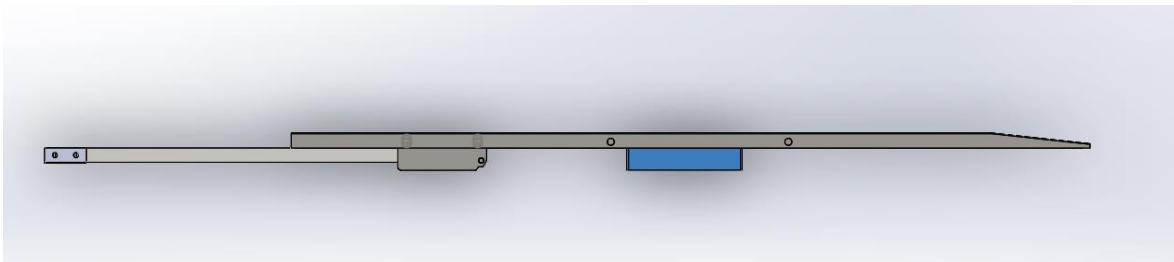


Figura 30 – Caixa para sistema hidráulico

Foi modelada uma chapa onde é soldada o tubo de ligação ao engate e afixado o cilindro hidráulico, figura 30.

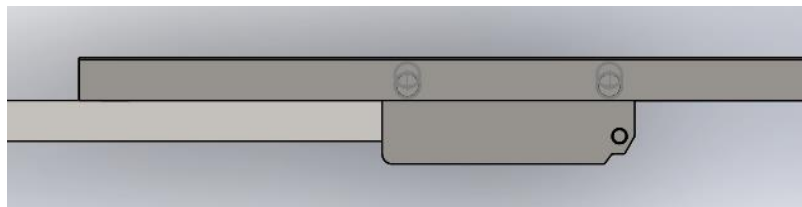


Figura 31 – Chapa de fixação do cilindro hidráulico e da longarina que vai ao engate

### 5.3. Apresentação do mecanismo de elevação

O objetivo principal deste trabalho foi o desenvolvimento de um mecanismo que fizesse a plataforma vir ao nível do chão e voltasse a subir de forma prática e segura.

A melhor solução encontrada foi criar um mecanismo que faz com que os eixos rodem sobre eles próprios, acionado por um sistema hidráulico.

Na posição de andamento o semirreboque encontra-se como demonstrado na figura 31.

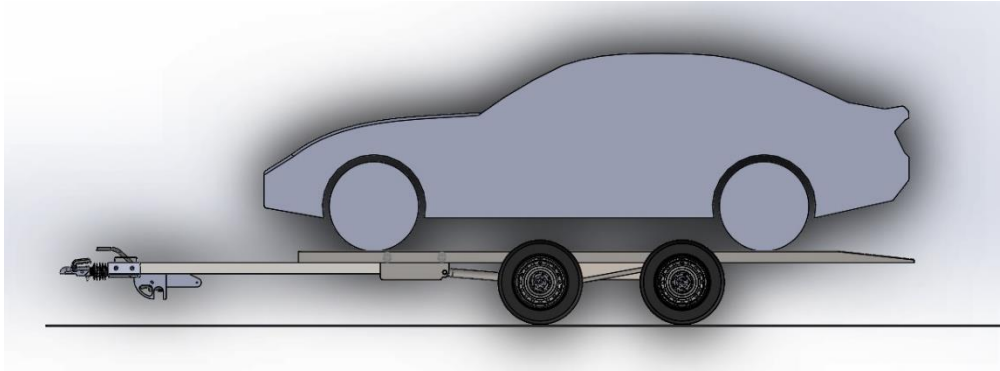


Figura 32 – Semirreboque na posição de andamento

Já na posição de carga e descarga do veículo, o mesmo encontra-se como na figura 32.

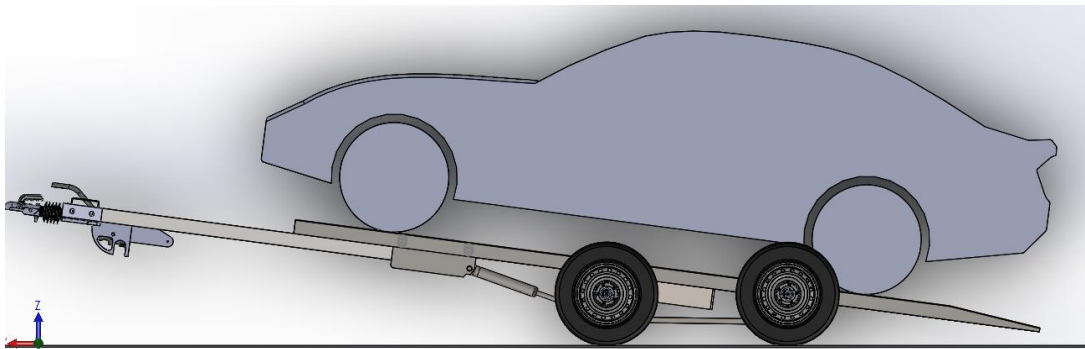


Figura 33 - Semirreboque na posição de carga e descarga

O desenvolvimento do mecanismo centrou-se na modelação das peças que encaixam nos eixos e na ligação dos dois eixos para que o mesmo cilindro hidráulico acione as duas rodas do mesmo lado. Na figura 33 pode ver-se parte do mecanismo desenvolvido.

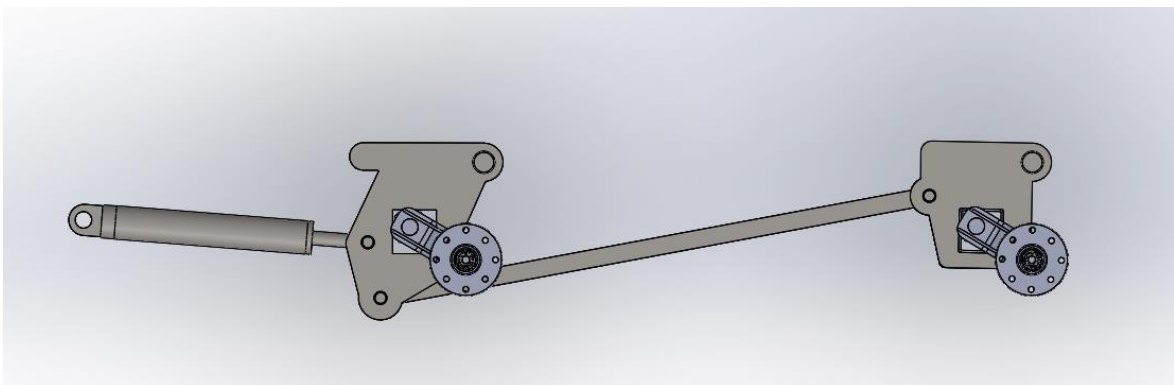


Figura 34 – Mecanismo de rebaixamento e elevação

O sistema instalado no eixo da frente é diferente do eixo traseiro. No eixo da frente não havia a necessidade da uma rotação tão grande como no eixo traseiro, por isso foi necessário

desenvolver peças com formatos diferentes; outra diferença é que o acionamento do mecanismo pelo cilindro hidráulico é realizado no eixo dianteiro.

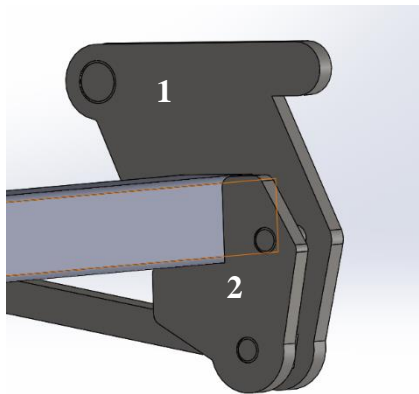


Figura 35 – Peças montadas no eixo dianteiro

Como é possível visualizar na figura 34 são necessárias duas peças em cada extremidade do eixo pois é através da peça 1 que o eixo é fixo à estrutura do semirreboque; já a peça 2 vai fazer a fixação da barra ligante entre eixos e também de uma das extremidades do cilindro hidráulico.

O eixo traseiro o ângulo de rotação necessário para que o estrado do semirreboque chegasse ao solo é muito maior. Na figura 35 da mesma forma que no eixo dianteiro a peça 1 vai fixar o eixo à estrutura e a peça 2 apenas tem de função de fixar a barra ligante entre eixos.

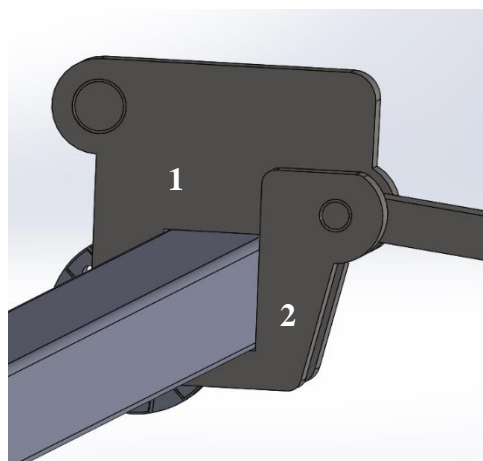


Figura 36 – Peças montadas no eixo traseiro

## 6. Resultados Ansys

É necessário verificar a integridade do chassi e para isso procedeu-se à criação de um modelo computacional em elementos finitos. De forma a realizar esta análise é necessário fazer a importação do modelo CAD, desenvolvido no software Solidword, para o software Ansys, bastando para isso gravar o mesmo num formato neutro como é o STEP.

A análise escolhida no Ansys para verificar a integridade do chassi foi a Análise Estrutural Estática, na figura 37 é possível observar as inúmeras análises disponíveis no programa.

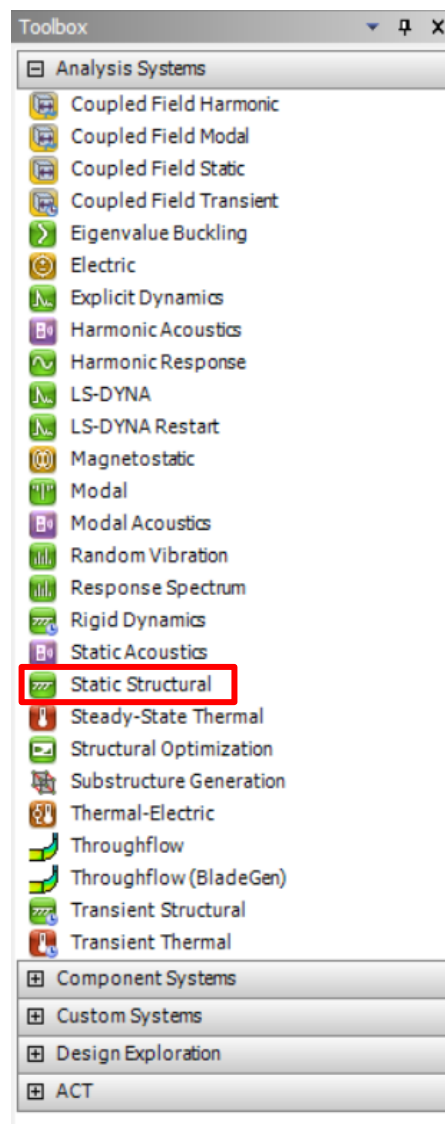


Figura 37 – Quadro com as análises Ansys

O passo seguinte como referido acima é importar a modelação CAD para o software de análise para posteriormente se conseguir definir materiais, forças e encastramentos do chassi, para se calcular as tensões presentes no mesmo.

Os materiais constituintes do chassi são escolhidos no menu “Engineering Data”, figura 38, e são os seguintes: Aço Estrutural e Alumínio.

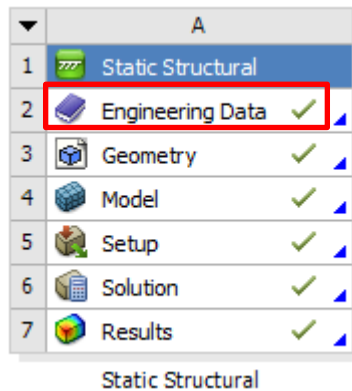


Figura 38 – Quadro Ansys com o projeto de análise

As características de cada um aparece nas figuras 39 e 40.

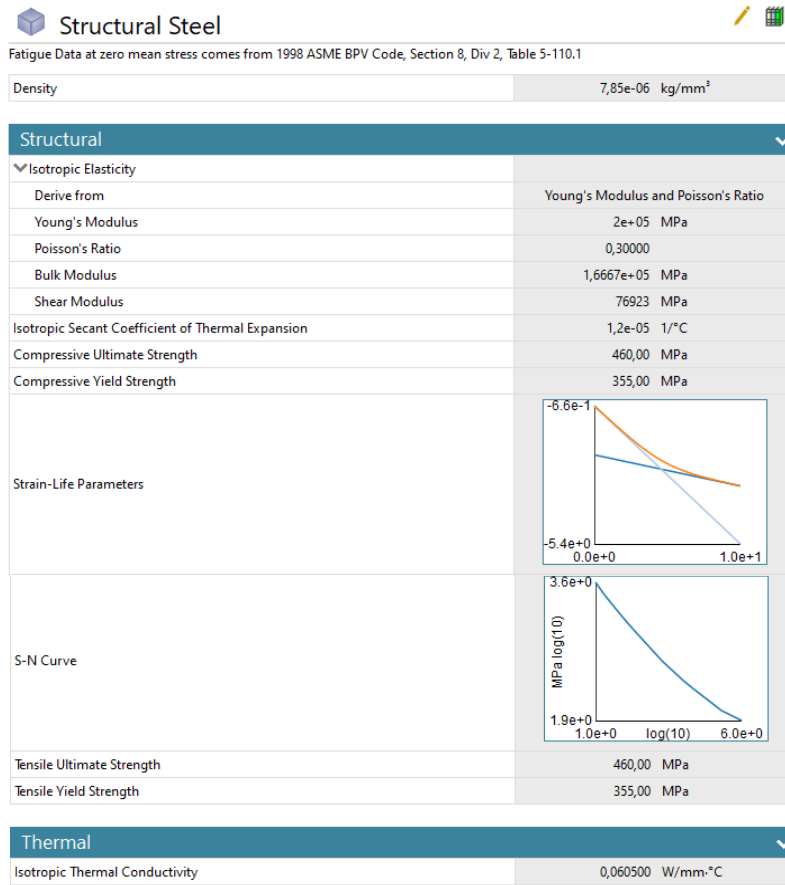


Figura 39 – Características de material utilizado no Ansys

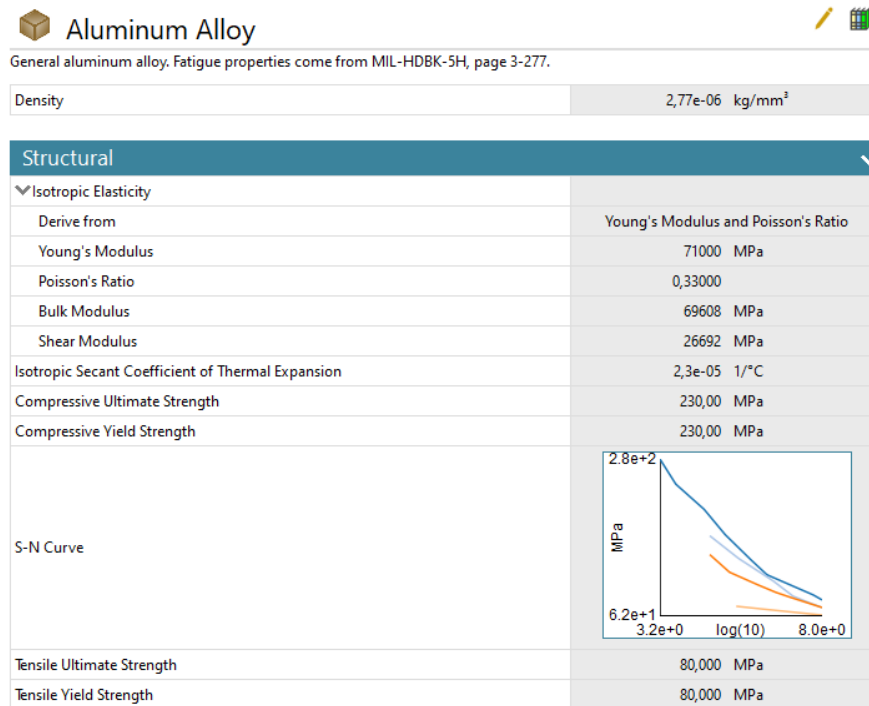


Figura 40 – Características do segundo material utilizado no Ansys

Para que o software possa realizar a simulação é necessário dividir a peça em pequenos elementos, chamados de malha. A malha pode ser executada de forma automática através dos níveis de resolução do Ansys que vão de um a sete, em que *um* é o tamanho do elemento maior e o *sete* o elemento mais pequeno. No entanto, para estrutura do chassi o tamanho da malha foi introduzido manualmente, sendo definido um tamanho da malha de 60 para todas as partes do chassi com exceção de três superfícies que foi definido o tamanho de malha de 25 de forma a se ajustar o grau de detalhe da mesma. Estas últimas superfícies são as placas laterais onde são fixados os cilindros hidráulicos, figura 41, e a peça de fixação do engate de reboque, figura 42.

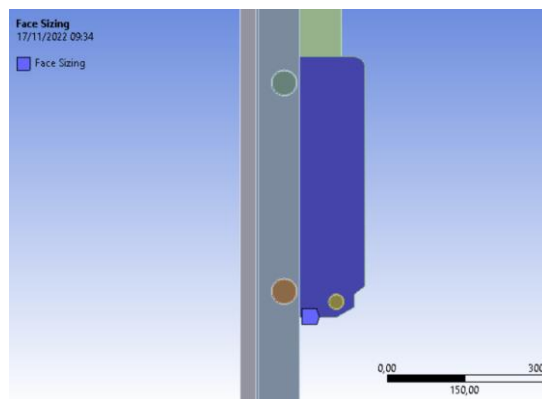


Figura 41 – Peça com malha de tamanho 25

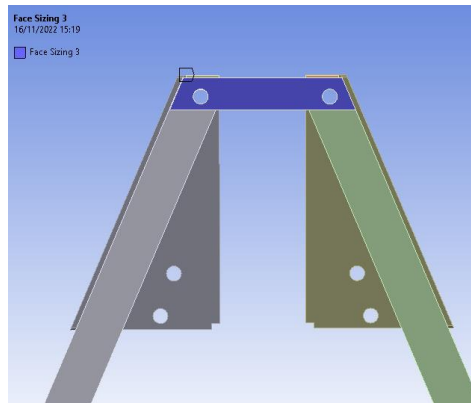


Figura 42 – Segunda peça com tamanho de malha 25

Após gerada a malha foi possível verificar no software que o chassi é composto por 95032 elementos, figura 43.

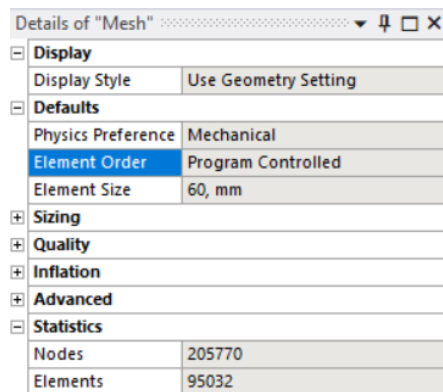


Figura 43 – Características de malha da estrutura

Para se conseguir analisar a estrutura é crucial restringir o seu movimento em pontos chave de forma a simular com a máxima exatidão a realidade. Foram definidos oito apoios na estrutura, dentro dos quais, quatro apoios numa superfície cilíndrica, “Cylindrical Support” nos apoios dos eixos. Este limita os movimentos axiais e radiais permitindo os movimentos tangenciais que na figura 44 são identificados com as letras A, B, C e D.

Foram ainda definidos mais 4 apoios nos pontos de encaixe do engate de reboque ao chassi, onde foi definido o “Remote Displacement”, que não permite movimento nos eixos X, Y e Z mas permite rotação nos mesmos eixos que na figura 44 estão definidos pelas letras G, H, F e E.

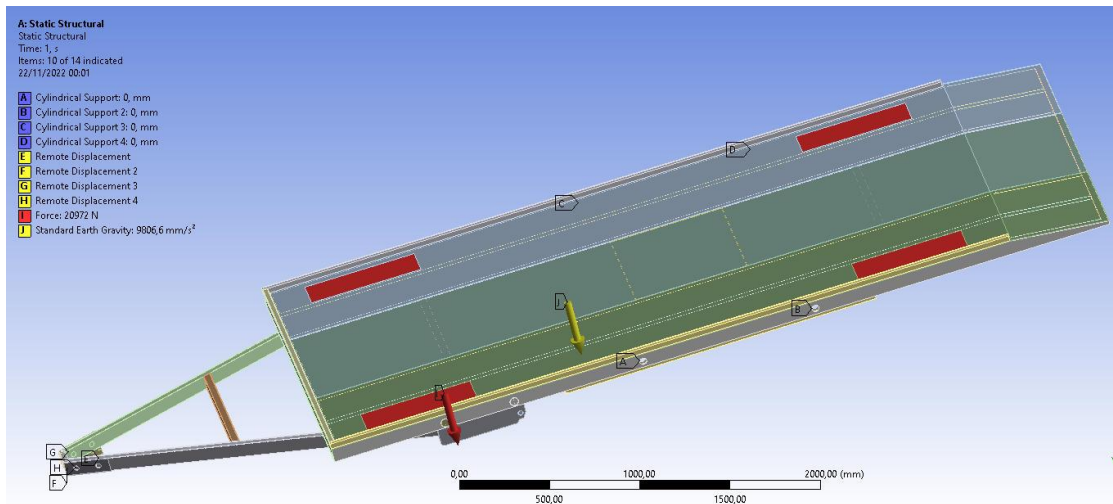


Figura 44 – Forças e encastramentos aplicados a estrutura

Para além das restrições de movimento feitas na estrutura foi definida a força da gravidade e ainda a força imposta pela viatura que irá estar presente no reboque quando este estiver carregado. A força definida foi de 20972 N dividida pelos 4 pontos a vermelho presentes figura 44.

Na análise a efetuar o importante foi verificar a Tensão Equivalente de Von-Mises, a Deformação Total, o Fator de Segurança e por fim a Fadiga, figura 45.

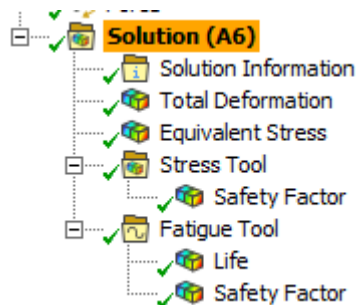


Figura 45 – Análises efetuadas no Ansys

Ao calcular as tensões equivalentes de Von-Mises presentes no chassi foi possível verificar que a tensão máxima é de 182,07 MPa o que significa que esta é quase metade da tensão de cedência do material que é de 355 MPa, figura 46. A maior concentração de tensões encontra-se nos pontos de encaixe dos eixos, como é possível visualizar na figura 47, mas, no entanto não temos tensões superiores a 178 MPa.

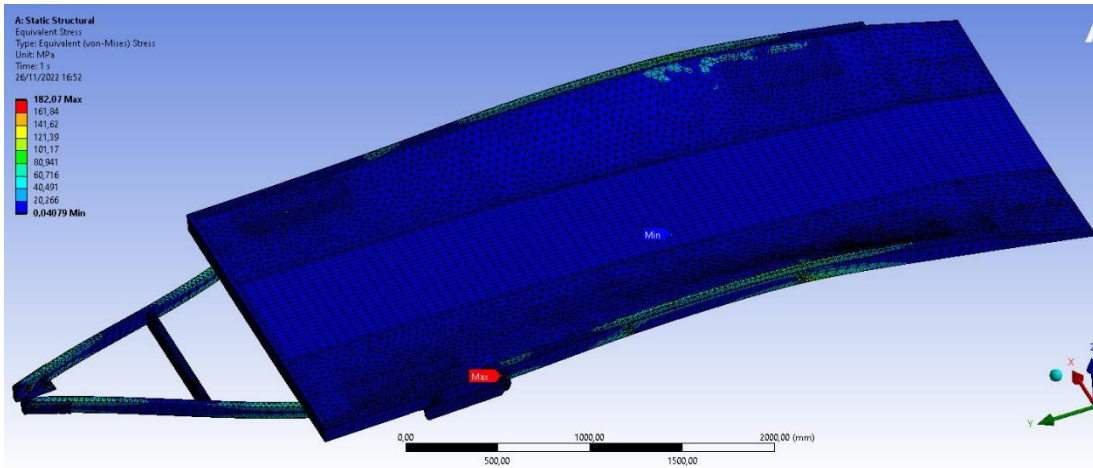


Figura 46 – Resultados da Tensão Equivalente de Von-Mises

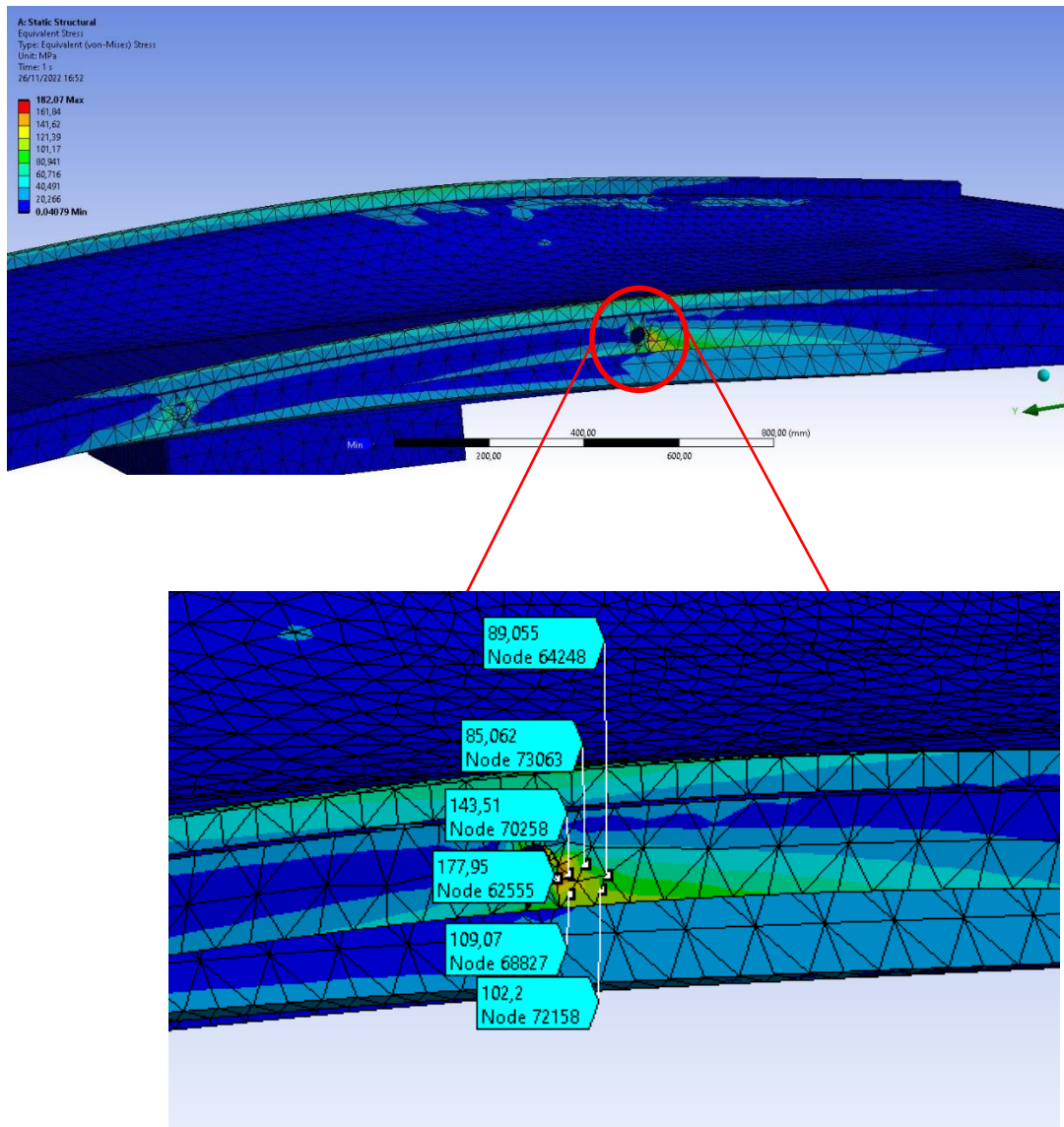


Figura 47 – Resultados específicos da tensão equivalente de Von-Mises

A tensão máxima encontra-se no ponto de encaixe entre a estrutura exterior do reboque e a placa onde é fixado o cilindro hidráulico, figura 48.

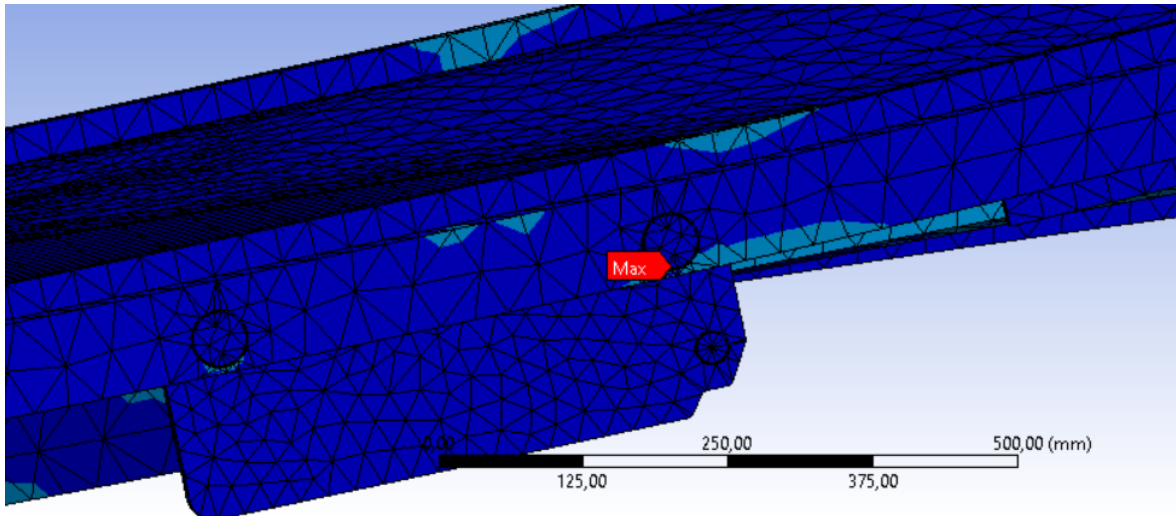


Figura 48 – Ponto máximo da tensão

Posteriormente foi analisada a deformação total sofrida pelo chassi, como podemos observar na figura 49 que a deformação máxima é de 9,36 mm e acontece no extremo do reboque onde o veículo é carregado e descarregado. Um valor de deformação de 9 mm para uma estrutura de 4,5 metros por 2 metros significa uma rigidez aceitável podendo concluir-se que o mesmo não se encontra sobredimensionado.

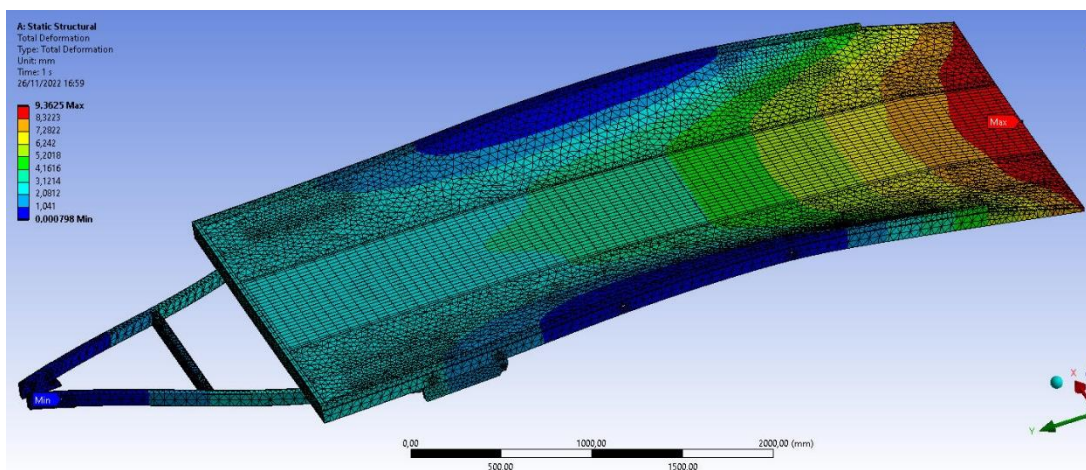


Figura 49 – Resultados da deformação

Foi também analisado o fator de segurança do chassi do semirreboque sendo possível concluir que o valor mínimo de segurança é de 1,94 que é superior ao fator de 1,5 admissível para veículos ligeiros, figura 50.

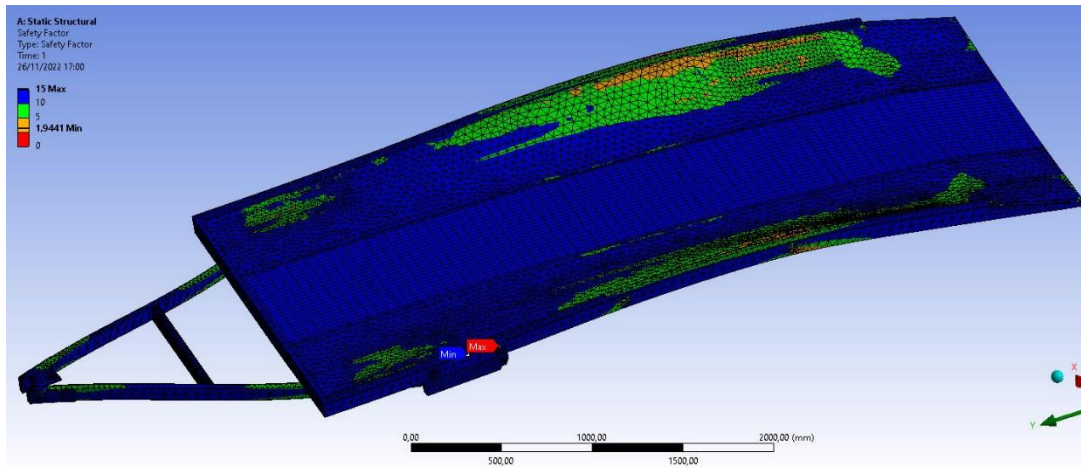


Figura 50 – Resultados do fator de segurança

Existem na zona de encaixe dos eixos alguma coloração mais verde e laranja, mas como se pode verificar na figura 51 o fator de segurança nessas zonas varia entre 3 e 8 o que é muito superior ao recomendado.

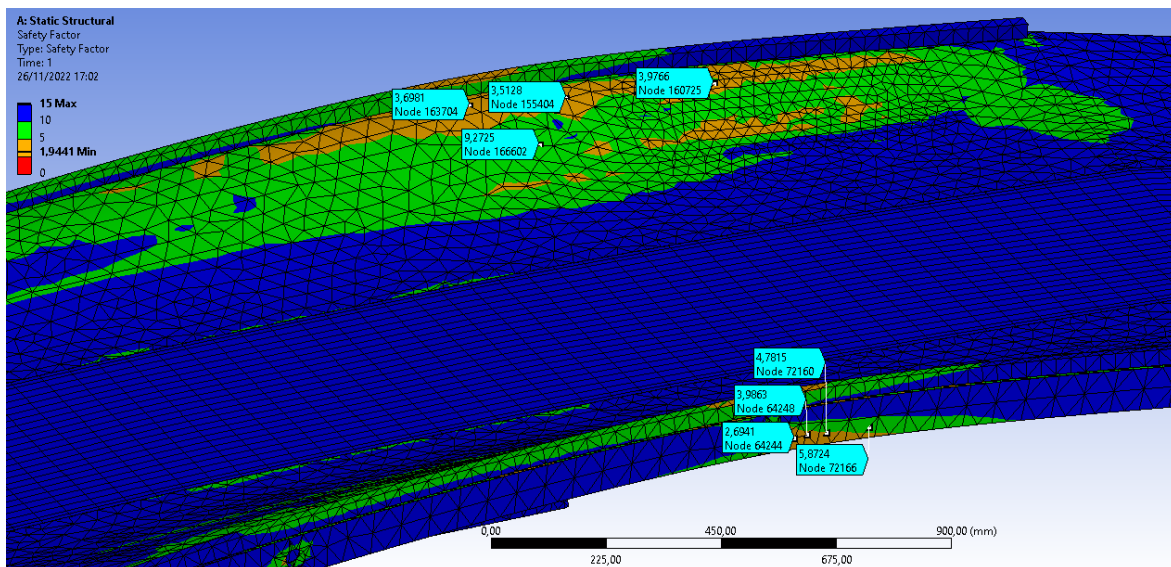


Figura 51 – Resultados específicos do fator de segurança

O fator mínimo de segurança encontra-se situado na plataforma onde a viatura é carregada, mas próxima da placa onde é encaixado o cilindro hidráulico, figura 52, mesmo neste caso estamos continuamos a ter um fator de segurança superior ao recomendado.

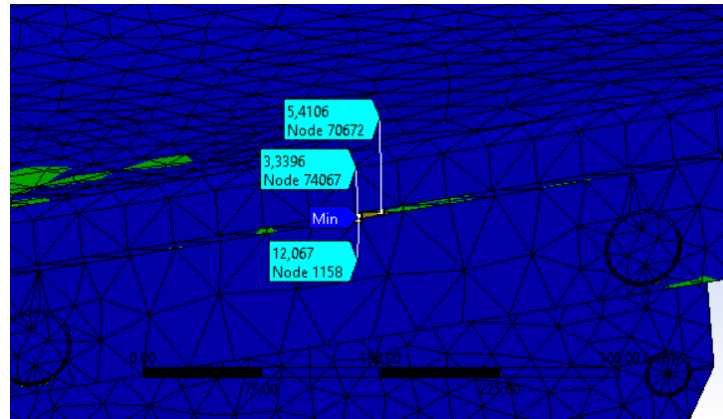


Figura 52 – Valor mínimo do fator de segurança

Por fim, a estrutura foi testada à fadiga e é possível concluir que a mesma está dentro dos parâmetros previstos que é de suportar os ciclos à fadiga de  $10^6$ . Na figura 53 é possível observar que a plataforma de carga a que pertence a estrutura do chassi tem o valor máximo de fadiga.

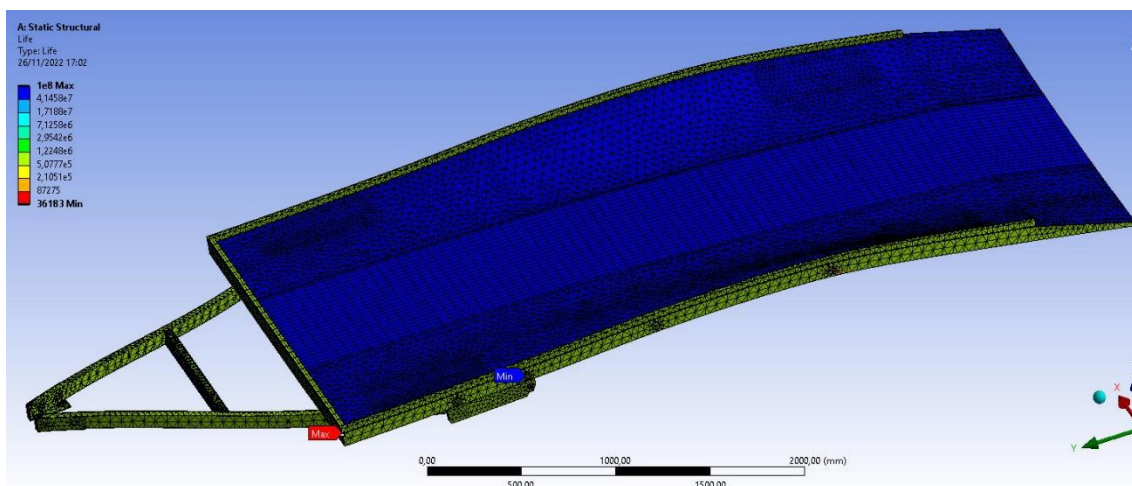


Figura 53 – Resultados da Fadiga

A estrutura do chassi apresenta um comportamento a fadiga ligeiramente mais baixo que a plataforma sendo que no ponto de encaixe do eixo traseiro encontra-se ligeiramente abaixo do recomendado, figura 54.

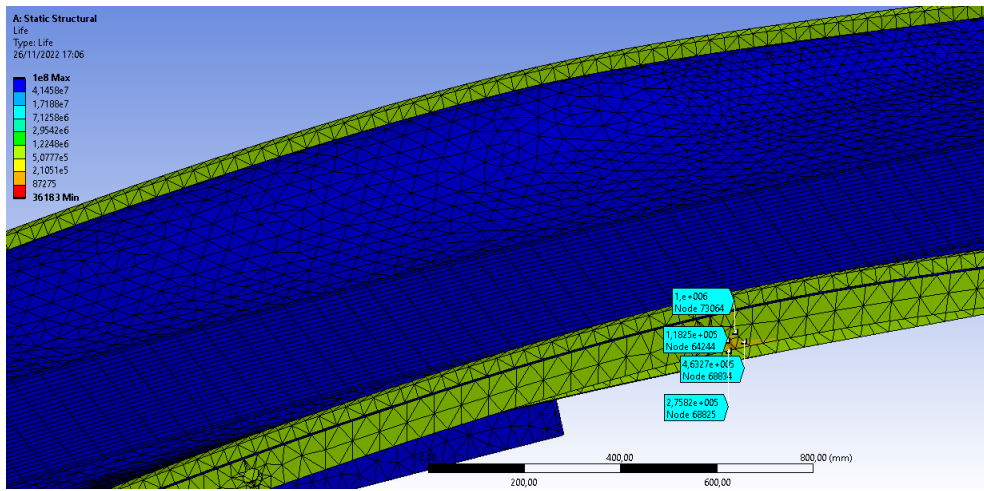


Figura 54 – Resultados específicos da fadiga

## 7. Conclusão e sugestões para trabalhos futuros

As conclusões que se seguem foram retiradas de toda a análise feita durante o desenvolvimento deste projeto e ainda algumas otimizações necessárias e novas ideias para trabalhos futuros.

### 7.1. Conclusão

Com o desenvolvimento deste projeto foi possível estabelecer uma ponte entre o ensino e o mundo empresarial, pois este projeto apesar de ter sido desenvolvido no âmbito estudantil pode facilmente transformar-se numa ideia de negócio promissora. O estudo desenvolvido de um semirreboque que se insere na categoria O2 foi essencial para obter conhecimentos mais profundos sobre o tema e o que é necessário para a sua homologação.

Foi possível alcançar o objetivo inicialmente proposto, ou seja, o desenvolvimento de um semirreboque que tivesse uma plataforma que viesse até ao nível do solo, de forma automática.

O estudo apresentado neste projeto permitiu desenvolver e aprofundar conhecimentos sobre os semirreboques, suas limitações e regras a cumprir, se o passo seguinte for passar para a homologação do mesmo. Foi possível colocar em prática conhecimentos adquiridos durante o Mestrado de Engenharia Automóvel, mas também conhecimentos adquiridos da experiência profissional no mundo automóvel.

Foram analisadas as tensões equivalentes de Von-Mises, a deformação total, o fator de segurança e a fadiga de um semirreboque onde foi possível concluir com os resultados obtidos para todas as análises, com a exceção da fadiga, estão em conformidade com as regras impostas pela União Europeia.

Após a análise dos resultados obtidos com as simulações numéricas efetuadas ao chassi do semirreboque, foi possível verificar a necessidade de realizar algumas alterações ao mesmo para que nos pontos de encaixe dos eixos não haja uma concentração de tensões tão elevada, e também porque na análise da fadiga nos mesmos pontos, também são os mais críticos. Esta alteração tem de ter em conta que não é possível que o perfil utilizado na estrutura tenha uma largura maior pois isso irá comprometer o ângulo de rodagem dos eixos que faz com que o semirreboque venha até ao solo.

A nível pessoal o desenvolvimento deste projeto foi importante pois permitiu adquirir conhecimentos importantes para a vida profissional e também reunir informações úteis sobre os processos de homologação, principalmente no que diz respeito à documentação necessária.

## **7.2. Sugestões para trabalhos futuros**

Para o desenvolvimento de trabalhos futuros serão apresentadas algumas sugestões de melhoria para este projeto.

Uma das sugestões de trabalhos futuros seria a análise experimental do semirreboque em curva e com uma aceleração imposta para se poder analisar os resultados obtidos. Também é necessário fazer melhoramentos no chassi, mais precisamente onde os eixos encaixam, pois há uma maior concentração de tensões.

Um dos próximos passos a seguir é a construção do semirreboque, apresentar o processo de homologação a entidade competente, o IMT, e para isso é necessário realizar um dossier de homologação, e um dossier de fabrico que vai contemplar todos os processos de fabrico utilizados para a construção do semirreboque. No entanto, para se conseguir passar para este passo é necessário criar um sistema de segurança manual que faça o travamento do sistema hidráulico na posição de andamento caso o hidráulico avarie.

Seria uma mais-valia a validação dos resultados numéricos aquando da construção do semirreboque, pois assim seria possível verificar a correlação entre os resultados obtidos numericamente e os resultados experimentais.

## 8. Bibliografia

- Aveimaster. (2019). *Aveimaster*. Obtido em 3 de agosto de 2022, de <https://aveimaster.com/pt/chapa-perfurada/4485-chapa-perf-alu-7f-p-auto-t-kassbohrer-2500x625x4mm-u85x60a-746710.html>
- Costa, F. D. (novembro de 2012). Dimensionamento estático do chassi da suspensão de semi-reboque para vasos de pressão com viga em perfil "I" utilizando o método dos elementos finitos. *Trabalho de conclusão do curso de Engenharia Mecânica*. Universidade São Francisco, Brasil. Obtido em 5 de maio de 2022, de <http://lyceumonline.usf.edu.br/salavirtual/documentos/2920.pdf>
- Decreto-Lei n.º 132/2017, de 11 de outubro. (s.d.). *Diário da República n.º 196/2017, Série I de 2017-10-11, páginas 5638 - 5647*. Lisboa: *Planeamento e das Infraestruturas*.
- Decreto-Lei n.º 16/2010, de 12 de março. (s.d.). *Diário da República n.º 50/2010, Série I de 2010-03-12, páginas 730 - 803*. Lisboa: *Ministério das Obras Públicas, Transportes e Comunicações*.
- Decreto-lei n.º 40/2016 de 26 de julho. (s.d.). *Diário da República n.º 145/2016, Série I de 2016-07-29, páginas 2491 - 2555*. Lisboa: *Planeamento e das Infraestruturas*.
- Driemeier, L. (1995). Considerações sobre a fadiga em metais e o comportamento do concreto sob solicitação cíclica. *Dissertação de Mestrado*. Universidade de São Paulo, Brasil. Obtido em 27 de setembro de 2022, de [https://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/18/18134/tde-25042018-112206/publico/Dissert\\_Driemeier\\_Larissa.pdf](https://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/18/18134/tde-25042018-112206/publico/Dissert_Driemeier_Larissa.pdf)
- EN 10210-1: 1994 - Hot finished structural hollow sections of non-alloy and fine grain structural steels - Part 1: Technical delivery requirements. (s.d.).
- EN 485-2: 2016+A1:2018 - Aluminium and aluminium alloys - Sheet, strip and plate - Part 2: Mechanical properties. (s.d.).
- Furtado, D. C. (2013). Análise estrutural de chassi de veículo automotivos. *Monografia (Bacharel de Engenharia Automotiva)*. Universidade de Brasília, Brasil. Obtido em 10 de junho de 2022, de [https://bdm.unb.br/bitstream/10483/71113/1/2013\\_DanielCanongiaFurtado.pdf](https://bdm.unb.br/bitstream/10483/71113/1/2013_DanielCanongiaFurtado.pdf)

- Gillespie, T. D. (1992). *Fundamentals of Vehicle Dynamics*. Estados Unidos da América: Society of Automotive Engineers Inc.
- Góz, A. V. (2018). Estudo comparativo das propriedades mecânicas dos tubos quadrados laminados a quente com os conformados a frio com tratamento térmico de alívio de tensão. *Dissertação de Mestrado*. Universidade Estadual Paulista, Brazil. Obtido em 17 de agosto de 2022, de [https://repositorio.unesp.br/bitstream/handle/11449/180724/goz\\_avs\\_me\\_guara.pdf?sequence=7&isAllowed=y](https://repositorio.unesp.br/bitstream/handle/11449/180724/goz_avs_me_guara.pdf?sequence=7&isAllowed=y)
- Instituto da Mobilidade e dos Transportes, I.P. (1 de janeiro de 2012). *IMT*. Obtido de <https://www.imt-ip.pt/sites/IMTT/Portugues/Veiculos/Aprovacoes/HomologacoesVeiculos/Paginas/HomologacaoVeiculos.aspx>
- Jason C. Brown, a. J. (2002). *Motor Vehicle Structures: Concepts and Fundamentals*. Oxford: Butterworth Heinemann.
- José Danilo Rairán Antolines, L. S. (outubro de 2006). Implementación de un controlador difuso para la regulación de posición de un cilindro hidráulico linear. Espanha. Obtido em 2 de setembro de 2022, de <https://revistas.udistrital.edu.co/index.php/Tecnura/article/view/6212/7734>
- Knott GmbH. (s.d.). *Knott*. Obtido em 20 de agosto de 2022, de <https://www.knott-trailer-shop.com/index.php>
- Lopes, C. M. (2011). Modelação numérica do comportamento assimétrico do betão. *Dissertação de Mestrado*. Universidade de Aveiro, Portugal. Obtido em 26 de setembro de 2022, de [https://ria.ua.pt/bitstream/10773/7341/1/Disserta%C3%A7%C3%A3o\\_carla\\_lopes.pdf](https://ria.ua.pt/bitstream/10773/7341/1/Disserta%C3%A7%C3%A3o_carla_lopes.pdf)
- M. Ravi Chandra, S. S. (2012). Modeling and Structural analysis of heavy vehicle chassis made of polymeric composite material by three different cross sections. *International Journal of Modern Engineering Research*, 2594-2600. Obtido em 20 de abril de 2022, de <http://kresttechnology.com/krest-academic-projects/krest-mtech-projects/Mechanical/Mech%20Mechanical%202016-2017%20abstract%20base%20paper/base%20papers/30.1.design%20and%20and%20analysis%20of%20automobile%20frame.pdf>

- Marques, P. A. (outubro de 2014). Otimização das características de um chassi tubular de automóvel de competição com tração integral. *Dissertação de Mestrado*. Universidade do Minho, Portugal. Obtido em 4 de setembro de 2022, de <file:///C:/Users/mariana.fernandes/Downloads/Disserta%C3%A7%C3%A3o%20Pedro%20Marques%2052775%20-%202014.pdf>
- Martins, D. J. (Setembro de 2008). Otimização da Estrutura de um Semi-Reboque com Vista à Flexibilidade na Sua Adequação Funcional. *Dissertação de Mestrado*. Faculdade de Ciências e Tecnologia Universidade Nova de Lisboa, Lisboa, Portugal. Obtido em 6 de maio de 2022, de [https://run.unl.pt/bitstream/10362/1867/1/Martins\\_2008.pdf](https://run.unl.pt/bitstream/10362/1867/1/Martins_2008.pdf)
- Na Linha Trailers. (2022). *Na linha Trailers*. Obtido em 10 de setembro de 2022, de <https://www.nalinhatrailer.pt/products/atrelados-para-barcosdesportos-nauticos-2-eixos->
- Nautiquad. (2022). *Nautiquad*. Obtido em 10 de setembro de 2022, de <https://www.nautiquad.pt/>
- Operation of long semi-trailers in the United States. (2003). Em J. M. Alan Clayton, *Transportation Research Record* (pp. 79-86).
- Petenon, C. M. (2015). Dimensionamento de um sistema hidráulico para uma bancada de ensaios mecânicos. *Trabalho Final de Curso em Engenharia Mecânica*. Faculdade Horizontina, Brasil. Obtido em 15 de agosto de 2022, de [https://fahor.com.br/images/Documentos/Biblioteca/TFCs/Eng\\_Mecanica/2015/CristianMichelPetenon.pdf](https://fahor.com.br/images/Documentos/Biblioteca/TFCs/Eng_Mecanica/2015/CristianMichelPetenon.pdf)
- Regulamento n.º 13 da Comissão Económica das Nações Unidas para a Europa (UNECE) — Prescrições uniformes relativas à homologação dos veículos das categorias M, N e O no que diz respeito à travagem [2016/194]. (8 de outubro de 2015).
- Santos, V. L., & Barbosa, P. D. (2004). Estudo da dinâmica vertical de um veículo através da teoria de sistemas multicorpos. Obtido em 6 de abril de 2022, de [http://sites.poli.usp.br/d/pme2600/2007/Artigos/Art\\_TCC\\_044\\_2007.pdf](http://sites.poli.usp.br/d/pme2600/2007/Artigos/Art_TCC_044_2007.pdf)
- Silva, R. M. (dezembro de 2013). Projeto e desenvolvimento de um semirreboque para transporte de automóveis. *Tese de Mestrado - Ciclo de Estudos Integrados Conducentes ao Grau de Mestre em Engenharia Mecânica*. Universidade do Minho.

Obtido em 20 de Setembro de 2022, de [https://repositorium.sdum.uminho.pt/bitstream/1822/28156/1/Disserta%20a7%20%20a3o\\_Rui%20Silva\\_2013.pdf](https://repositorium.sdum.uminho.pt/bitstream/1822/28156/1/Disserta%20a7%20%20a3o_Rui%20Silva_2013.pdf)

TopTrailer. (2022). *TopTrailer*. Obtido em 10 de setembro de 2022, de <https://toptrailer.pt/pt/produtos/auto-line-1eixo-auto-1-eixo>

Unitrailer. (s.d.). *Unitrailer*. Obtido em 5 de setembro de 2022, de <https://unitrailer.pt/product-por-4979-Chicote-eletrico-Mantes-para-reboques-7m-7-PIN-Baioneta-5-PIN-contornos-longos.html>

William D. Callister, D. G. (2016). *Ciências e engenharia de materiais: uma introdução* (9ª Edição ed.). Rio de Janeiro: LTC.





