

**CENTRO UNIVERSITÁRIO DO SUL DE MINAS - UNIS**  
**ENGENHARIA MECÂNICA**  
**DANIEL RODRIGUES PONTES**

**PLATAFORMA TRANSPORTADORA DE VEÍCULOS COM IMPLEMENTAÇÃO  
DE MELHORIA**

**VARGINHA**  
**2020**

**DANIEL RODRIGUES PONTES**

**PLATAFORMA TRANSPORTADORA DE VEÍCULOS COM IMPLEMENTAÇÃO  
DE MELHORIA**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao curso de Engenharia Mecânica do Centro Universitário do Sul de Minas como pré-requisito para obtenção do título de Engenheiro Mecânico, sob a orientação do Prof.º Matheus Henrique Pereira.

**VARGINHA**

**2020**

**DANIEL RODRIGUES PONTES**

**PLATAFORMA TRANSPORTADORA DE VEÍCULOS COM IMPLEMENTAÇÃO  
DE MELHORIA**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao curso de Engenharia Mecânica do Centro Universitário do Sul de Minas como pré-requisito para obtenção do título de Engenheiro Mecânico, pela Banca Examinadora composta pelos membros:

Aprovado em: \_\_\_\_/\_\_\_\_/\_\_\_\_

---

Prof.

---

Prof.

---

Prof.

OBS:

Dedico esse trabalho primeiramente à DEUS  
por me capacitar, e à minha querida família,  
esposa e aos meus amigos.

## AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente à Deus por me capacitar e abençoar, e me dar infinitamente mais do que eu mereço. Aos meus pais, que sempre estão comigo me amparando e me incentivando a seguir em frente. Obrigado por tudo que eles representam para mim.

À minha esposa, Melry, por sempre estar junto comigo, dando todo apoio e sendo companheira em todo momento, e por toda paciência que teve comigo durante esse tempo da minha vida. Obrigado pelo companheirismo e amor que você me proporciona.

Ao meu Orientador, Matheus Henrique, que tornou possível a execução desse trabalho, e por compartilhar um tão grande conhecimento para comigo, e por me auxiliar sempre que precisei. Muito obrigado por acreditar em mim.

À empresa Pontesmak Reboques, em especial aos proprietários Sr. Daniel e Sra. Beatriz que me auxiliaram para que eu pudesse desenvolver minha pesquisa, ao Waldimir, responsável pelo centro de inspeções do Inmetro de Pouso Alegre-MG, que mesmo durante a uma semana de trabalhos intensos na empresa, ele parou toda sua produção para me atender, agradeço muito e nem sei como os recompensar por tudo que me fizeram, muito obrigado.

Ao professor Jonathan, que me auxiliou nos fatores dinâmicos do projeto, me dando atenção mesmo estando ocupado com suas atividades, não mediu esforços para me auxiliar. Aos meus professores, que são profissionais de qualidade e que me passaram muito conhecimento, e pela amizade que pude construir com alguns deles.

À Instituição do Grupo Unis e seus funcionários, pelo suporte durante todos esses anos e por ter me concedido a oportunidade de estudar em uma Universidade de qualidade.

Daniel Rodrigues Pontes

Tu és o meu Deus; graças te darei!

Ó meu Deus, eu te exaltarei! Deem graças ao Senhor, porque ele é bom; o seu amor dura para sempre.

Salmos 118:28-29

## RESUMO

O presente trabalho visa apresentar a elaboração de um projeto de um reboque plataforma com aplicações de melhorias no mecanismo de funcionamento, para a utilização em transportes rodoviários e auto-socorro através de um veículo rebocador de porte pequeno, condicionada a sua praticidade em relação às plataformas convencionais. Um dos principais pontos de atenção em um projeto são as possíveis falhas que podem ocorrer, tanto na fase de projeto, como durante a vida útil do produto. Existem ferramentas que podem auxiliar a prever estas falhas antes que ocorram, podendo inclusive gerar simulações que podem antever essas situações, permitindo que haja adaptações no projeto. Para isto, é utilizado o método dos elementos finitos e “softwares” CAD/CAE para o desenvolvendo do projeto, de modo que seja certificado a aplicação de melhoria através de simulações, como também a realização de um levantamento financeiro, sistema de frenagem a ser aplicado e sua viabilidade diante dos resultados. Este trabalho baseia-se com algumas informações compartilhada pela empresa de reboques Pontesmak, situada na cidade de Três Pontas/MG.

**Palavra-Chave:** Reboques. Transportes Rodoviarios. Veiculos. Melhoria. Análise.

## **ABSTRACT**

*The present work aims to present the elaboration of a project of a platform tow with applications of improvements in the operating mechanism, for use in road transport and self-help through a small towing vehicle, subject to its practicality in relation to the platforms conventional. One of the main points of attention in a project are the possible failures that can occur, both in the design phase and during the product's life. There are tools that can help to predict these failures before they occur, and can even generate simulations that can predict these situations, allowing for adaptations to the project. For this, the finite element method and CAD / CAE “software” is used for the development of the project, so that the application of improvement through simulations is certified, as well as the realization of a financial survey, braking system to be applied and its viability in view of the results. This work is based on some information shared by the towing company Pontesmak, located in the city of Três Pontas / MG.*

**Keyword:** *Tow. Road Transport. Vehicles. Improvement. Analysis.*

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Semirreboque acoplado a uma unidade tratora. ....	14
Figura 2: Semirreboque acoplado a uma unidade tratora .....	15
Figura 3: Fatores influentes no transporte .....	17
Figura 4: Esquematização da análise dinâmica. ....	20
Figura 5: Freio a disco. ....	23
Figura 6: Freio a tambor. ....	23
Figura 7: Sistema mecânico inercial. ....	24
Figura 8: Sistema hidráulico inercial. ....	25
Figura 9: Modelo de ensaio de tração. ....	28
Figura 10: Cargas cíclicas .....	30
Figura 11: Curva de fadiga S-N. ....	31
Figura 12: Componentes da plataforma .....	33
Figura 13: Plataforma .....	34
Figura 14: Componentes da base da plataforma. ....	34
Figura 15: Conjunto da suspensão .....	35
Figura 16: Conjunto de rodagem .....	36
Figura 17: Posicionamento das forças .....	37
Figura 18: Resultados das reações de apoio .....	38
Figura 19: Montagem do reboque plataforma .....	39
Figura 20: Montagem dos elementos. ....	39
Figura 21: Representação do princípio de funcionamento do reboque .....	40
Figura 22: Geometria estrutural utilizado. ....	41
Figura 23: Geração das malhas da estrutura .....	42
Figura 24: Forças aplicadas na estrutura .....	43
Figura 25: Pontos fixo da estrutura. ....	43
Figura 26: Forças aplicadas no eixo. ....	44
Figura 27: Malha gerada no eixo. ....	45
Figura 28: Resultado da deformação total da estrutura. ....	46
Figura 29: Resultado da tensão de von mises na estrutura. ....	47
Figura 30: Resultado do fator de segurança gerada na estrutura. ....	48
Figura 31: Vida de fadiga na estrutura .....	48
Figura 32: Reação de apoio no ponto de acoplamento do reboque .....	49

Figura 33: Resultado da reação de apoio no ponto de fixação da suspensão .....	50
Figura 34: Forças aplicadas no eixo. ....	51
Figura 35: Resultado da deformação total do eixo .....	51
Figura 36: Resultado da tensão de von mises do eixo .....	52
Figura 37: Resultado do fator de segurança gerada no eixo.....	53
Figura 38: Vida de fadiga no eixo .....	53
Figura 39: Propriedades de massa da estrutura .....	54

## SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO .....</b>	<b>13</b>
<b>2 REFERENCIAL TEÓRICO .....</b>	<b>14</b>
2.1 Definição de Reboque .....	14
2.2 Registro dos Reboques .....	15
2.3 Reboques Vinculados ao Transporte .....	16
2.4 Fatores Influentes no Transporte.....	17
2.5 Itens Obrigatórios no Reboque .....	17
2.6 Fatores Estáticos e Dinâmicos .....	19
2.6.1 Fatores Estáticos .....	19
2.6.2 Fatores Dinâmicos .....	20
2.7 Vibrações .....	21
2.7.1 Fator de Amortecimento.....	21
2.7.2 Frequências Naturais .....	21
2.8 Sistema de frenagem.....	22
2.8.1 Sistema de Frenagem em Reboques .....	24
2.8.1.1 Sistema Mecânico Inercial.....	24
2.8.1.2 Sistema hidráulico .....	25
2.9 Análise pelo Método dos Elementos Finitos (MEF) .....	25
2.10 Conceitos de Simulações .....	26
2.10.1 Parâmetros para simulações de projetos.....	26
2.11 Interpretação dos Resultados .....	27
2.11.1 Deformação Total .....	27
2.11.2 Tensão de Von Mises .....	28
2.11.3 Fator de Segurança Estrutural .....	29
2.11.4 Vida a Fadiga.....	30
<b>3 METODOLOGIA.....</b>	<b>32</b>
3.1 Definição dos Materiais.....	32
3.1.1 Materiais utilizados na plataforma .....	32
3.1.2 Materiais utilizados na base da plataforma .....	34
3.2 Definição da suspensão do reboque .....	35
3.2.1 Dimensionamento da posição dos eixos.....	36
3.3 Definição do Sistema de Frenagem .....	38

<b>3.4 Montagem dos elementos do projeto</b> .....	<b>38</b>
<b>3.5 Princípio de Funcionamento do Reboque.</b> .....	<b>40</b>
<b>3.6 Análise Estrutural</b> .....	<b>40</b>
3.6.1 Definição do software para a análise .....	41
3.6.2 Geometria estrutural utilizada .....	41
3.6.3 Geração das Malhas.....	42
3.6.4 Força aplicada para análise estrutural.....	42
3.6.5 Pontos de apoio da estrutura .....	43
3.6.6 Análise dos eixos do reboque .....	44
3.6.6.1 Geração de malhas da análise do eixo .....	44
<b>4 RESULTADOS E DISCUSSÃO</b> .....	<b>46</b>
<b>4.1 Deformação Total da Estrutura</b> .....	<b>46</b>
4.1.2 Resultado da tensão de von mises na estrutura .....	46
4.1.3 Resultado do fator de segurança gerada na estrutura .....	47
4.1.4 Vida de fadiga da estrutura.....	48
4.1.5 Resultado das reações de apoios.....	49
<b>4.2 Resultados da Análise do Eixo</b> .....	<b>50</b>
4.2.1 Deformação total da análise do eixo.....	51
4.2.2 Resultado da tensão de von mises do eixo .....	52
4.2.3 Resultado do fator de segurança gerado no eixo .....	52
4.2.4 Vida de fadiga no eixo.....	53
<b>4.3 Tabela de Custo Final</b> .....	<b>54</b>
<b>5 CONCLUSÃO</b> .....	<b>56</b>
<b>REFERÊNCIAS</b> .....	<b>57</b>

## 1 INTRODUÇÃO

Um reboque é qualquer tipo de veículo não motorizado que acoplado a um veículo trator, que possa ser utilizado para transportar vários tipos de carga. Alguns reboques são feitos para uso pessoal ou para pequenos negócios usados com praticamente qualquer veículo motorizado com um engate apropriado (GRISON, 2005).

Podem ser rebocados por caminhonetes ou veículos com um acessório instalado, cuja junção seja proporcionar o engate entre o reboque e o veículo trator. Geralmente não exigem nenhuma permissão especial para trafegarem, bastando atender a legislação vigente, como conter, número de chassi registra, placa e sinalização. Para conjuntos acoplados (veículo + reboque) cujo peso (massa) seja até 3500 kg o motorista pode ter a carteira de classe B, acima deste valor se faz necessária a classe E (BRASIL, 1998).

Os modelos de reboques plataforma que são utilizados no transporte de veículos leves, variam do projeto de fabricação de cada empresa homologada ou por fabricação própria com a certificação do INMETRO. Com a implementação de melhorias no mecanismo de funcionamento este projeto será uma tendência ao transporte de veículos do porte leve.

O objetivo deste trabalho é elaborar um projeto de um reboque plataforma, com aplicações de melhorias no mecanismo de funcionamento. Para a utilização em transportes rodoviários e autosocorro através de um veículo rebocador de porte pequeno. Visionando a sua praticidade em relação às plataformas convencionais. Um dos principais pontos de atenção em um projeto são as possíveis falhas que podem ocorrer, tanto na fase de projeto, como durante a vida útil do produto. Existem ferramentas que podem auxiliar a prever estas falhas antes que ocorram, podendo inclusive gerar simulações que podem antever essas situações, permitindo que haja adaptações no projeto.

Diante do exposto optou-se em analisar o projeto estrutural utilizando “software” CAD/CAE para a coleta de dados necessários para o desenvolvimento do mesmo, de modo que seja certificado a aplicação de melhoria. Considerando as informações coletada pela empresa de reboques Pontesmak, situada na cidade de Três Pontas/MG e as solicitações de fatores influentes no projeto, como fatores dinâmicos, fatores estáticos e normas regulamentadoras.

## 2 REFERENCIAL TEÓRICO

O referencial teórico da presente pesquisa foi estruturado em onze tópicos, a saber: definição de reboque; registro dos reboques; reboques vinculados ao transporte; fatores influentes no transporte; itens obrigatórios no reboque; fatores estáticos e dinâmicos; vibrações; sistema de frenagem; análise pelo método dos elementos finitos (MEF); simulações; interpretação de análise.

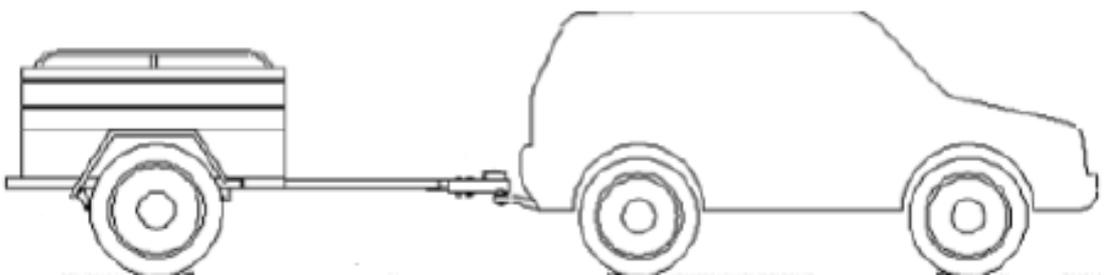
### 2.1 Definição de Reboque

Em relação ao transporte de cargas específicas está entre os mais difíceis e exige a aquisição de equipamentos de alto desempenho, para atingir os objetivos dos setores rodoviários, ferroviários, agroindústria, entre outros. Exemplo deste tipo de equipamento é o reboque para carros. (RODOTREM, 2020).

A diferença entre os reboques, se dá pela definição do PBT do veículo rebocável, ou seja, a soma do peso do reboque (tara) com a carga que o mesmo suporta. Reboques com PBT inferior a 750 kgf são considerados reboques leves, onde se diferenciam daqueles reboques com PBT superiores que necessitam obrigatoriamente o uso de um sistema de frenagem (BRASIL, 1998).

O Código de Trânsito Brasileiro, capítulo IX dos Veículo no artigo 96, define o reboque quanto a sua tração, sendo reboque ou semirreboque, onde a sua diferença diz a respeito ao acoplamento. Ainda segundo o código de trânsito Brasileiro, o reboque é engatado atrás de um veículo automotor (BRASIL, 2015, p. 46). A figura 1 ilustra este conceito.

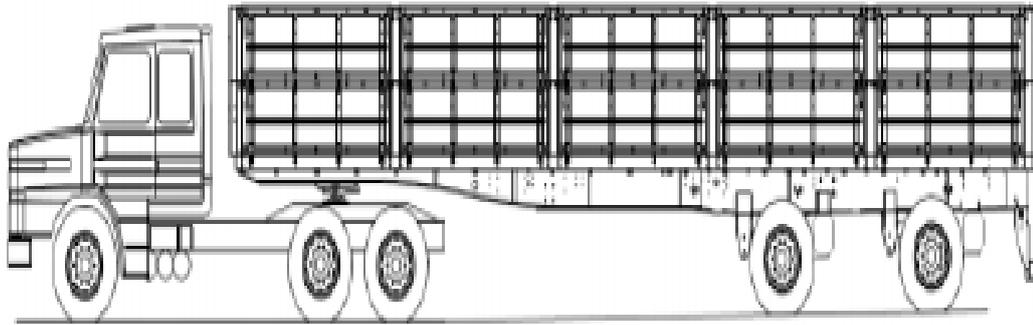
Figura 1: Semirreboque acoplado a uma unidade tratora.



Fonte: Adaptado. GRISON (2005).

Já o semirreboque, segunda a mesma fonte, se apoia na sua unidade tratora ou a ela ligado através de uma articulação (BRASIL, 2015, p. 46). A figura 2 ilustra este conceito:

Figura 2: Semirreboque acoplado a uma unidade tratora



Fonte: VARGAS (2011).

Reboques e semirreboques são desprovidos de motor, ou seja, precisam de uma ação externa para ser colocados em movimento (BRASIL, 2015, p. 46).

## 2.2 Registro dos Reboques

Para a circulação dos reboques, assim como os carros e as motocicletas, precisam ser registradas no Departamento Estadual de Trânsito (Detran), seguindo as determinações descritas no Código de Trânsito Brasileiro (CTB). O mesmo determina que o veículo tenha Certificado de Registro de Veículo (CRV), documento que permite o emplacamento, e o Certificado de Registro de Licenciamento do Veículo (CRLV), que é o licenciamento anual e documento de porte obrigatório. Conforme é descrita no capítulo XI, art. 120 e art. 121:

Art. 120.: Todo veículo automotor, elétrico, articulado, reboque ou semi-reboque, deve ser registrado perante o órgão executivo de trânsito do Estado ou do Distrito Federal, no Município de domicílio ou residência de seu proprietário, na forma da lei.

Art. 121.: Registrado o veículo, expedir-se-á o Certificado de Registro de Veículo – CRV de acordo com os modelos e especificações estabelecidos pelo CONTRAN, contendo as características e condições de invulnerabilidade à falsificação e à adulteração (BRASIL, 2015, p. 54).

Para a realização do emplacamento do reboque, alguns documentos são necessários de acordo com a Portaria DENATRAN nº 190/09. Após aquisição do reboque, o proprietário deve dirigir-se ao órgão competente em seu município ou a um despachante de veículos portando a nota fiscal fornecida pelo fabricante do reboque, contendo a numeração do chassi, o CCT (Comprovante de Capacitação Técnica) e o CAT (Certificado de Adequação à Legislação de Trânsito). O proprietário deve estar portando a CNH ou carteira de Identidade e CPF original, com uma cópia simples que ficara retida no DETRAN. Também é necessária a apresentação do original ou cópia autenticada de algum comprovante de endereço com CEP (conta de luz, telefone documentos bancários, entre outros) com prazo no máximo de emissão de 90 dias. Após estes segmentos, o veículo passara por uma vistoria, onde o agente do DETRAN ou Despachante Habilitado realizará uma inspeção no veículo, analisando as informações da nota fiscal eletrônica (NFe) com o produto apresentado. Conforme os itens de vistoria, da resolução (BRASIL, 2015, p. 54).

### **2.3 Reboques Vinculados ao Transporte**

Para o transporte de veículos através de um reboque, basicamente existe dois modelos sendo cada uma com suas particularidades, denominado reboque parcial e reboque integral.

No caso do reboque parcial, o modelo consiste em apenas 1 eixo que acomoda o eixo dianteiro do veículo rebocado, sendo este responsável pela tração e dos elementos sensíveis, como direção hidráulica, cambio, a banda do pneu que sofreria mais desgastes, entre outros. Neste princípio o veículo rebocado é preso no reboque com sistema similar aos guinchos de plataforma e seu eixo traseiro permanece ao solo (REIS, 2020).

Já o reboque integral, acomoda o veículo rebocado integralmente sobre sua plataforma, onde o seu mecanismo também é similar aos guinchos de plataforma. O processo de embarque e desembarque se define em dois processos, podendo ser através de uma rampa ou por processo basculante. (REIS, 2014).

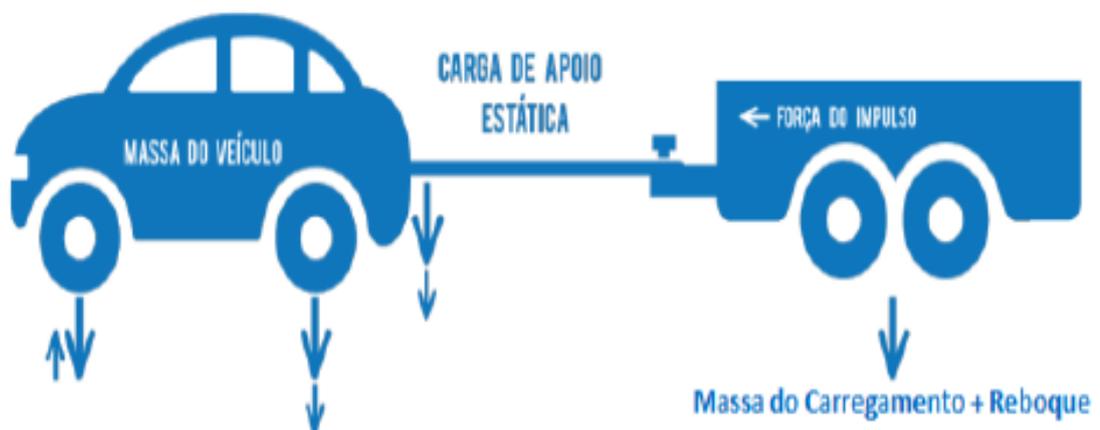
Entre estes modelos atuais, possuem suas vantagens e desvantagens, não que há um melhor ou pior, mas sim de acordo com a necessidade do adquirente. No caso do reboque parcial, o seu tamanho e praticidade se destaca como um equipamento ideal onde não a necessidade de transportar um veículo de forma integralmente, tornando-se um equipamento prático e de custo baixo em relação ao reboque integral. Com o transporte do veículo de forma integral, o modelo de reboque plataforma atende os quesitos de proteger o desgaste do veículo

rebocado, como também introduzindo a possibilidade de rebocar veículos que não se encontra em condições de circulação (REIS, 2014).

## 2.4 Fatores Influentes no Transporte

No processo do transporte de um veículo utilizando um reboque do modelo parcial tanto integral, alguns conceitos são relevantes para a segurança do mesmo. De acordo com a Associação Nacional de Fabricantes de Trailers, Reboques e Engates (ANFATRE, 2020), é fundamental que o responsável pelo processo se atente ao veículo trator, ao reboque e o veículo a ser transportado (carga), como ilustra a figura 3.

Figura 3: Fatores influentes no transporte



Fonte: ANFATRE (2020).

No caso do veículo trator, é essencial a verificação do tipo do veículo, condições dos pneus, pressão dos pneus, condições dos amortecedores, carregamento, engate, distância entre o eixo/engate e condução do motorista. Em relação ao reboque já com o seu carregamento, o condutor deve atentar-se a carga no ponto de engate, centro de gravidade, a distribuição de carga, alinhamento e balanceamento, comprimento do cabeçalho, condições dos pneus, pressão dos pneus e a fixação do veículo sobre o reboque plataforma (ANFATRE, 2020).

## 2.5 Itens Obrigatórios no Reboque

Primeiramente é necessário classificar o veículo para a definição de itens obrigatórios de acordo com a portaria do DENATRAN, como: Tipo, marca, espécie e carrocerias. O quadro 1 ilustra a classificação do reboque plataforma.

Quadro 1: Classificação dos reboques.

Classificação de Veículos Conforme Tipo/Marca/Espécie							
Tipo	Marca	Espécie	Carrocerias Possíveis				
10-Reboque	6,7	1-Passageiro	123-Transp Militar	124-Transp Presos	125 - Transp Recreat	126-Transp Trabalh	
		2-Carga	102-Basculante	107-Carroç Aberta	108-Carroç Fechada	109-Chassi Container	
			116-Mec Operacional	118-Prancha	120-Silo	121-Tanque	
			127-Container/C Ab	128-Prancha Contein	132-Intercambiável	133-Roll-on Roll-off	
		6-Especial	143-Transp Toras	180-Silo/Basculante			
			101-Ambulância	111-Funeral	122-Trailer	130-Trio Eletrico	
131-Dolly							

Fonte: BRASIL (2018).

Para este projeto, classifica-se como: Tipo = 10- reboque; Marca = 6,7; Espécie = 2-Carga; Carrocerias Possíveis = 128- Prancha. Com a classificação estabelecida, é possível definir os itens obrigatórios do reboque. Para isto, utiliza-se a resolução nº14/98 (com as alterações das Resoluções n 87/99, nº 228/07, nº 279/08) que estabelece os equipamentos obrigatórios para a frota de veículos em circulação e dá outras providencias (BRASIL, 1998).

Conforme o Art. 1, para circular em vias públicas, os reboques deverão estar dotados dos equipamentos obrigatórios relacionados abaixo, sendo constatados pela fiscalização e as condições de funcionamento (BRASIL, 1998):

- a) Para-choque traseiro;
- b) Protetores das rodas traseiras;
- c) Lanternas de posição traseiras, de cor vermelha;
- d) Freios de estacionamento e de serviço, com comandos independentes, para veículos com capacidade superior a 750 quilogramas e produzidos a partir de 1997;
- e) Lanternas de freio, de cor vermelha;
- f) Iluminação de placa traseira;
- g) Lanternas indicadoras de direção traseiras, de cor âmbar ou vermelha;
- h) Pneus que ofereçam condições mínimas de segurança;

i) Lanternas delimitadoras e lanternas laterais, quando suas dimensões assim o exigirem.

## 2.6 Fatores Estáticos e Dinâmicos

Para a obtenção de resultados estáticos e dinâmicos, é necessário a aplicação dos conceitos de análise estrutural, que é a fase do projeto estrutural em que é feita a idealização do comportamento da estrutura. Esse comportamento pode ser expresso por diversos parâmetros, tais como pelos campos de tensão, deformações e deslocamento na estrutura. De uma maneira em geral, a análise tem como objetivo a determinação de esforços internos e externos, e das correspondentes tensões, bem como a determinação dos deslocamentos e correspondentes deformações da estrutura que está sendo projetada. Essa análise deve ser feita para os possíveis estágios de carregamentos e solicitações que devem ser previamente determinados (SILVA, 2015).

### 2.6.1 Fatores Estáticos

A análise estática se caracteriza por ter seus carregamentos constantes ao longo do tempo norteando condições de equilíbrio, compatibilidade entre deslocamentos e deformações, além do próprio comportamento dos materiais envolvidos na estrutura pesquisada atentando as reações de apoio, torções, rotações, tensões e esforços internos embasando assim as condições básicas para uma análise estática estrutural (MARTHA, 2017).

Esta análise é realizada submetendo a estrutura a carregamentos arbitrários, desprezando-se os efeitos das forças de inércias e amortecimento. Através desse procedimento é possível quantificar a magnitude dos esforços internos e dos deslocamentos correspondentes na estrutura. Uma vez determinadas essas magnitudes, aplica-se o critério de falha estrutural por deformação elástica. A deformação da estrutura deve satisfazer a relação linear da tensão x deformação que rege o estado de deformação elástica da estrutura em função do escoamento característico do material utilizado (MARTHA, 2017).

Segundo Hapian-Smith et al (2002), na pior condição de carga estática, a tensão não deverá exceder 67% da tensão de escoamento do material, portanto o coeficiente de segurança mínimo aceito é de 1,5, conforme representa a equação 1.

$$\sigma \leq \sigma_e / 1.5 \quad (1)$$

Se a estrutura obedecer ao requisito da Eq. (1) significa que ela passou na condição de integridade. Se a estrutura sofrer pequenos deslocamentos, significa que ela passou na condição de rigidez. O ideal é que a estrutura obedeça às duas condições (BRASIL, 2008).

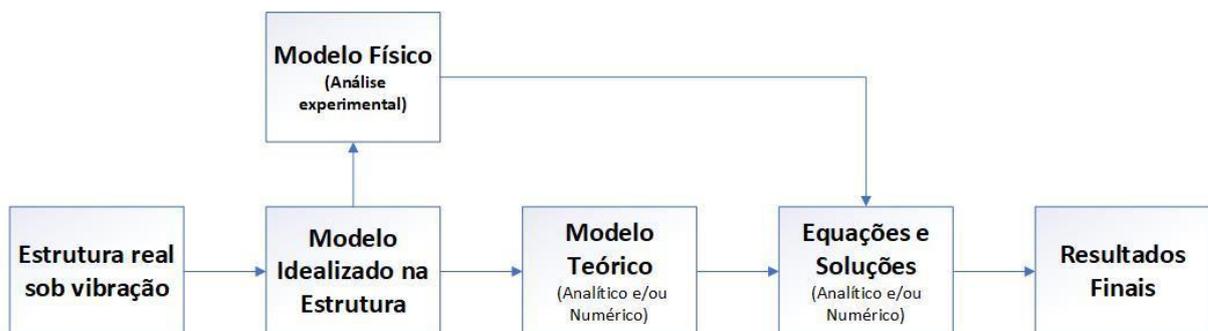
### 2.6.2 Fatores Dinâmicos

Muitas vezes as cargas dinâmicas são transformadas em cargas estáticas equivalentes empregando-se uma aproximação de valores. Para um estudo mais completo são necessários conceitos envolvendo análise dinâmica, uma vez que, diversas ações externas como ações de sismo, vento, cargas moveis, dentre outros aspectos denotam essa abordagem pelos profissionais na área de estruturas (VITÓRIO, 2013; TESSARI, 2016).

Adentrando basicamente em uma análise dinâmica esta envolve também ações, tensões, deslocamentos, porém com velocidades não desprezíveis, tendo fatores variáveis ao decorrer do tempo, não ocorrendo somente um resultado como na análise estática, pois a estrutura vai se comportando pela ação vibratória ao longo do tempo e gerando diversos outros resultados (BRASIL; SILVA, 2015).

Logo, a diferenciação da análise estática para análise dinâmica se dá que nesta última os carregamentos são variáveis ao passar do tempo tendo a ocorrência de forças por meio da aceleração. Diante disto, deslocamentos, velocidades e acelerações podem ser obtidos através de equações resolvidas por método analítico, ou ainda, por meio de uma análise numérica com aplicação computacional, cujos resultados comparados com àqueles obtidos em uma análise experimental representam uma análise dinâmica mais completa, conforme ilustra a figura 4 (VASCONCELOS, 2003).

Figura 4: Esquemática da análise dinâmica.



Fonte: Vasconcelos (2003) adaptado.

Dentro dos conceitos importantes em relação a dinâmica de uma estrutura, envolve-se os fatores de vibrações, amortecimento e frequência naturais (BRASIL, 2015).

## 2.7 Vibrações

As vibrações ou oscilações conceituam-se por serem fenômenos que acontecem através de movimentação repetitiva em um determinado intervalo de tempo. Dentro deste contexto um fenômeno vibratório ocorre através do armazenamento de energia seja de caráter cinético ou potencial ocorrendo uma transferência alternada destas energias, tendo em geral também um meio de dissipação, seja, em forma de som ou de calor pelo amortecimento relacionado à movimentação da estrutura (RAO, 2009).

Para se analisar esta movimentação deve-se fundamentar em três atributos, modos naturais de vibração, fatores de amortecimento e as frequências naturais. Dentre estes a frequência natural é um dos dados mais importantes quando se avalia a necessidade de se fazer ou não uma análise dinâmica em estrutura submetida a ação dinâmica e até mesmo verificar a distância relativa entre frequências (BRASIL; SILVA, 2015).

Por essa conjuntura as vibrações recebem uma classificação pelo modo em que são postas na análise dinâmica, dentre estas a vibração empregada nesta pesquisa a chamada vibração livre que possibilitou encontrar as características inerentes da estrutura. Este tipo de vibração ocorre através de uma perturbação inicial onde a estrutura ao decorrer do tempo volta ao repouso, não tendo influência de forças externas (RAO, 2009; SORIANO, 2014).

### 2.7.1 Fator de Amortecimento

O fator, taxa, razão ou relação de amortecimento ( $\zeta$ ) é um valor adimensional definido pela relação entre a constante de amortecimento real ( $c$ ) e a constante de amortecimento crítica ( $c_{cr}$ ). Mensura a tendência de vibração de uma estrutura caracterizando a mesma quanto ao nível de amortecimento. Além disso, pode-se classificar se o sistema trabalhado é subamortecido ( $\zeta < 1$ ), criticamente amortecido ( $\zeta = 1$ ), superamortecido ( $\zeta > 1$ ) ou sem amortecimento ( $\zeta = 0$ ), (BRASIL, 2015).

### 2.7.2 Frequências Naturais

As frequências de ressonância ou frequências naturais são características singulares de cada estrutura e são determinadas simplesmente pela massa e rigidez, porém, com o aumento da quantidade de graus de liberdade eleva-se a complexidade na obtenção destas frequências. Logo, é necessário empregar análise numérica ou experimental para observar por meio de picos espectrais os valores destas frequências. Estas frequências em si não são um problema e sim uma característica inerente de cada estrutura, entretanto, quando se tem uma frequência ocasionada por fatores externos bem próxima de uma dessas frequências naturais ocorre um fenômeno problemático conhecido como ressonância que amplifica a vibração gerando desconforto e até ao colapso da estrutura pelo aumento gradual de sua amplitude. Cada frequência natural tem uma maneira de vibrar na estrutura, gerando assim, respectivo modo de vibração. Define-se então as formas de vibração através das frequências naturais com os referentes graus de liberdade. (BRASIL E SILVA, 2013).

## **2.8 Sistema de frenagem**

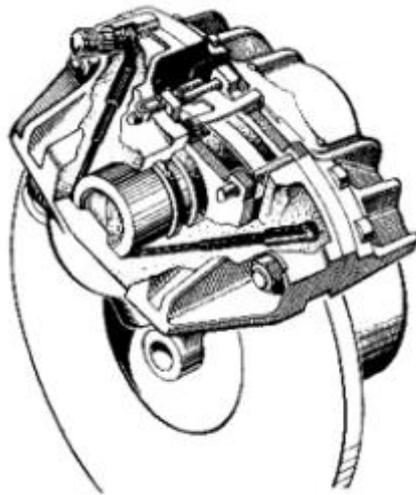
De acordo com as influências diretas na segurança dos veículos, em movimento requer ajustes frequentes de velocidade durante a sua operação. Segundo INFANTINI (2008), um sistema de freio pode ser definido como um dispositivo que transforma energia cinética de uma massa em movimento, sendo ele rotacional ou translacional em energia cinética.

Para o funcionamento destes sistemas de freio em veículos, o cilindro -mestre é acionado pelo pedal de freio quando este é pressionado pelo condutor. Este cilindro é dotado de um reservatório de fluido hidráulico conectado através de dutos aos atuadores dispostos junto as rodas do veículo e nos quais os materiais de fricção são instalados. Com a elevação da pressão no interior dos dutos, proporcionado pelo deslocamento do embalo do cilindro - mestre, transfere a força aplicada pelo condutor sobre o pedal de freio aos atuadores. (MATOZO, 2012)

No sistema de frenagem que efetivamente são responsáveis em frear as rodas dos veículos, apresentam vários modelos, onde duas foram consagradas pela indústria e, atualmente, corresponde a quase a totalidade dos freios utilizados em automóveis de passeio, sendo o sistema a disco e o sistema a tambor (MATOZO, 2012).

O sistema de freio a disco, conforme representa a figura 5, equipa o eixo dianteiro da grande parte dos veículos leves produzidos na atualidade, com a sua maior eficiência em condições severas de utilização, que vem sendo gradativamente aplicado também no eixo traseiro (IOMBRILLER, 2002).

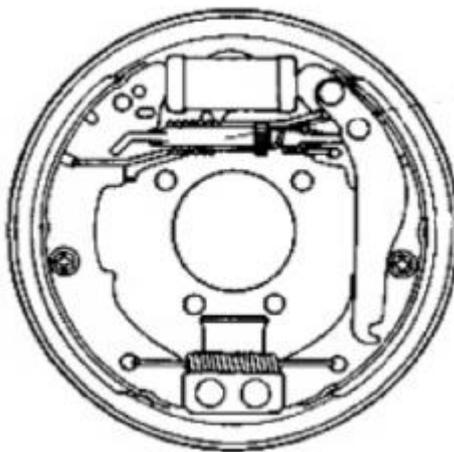
Figura 5: Freio a disco.



Fonte: LIMPERT (1999).

Já o sistema de freio a tambor, conforme representa a figura 6, apresentam construções simplificadas e menor custo, sendo este o principal motivo de ainda ser utilizado no eixo traseiro de grande parte dos veículos com motorização de baixa potência, porém menos eficiente e comparativamente mais pesados em relação ao sistema de freio a disco (MATOZO, 2012).

Figura 6: Freio a tambor.



Fonte: LIMPERT (1999).

Os tambores (também conhecidos como panelas) alojam em seu interior as sapatas que contêm o material de atrito, as lonas fixadas as sapatas através de rebites ou cola especial são

empurradas pelo(s) êmbolo(s) do cilindro de roda contra o tambor. Quando a pressão no pedal é aliviada, as sapatas retornam à posição original com o auxílio das molas de retorno. De acordo com a sua posição as sapatas são denominadas primárias ou secundárias (NAKATA, 2020).

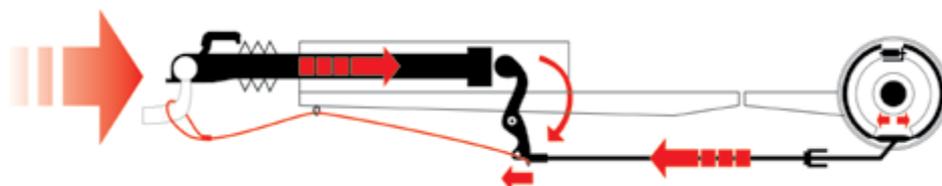
### 2.8.1 Sistema de Frenagem em Reboques

No caso dos reboques que necessitam obrigatoriamente o uso de um sistema de frenagem, utilizam-se um sistema de freio inercial. Seu acionamento é realizado através de um dispositivo de frenagem acoplado sobre o engate do veículo trator. Ao frear o veículo, é gerado uma força de frenagem no ponto de engate, acionando o dispositivo de freio. Na atualidade, estes dispositivos de frenagens poder ser por sistemas mecânicos ou hidráulicos (Reboques vale do Aço, 2020).

#### 2.8.1.1 Sistema Mecânico Inercial

No sistema mecânico inercial (figura 7), quando acionado, é gerado um deslocamento na barra de tração em relação ao tubo externo, acionando a alavanca que movimentará os cabos de freio, ativando assim a alavanca de transmissão e acionando os freios de roda através da transmissão. O freio de mão é ativado de acordo com o acionamento das lonas de modo mecânico, por meio de cabos tensionados por uma alavanca ativada de maneira manual. Quando o dispositivo de frenagem não tiver um sistema de identificação de movimentação automática em casos de ré, é necessário ativar de forma manual o bloqueio de deslocamento do dispositivo (AL-KO, 2020).

Figura 7: Sistema mecânico inercial.



Fonte: AL-KO (2020).

Este sistema destaca-se pela sua simplicidade, manutenção e o seu baixo custo. (AL-KO, 2020).

### 2.8.1.2 Sistema hidráulico

O sistema hidráulico inercial, conforme é representado na figura 8, é semelhante ao sistema mecânico, porém com dispositivos diferentes, por exemplo, pode ser utilizado tanto disco de freio como também a tambor. No caso da utilização de disco de freios, quando acionado ativa um pistão que comprime as pastilhas de freio ao encontro do disco, resultando em atrito e conseqüentemente a frenagem. Já no freio a tambor, o óleo ativa os cilindros de freio, comumente nomeadas de burrinho de freio, que se encarrega de movimentar as sapatas em oposição ao tambor de freio, o que resulta na desaceleração no veículo. Nesta configuração, ao estacionar basta levantar a alavanca de emergência que impulsiona o óleo aos dispositivos de freio. Recomenda-se que ao estacionar coloque calços nas rodas para que em casos de vazamento hidráulico, o reboque não venha a deslocar (FAMIT, 2020).

Para a realização de manobras de ré, é necessário acionar o bloqueio do pistão, evitando que o burrinho de freio venha acionar os dispositivos de freio (FAMIT, 2020).

Figura 8: Sistema hidráulico inercial.



Fonte: FAMIT (2020).

## 2.9 Análise pelo Método dos Elementos Finitos (MEF)

O Método dos Elementos Finitos (MEF) tem como objetivo determinar o estado de tensão e deformação de um sólido de geometria arbitrária, sujeito a ações exteriores. Na

projeção de uma estrutura, é habitual realizar análises e modificações em suas características com o objetivo de alcançar um resultado satisfatório (MARTHA, 2017).

Este método consiste basicamente na divisão do meio contínuo em diversos elementos de massa finita, ou seja, para cada elemento calcula-se as deformações, tensões e deslocamentos como se ele fosse um sistema isolado. Com a realização de várias iterações no sistema, o método dos elementos finitos procura alcançar um resultado no qual as respostas de cada elemento sejam compatíveis. Baseado em funções interpoladoras, o MEF liga diversos pontos gerados na subdivisão, o tornando um método mais complexo pois reúne muitas informações, conseguindo uma boa convergência com o valor real. O resultado é variável de acordo as solicitações aplicadas no projeto como também a qualidade de malha gerada no sistema (BARROS,2002).

A malha representa a divisão dos elementos por meios de equações, que será gerada conforme a necessidade e complexidade do objeto de estudo. A precisão da qualidade da malha irá depender do modelamento gerado e de outros recursos adotados na simulação. O método de qualidade e o método de subdivisão é extremamente importante na forma de prosseguir e analisar os resultados (BARROS, 2002).

## **2.10 Conceitos de Simulações**

Existe vários tipos de ferramentas para a realização de uma simulação, um meio de se efetuar esses cálculos é manualmente, calculando cada parâmetro um por um. Neste método, as chances de apresentar erros são grandes, além de requisitar bastante tempo, principalmente em casos mais complexos ou de pouco domínio de quem vai utilizar esse método (MARTHA, 2017).

Outro método de realizar uma simulação, é por meio de ferramentas como os softwares, que são mais confiáveis e demandam menos tempo, porém apresentam um certo custo embutido. Atualmente existe vários tipos de software como: MSC Nastran, Solidworks Simulation, Ansys Workbench, entre outros. A escolha de um deles vai depender da necessidade, capacidade da mão de obra e principalmente do custo do software. (NAVES E CUNHA, 2011).

### **2.10.1 Parâmetros para simulações de projetos**

Segunda Martha (2017), o processo de análise em modelos é composto por etapas básicas, independentemente do tipo de análise ou modelo, onde essas etapas são completamente significativas para a análise. Alguns dos parâmetros principais da análise de um modelo são:

- a) Criar um estudo: Cada análise de um modelo é um estudo. Podendo-se ter vários estudos em cada modelo.
- b) Aplicar material: Aplica-se no modelo o material que contém as informações físicas, como, por exemplo, o limite de escoamento.
- c) Aplicar acessórios de fixação: Os acessórios de fixação são adicionados para representar a maneira pela qual o modelo físico é sustentado.
- d) Aplicar cargas: As cargas representam as forças no modelo.
- e) Gerar a malha do modelo: O modelo é dividido em elementos finitos
- f) Executar o estudo: A resolução de equações de MEF calcula o deslocamento, a deformação e a tensão no modelo.
- g) Analisar os resultados: Os resultados são interpretados.

## **2.11 Interpretação dos Resultados**

Os resultados pelo método de elementos finitos são fornecidos na forma de deslocamentos, deformações ou tensões para análises estruturais ou na forma de temperaturas, gradientes de temperaturas e fluxo de calor. Para definir entre um projeto aprovado ou reprovado, necessita-se estabelecer alguns critérios de interpretação dos resultados, como deformação máxima aceitável, tensão máxima ou frequência natural mínima aceitável. Na realização de uma análise para garantir que as tensões fiquem dentro de um limite aceitável, surge a tensão de Von Mises e tensões principais, que são medidas de tensão comuns usadas para avaliar a segurança estrutural (AZEVEDO, 2003).

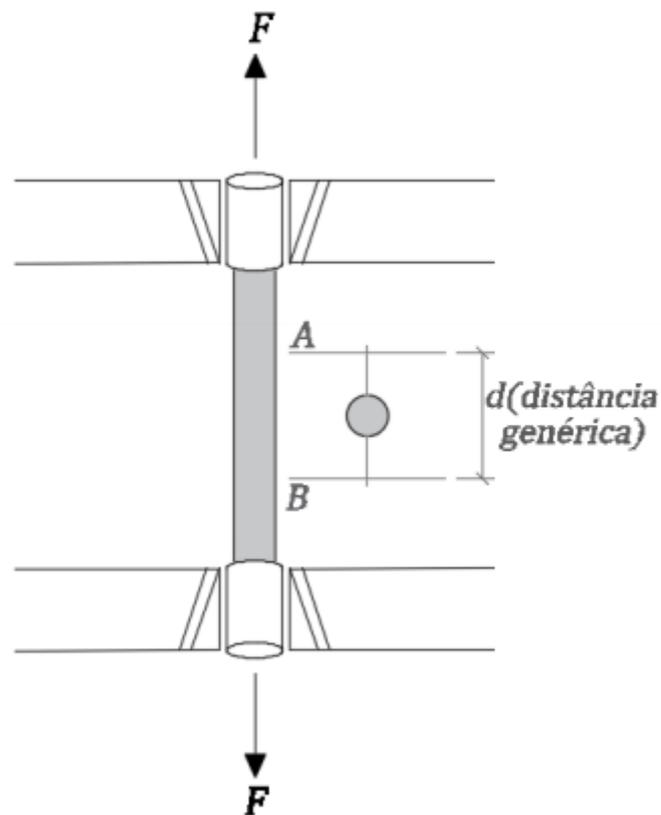
### **2.11.1 Deformação Total**

Deformação é a alteração da forma que sofre um corpo submetido a solicitações, em consequência dos movimentos das particular que o constituem. Existe a tendência dos corpos de voltarem a forma original devido a força de tração entre as partículas. A deformação pode ser atuante como deformações elásticas ou plásticas. A deformação elástica tem como propriedade em deformações reversíveis diante de aplicações de cargas e proporcionalidade

entre carga e deformação. A deformação elástica termina a proporcionalidade e a reversibilidade das deformações, aumentando ainda mais a carga, tornando o próximo limite a ruptura do material (CALLISTER, 2002).

A análise das deformações de um corpo sólido é importante tanto quanto a análise de tensões. Um corpo sólido se deforma quando está sujeito a mudanças de temperatura ou através de uma ação de uma carga externa. Por exemplo, em um ensaio de corpo de prova de aço, como mostra a figura 9, ocorre mudanças no comprimento do corpo de prova entre dois pontos A e B. A carga aplicada é crescente e os pontos A e B são genéricos (CALLISTER, 2002).

Figura 9: Modelo de ensaio de tração.



Fonte: CALLISTER (2002).

### 2.11.2 Tensão de Von Mises

No projeto em desenvolvimento, contata-se em algumas situações as tensões de cisalhamento e nominais em combinação num mesmo ponto. Desta forma, é necessário definir uma tensão equivalente representativa a estas tensões. A tensão equivalente de Von Mises é

definida como a tensão de tração uniaxial que criaria a mesma energia de distorção que é criada pela combinação atual das tensões aplicadas (NORTON, 2013).

A análise mecânica na fase de projeto, pode ajudar a levar ao mercado atual um produto que atenda de forma satisfatória os critérios de resistências, leveza e custo ao mesmo tempo. A análise de tensão via simulação em software CAE é útil (MARTHA, 2017) para:

- a) Determinar se a peça é suficientemente forte para resistir as cargas previstas sem se romperem nem se deformarem de uma forma inadequada
- b) Obter um melhor entendimento do projeto em uma fase inicial, quando o custo para projetar é menor
- c) Determinar se a peça pode ser reprojeta de maneira mais rentável e funcionar satisfatoriamente quando submetida ao uso esperado.

### 2.11.3 Fator de Segurança Estrutural

O responsável pelo projeto de elementos estruturais ou mecânicos deve restringir a tensão do material a um nível seguro, ou seja, deve usar uma tensão segura ou admissível. O coeficiente de segurança consiste na relação entre a carga de ruptura e a carga admissível, podendo ser considerado uma reserva estratégica. O fator de segurança é empregado para prevenir incertezas quanto a propriedades dos materiais, esforços aplicados, variações, entre outros. Depende então de uma série de requisitos, entre os principais o tipo de carregamentos e o modo de utilização (NORTON, 2004).

Segundo Norton (2004), é sempre necessário calcular um ou mais coeficientes de segurança para estimar a probabilidade de falha. Pode haver normas de projetos, de legislatura ou aceitos de forma geral, que também devem ser adotados. O coeficiente (fator) de segurança pode-se calcular a tensão admissível. O valor adotado de coeficiente ou fator de segurança torna-se o fator de segurança do projeto (FS), conforme as equações abaixo:

- a) Para as tensões normais de materiais dúcteis:

$$\sigma \text{ admissível} = \frac{\sigma \text{ escoamento}}{\text{FS}} \quad (2)$$

- b) Para tensões cisalhantes de materiais dúcteis:

$$\sigma \text{ admissível} = \frac{0,5 * \sigma \text{ escoamento}}{FS} \quad (3)$$

c) Para tensões de materiais frágeis:

$$\sigma \text{ admissível} = \frac{\sigma \text{ ruptura } (\sigma_t; \sigma_c)}{FS} \quad (4)$$

#### 2.11.4 Vida a Fadiga

Pode-se considerar que fadiga é a ruptura completa de materiais ou componentes sob ação de cargas cíclicas, mesmo em menor intensidade do que se comparando a carga máxima que o material suporta em condições estáticas. Esse tipo de falha se inicia em regiões microscópicas, sendo mais comum na superfície de um elemento, provocando trincas que por sua vez geram o aumento de tensão em suas extremidades. Com o passar dos ciclos de tensão, ocorre a redução da área da seção transversal até o elemento não suportar mais a carga e vir a falhar por ruptura repentina, mesmo sendo um material dúctil (BUDYNAS E NISBETT, 2016).

Em relação a resistência à fadiga, é definida como o nível de tensão no qual a falha irá ocorrer para algum certo número de ciclos, caracterizando o comportamento à fadiga de um material através da vida de fadiga (SHIGLEY, 2006).

A figura 10 representa que fenômeno de fadiga é ocasionado por cargas cíclicas, ou seja, após um determinado tempo de trabalho leva a trinca e/ou ruptura do componente (GUILHERME, 2016).

Figura 10: Cargas cíclicas

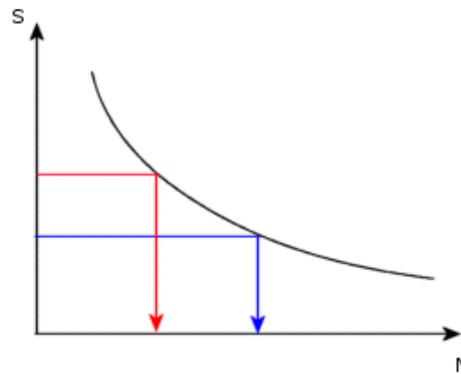


Fonte: GUILHERME (2016).

As curvas de fadiga dos componentes, é gerada através de ensaios considerando determinados materiais, amplitude e tipo de carregamento, correlacionando a tensão ou deformação com o número de ciclos até o momento da falha ou início da trinca do corpo de

prova. A figura 11 ilustra a curva de fadiga S-N, método que é baseado na curva de tensão pelo número de ciclos dos componentes (GUILHERME, 2016).

Figura 11: Curva de fadiga S-N



Fonte: GUILHERME (2016).

Para verificar a vida de fadiga em componentes mecânicos, primeiramente é necessário identificar as tensões e deformações atuantes no equipamento. A denominação "vida infinita" significa que o componente estudado possui uma vida tão longa com relação a fadiga que não haverá falha por este fenômeno. Em aços carbonos, o número de ciclos considerado como vida infinita deve ser superior a  $10^6$ . Já ao contrário deste termo, "vida finita" significa que o componente vai falhar por fadiga em um determinado número de ciclos, sendo avaliado ainda em fadiga de baixo ou auto ciclo, dependendo do número de ciclos até a nucleação da trinca ou falha do componente estudado (GUILHERME, 2016).

### **3 METODOLOGIA**

Para o desenvolvimento da metodologia, a empresa Pontesmak Reboques situada na Av. Nilson Vilela, nº 1214, Bairro: Esperança, na cidade de Três Pontas/MG; homologada pelo INMETRO para a fabricação dos reboques, compartilhou informações através de um dos proprietários Sr. Daniel Pontes, entre eles: Pré-dimensionamento dos perfis estruturais utilizados em reboques modelagem do sistema de iluminação, modelagem em relação aos paralamas utilizados para a proteção do sistema de rodagem do reboque, pontos de gravação do nº de chassi, fixação da placa no reboque, entre outros. Através do mesmo foi compartilhado o contato do proprietário da empresa Líder Sul Inspeções, Sr. Waldimir, da cidade de Pouso Alegre/MG. Em contato com o mesmo, foi compartilhado informações normativas em relação ao processo de homologação de uma marca/modelo de reboques, sendo essas informações extremamente importantes para a projeção deste trabalho.

Para o alcance dos objetivos deste trabalho, primeiramente foi necessário desenvolver um desenho tridimensional através do software Solidworks 2020. Considerando os parâmetros dimensional do projeto. sendo o comprimento total da plataforma de 5,40 m por 2,40 m de largura, considerando a face de fora dos paralamas. Para isto, foi preciso seguir uma sequencias de etapas, como: definição dos materiais;

#### **3.1 Definição dos Materiais**

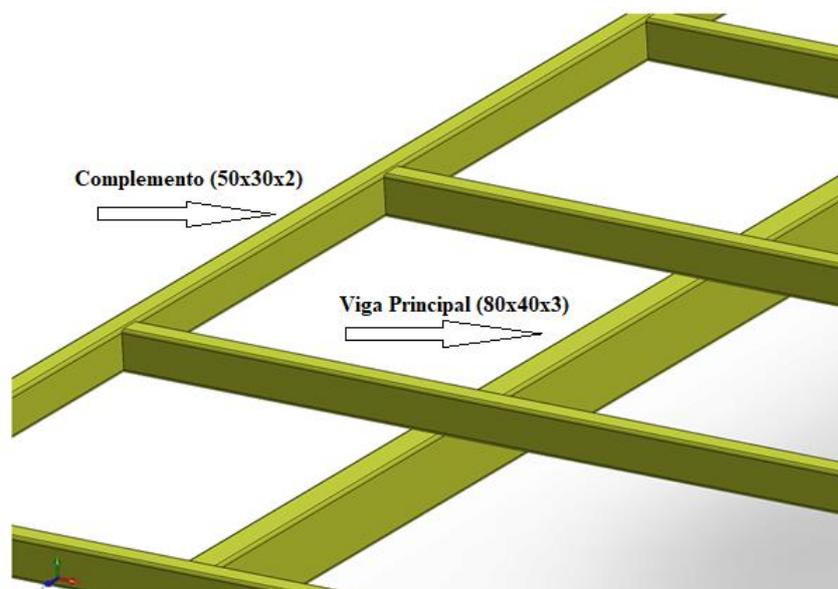
A definição dos materiais a serem utilizados neste projeto, consiste primeiramente em analisar o que diz as resoluções ao seu respeito. Para a fabricação do estrutural do reboque, de acordo com a portaria nº 69/96 do Instituto Nacional de Metrologia, Normalização e Qualidade Industrial (INMETRO), o chassi deve possuir uma estrutura apta a suportar as condições de resistência mecânica adequadas, o sistema de suspensão, pela parte inferior, e a carga, pela parte superior. Os materiais e as dimensões devem ser compatíveis a forma e ao peso bruto total (PBT) do reboque (BRASIL, 1996).

##### **3.1.1 Materiais utilizados na plataforma**

Para a análise deste projeto, foi definido em sua estrutura tubos retangulares de aço ASTM-36 com  $\delta_E = 250$  Mpa e  $\delta_R = 450$  Mpa, visionando a praticidade de construção como também em relação a diminuição de peso e custo final (NBR 8800, 2008).

Na elaboração da plataforma foi planejado duas vigas principais de tubos retangulares de 80 x 40 na espessura 3 mm no sentido longitudinal, fazendo ligações com a parte do cabeçalho e a parte traseira do reboque que também é aplicado o mesmo perfil. Onde recebera a maior parte de concentração de carga do veículo a ser transportado. Sobre as vigas principais, a plataforma é composta por tubos retangulares de 50x30 na espessura 2 mm complementando o modelo estrutural, conforme representa a figura 12.

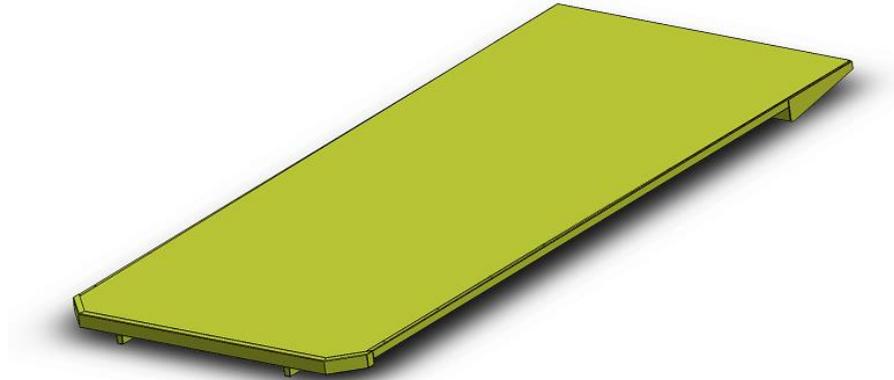
Figura 12: Componentes da plataforma



Fonte: O autor (2020).

Para o fechamento da base da plataforma, neste caso, utiliza-se chapa de aço na espessura de 2 mm. conforme representa a figura 13.

Figura 13: Plataforma



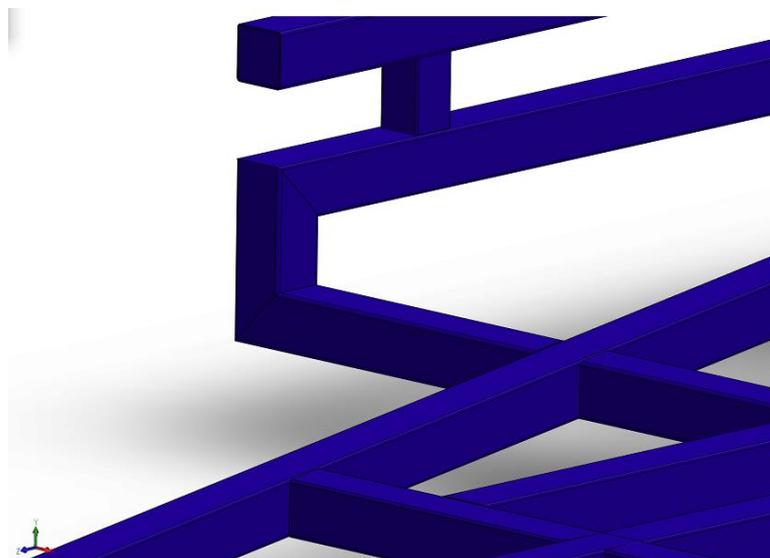
Fonte: O autor (2020).

Além de ser a base de contato com o veículo a ser transportado, a chapa em aço soldada sobre a estrutura tem como finalidade em amarrar os componentes estruturais

### 3.1.2 Materiais utilizados na base da plataforma

Para a construção estrutural do carrinho da plataforma, foi utilizado tubos quadrados de 60x60 na espessura 3 mm, 60x60 na espessura 2 mm e 50x50 na espessura 2 mm, conforme apresenta a figura 14. No sistema basculante do carrinho que é acoplado junto a plataforma, foi utilizado tubo redondo de 76,2 mm na espessura 3 mm.

Figura 14: Componentes da base da plataforma



Fonte: O autor (2020).

A base da plataforma é responsável por sustentar toda a plataforma tanto quanto pelo arraste do reboque no momento do transporte.

### 3.2 Definição da suspensão do reboque

A suspensão foi definida de acordo com as cargas solicitantes, como: Peso total da estrutura que acoplara junto a suspensão mais a tara (carga). De acordo com os dados emitidos pelo software Solidworks em relação a quantidade de massa, o peso total da estrutura é aproximadamente 3758 N (383 kg). Este projeto tem como objetivo transportar um veículo com o peso máximo de 14715 N (1500 kg).

Com estes dados, foi possível definir o modelo e quantidade de lâminas do feixe de mola a ser utilizado. De acordo com a tabela de fabricação da empresa TROMAR, o feixe de mola a ser utilizado é o TR- 3 / 7 Lâminas com espessura de 7,94 mm, nas dimensões: 750 mm de comprimento com 50,8 mm de largura, com capacidade de carga de 1200 kg o par (TROMAR, 2020).

Em relação ao corpo do eixo, foi utilizado tubos retangulares de 50x50 na espessura de 4,76 mm e para o sistema de rolamento, o Kit de rolamento padrão FIAT (Cubos + ponteiras).

A figura 15 apresenta a parte de suspensão do reboque montada, sendo os seus componentes de fixação na chapa 6,35 mm e todos os parafusos sendo de aço.

Figura 15: Conjunto da suspensão



Fonte: O autor (2020).

As rodagens escolhidas seguem o padrão do kit de rolamento definido, ou seja, modelo Fiat. O jogo de rodagem segue a numeração 13 e o pneu escolhido para este projeto segue o modelo 175/70/13, conforme ilustra a figura 16.

Figura 16: Conjunto de rodagem



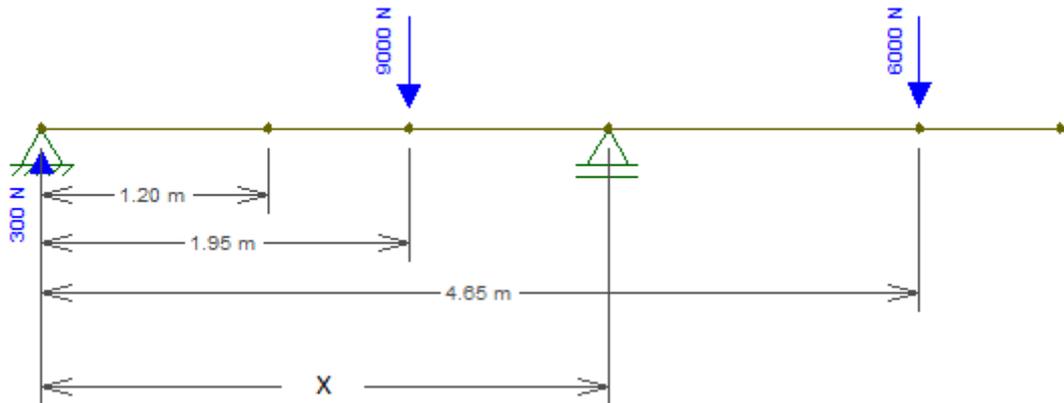
Fonte: O autor (2020).

### 3.2.1 Dimensionamento da posição dos eixos

Para o dimensionamento do centro entre os eixos, foi realizado cálculos estáticos para encontrar uma posição satisfatória atendendo a RTQ25 INMETRO 7.3.7.7.3 - Verificação da Distribuição de Carga no Engate, onde a carga no engate deve se situar entre 100 N (10 kgf) e 750 N (75 kgf) (BRASIL,2004).

Considerando o veículo posicionado em pavimento plano, foi aplicado a carga equivalente à capacidade útil, sendo considerado a porcentagem de distribuição de peso de um automóvel de passeio, sendo 60% do peso total sobre o eixo dianteiro e 40% sobre o eixo traseiro. Neste caso, como a carga útil será no máximo 15000 N (1500 kg), resulta-se em 9000 N (900 kg) sobre o eixo dianteiro e 6000 N (600 kg) sobre o eixo traseiro (GUERRA, 2017). A figura 17 ilustra o posicionamento.

Figura 17: Posicionamento das forças



Fonte: O autor (2020).

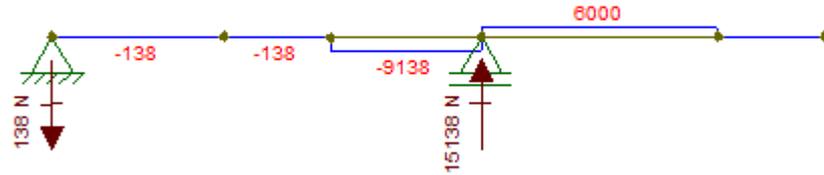
Diante do exposto, foi utilizado métodos de somatórias de forças no eixo Y e em seguida a somatória dos momentos no ponto de fixação do reboque ao engate do veículo, encontrando assim o valor da distância da ponta do engate ao centro dos eixos da estrutura. Na somatória das forças em Y (Equação 5), foi considerado uma força de reação de apoio sobre o engate de 30 kg, sendo um ponto de partida para encontrar a força de reação sobre o centro dos eixos. Em seguida, na somatória dos momentos sobre o engate (Equação 6), foi considerado o resultado da reação de apoio no centro dos eixos aplicados com os dimensionamentos do reboque em relação a outras cargas.

$$\sum F_y = 0 \quad 30 - 900 + R_B - 600 = 0 \quad / R_B = 1470 \text{ kg} \quad (5)$$

$$\sum M_{\text{engate}} = - (900 * 1,95) + (1470 * X) - (600 * 4,65) = 3,0 \text{ m} \quad (6)$$

De acordo com os resultados obtidos, nota-se que a força de reação total sobre os centros dos eixos é de 14700 N (1470 kg), sendo distribuído em cada lado do ponto de fixação dos eixos uma força de 7210,35 N. O dimensionamento do centro dos eixos encontrado é de 3 m, sendo assim foi possível refazer o processo utilizando o Software Ftool 4.0. Considerando a distância encontrada e desconsiderando a força de reação no engate, foi possível encontrar a força resultante sobre o engate, como também da reação de apoio no centro dos eixos, conforme ilustra a figura 18.

Figura 18: Resultados das reações de apoio



Fonte: O autor (2020).

Avaliando os resultados, nota-se que a dimensão de 3 m da ponta do engate ao centro dos eixos resulta em 138 N (13,8 kg) sobre o engate do veículo trator e 15.138 N (1513,8 Kg), atendendo os requisitos da resolução. Destacando que a plataforma ficará 30 cm a frente do seu ponto de equilíbrio para compensar a distribuição de 60% da carga do automóvel sobre o eixo dianteiro.

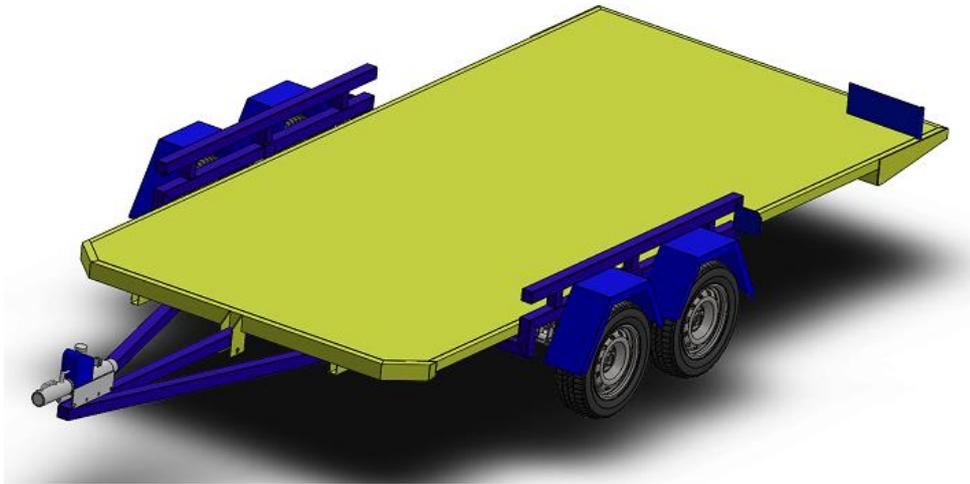
### 3.3 Definição do Sistema de Frenagem

Para a análise deste estudo foi definido a utilização do sistema hidráulico inercial, conforme já citado suas propriedades no referencial teórico. Desta forma, o kit de sistema de frenagem fabricada pela empresa Famit, foi definido como modelo para a representação deste projeto. Em contato com o Higor, responsável por vendas da empresa, foi definido que o sistema a ser utilizado é com a capacidade de PBT máxima de 2,5 T, tendo em vista que o abaixo seria para 1,5 T, não atendendo os requisitos do projeto.

### 3.4 Montagem dos elementos do projeto

Após a definição das etapas anteriores, foi possível realizar a montagem tridimensional do reboque com a inclusão de todos os seus componentes através do software Solidworks 2020, considerando os parâmetros abordados anteriormente, conforme ilustra a figura 19.

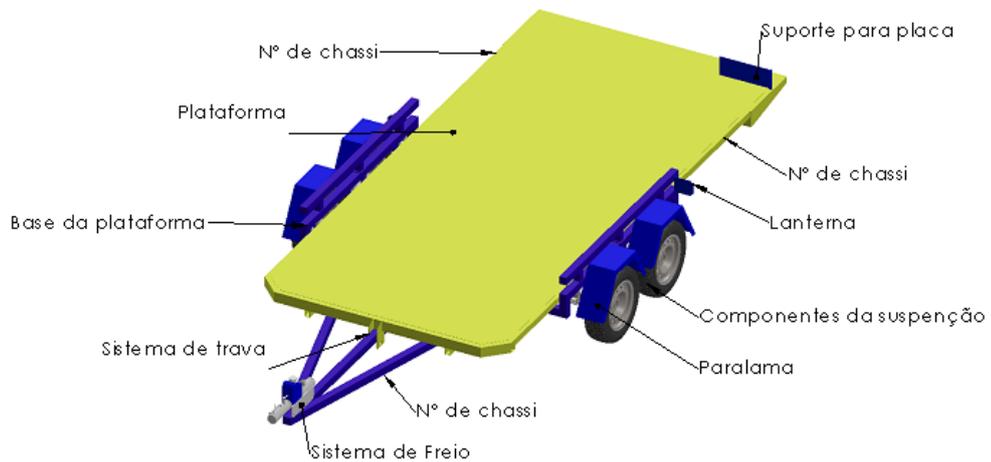
Figura 19: Montagem do reboque plataforma



Fonte: O autor (2020).

De acordo com a montagem, a figura 20 descreve os componentes aplicados neste projeto.

Figura 20: Montagem dos elementos



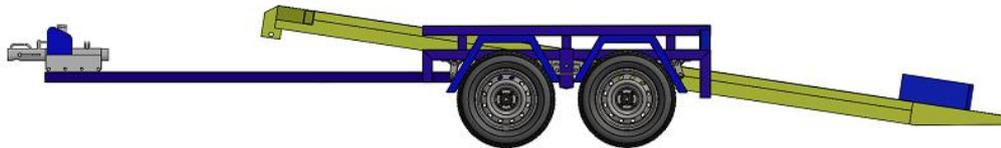
Fonte: Autor.

Os para-lamas e o sistema elétrico do reboque seguem a padronização do modelo da empresa Pontesmak, dados estes compartilhado pela empresa. Assim como também a definição do suporte para a fixação da placa e a gravação do número de chassi.

### 3.5 Princípio de Funcionamento do Reboque.

O modelo deste projeto se trata de um reboque basculante, ou seja, não precisa de uma rampa ou algo parecido, sendo a sua própria plataforma o meio do veículo embarcar e desembarcar para a realização do transporte. Para melhor visualização, a figura 21 representa a projeção deste modelo.

Figura 21: Representação do princípio de funcionamento do reboque



Fonte: O autor (2020).

Conforme representa a figura, ao realizar o embarque ou desembarque, sua plataforma basculante facilitando o operador. Além deste conceito, pode-se considerar que através deste método as forças geradas na estrutura no momento de operação se concentram em único ponto, no conjunto de suspensão. Através deste modelo representado, as tensões geradas no sistema não comprometem o veículo trator, pelo fato das forças se concentrarem no conjunto de suspensão.

### 3.6 Análise Estrutural

Dentro dos conceitos de elementos finitos, foi realizada uma análise estática envolvendo toda a estrutura do reboque. Para a simplificação das análises e a obtenção dos resultados, as simulações foram realizadas em duas partes, sendo primeiramente na estrutura e em seguida no eixo do reboque. Para a execução dos resultados é necessário definir o tipo de carregamento e as condições de contorno. Neste caso aplicou-se forças locais em determinados pontos da estrutura, aproximando da condição real de carregamento da estrutura e suportes fixos para determinar suas condições de contornos.

Alguns parâmetros foram definidos para a execução do mesmo, como a escolha do software, geração da geometria, geração das malhas, carga a ser aplicada e os ponto de apoio da estrutura.

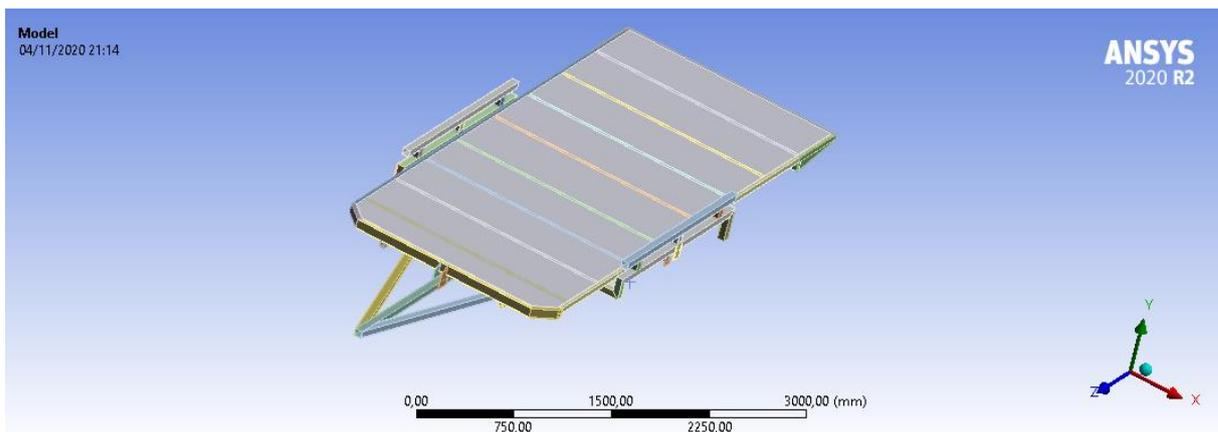
### 3.6.1 Definição do software para a análise

O software escolhido para realizar as simulações neste projeto é o Ansys Workbench, que permite resolver problemas complexos da engenharia estrutural. Podendo personalizar e automatizar soluções para os problemas de mecânica estrutural e parametrizar as análises do projeto. O software de análise estrutural Ansys é usado em todos os setores para ajudar os engenheiros a otimizar seus projetos de produtos e reduzir os custos de teste físicos.

### 3.6.2 Geometria estrutural utilizada

A geometria tridimensional do reboque plataforma foi desenvolvido através do software CAD/CAE SolidWorks 2020, onde a partir do desenho de fabricação foi possível importar para o software Ansys Workbench para a realização das simulações, conforme ilustra a figura 22.

Figura 22: Geometria estrutural utilizado.



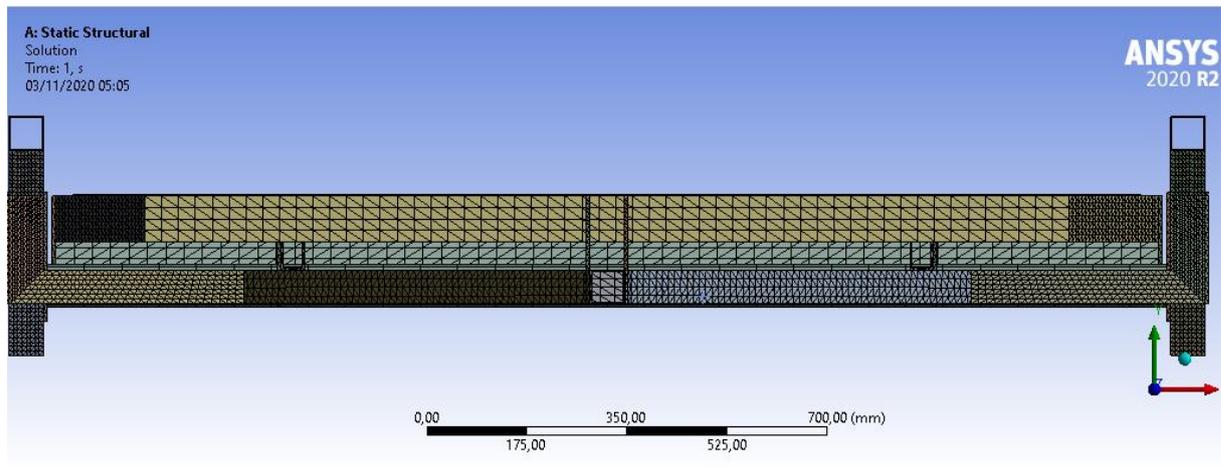
Fonte: O autor (2020).

Após a importação da geometria para o software de análise, foi possível realizar a geração de malhas da estrutura de estudo.

### 3.6.3 Geração das Malhas

A malha utilizada para a execução dos resultados baseia-se em malhas tridimensionais e tetraédricas, conforme representa a figura 23.

Figura 23: Geração das malhas da estrutura



Fonte: O autor (2020).

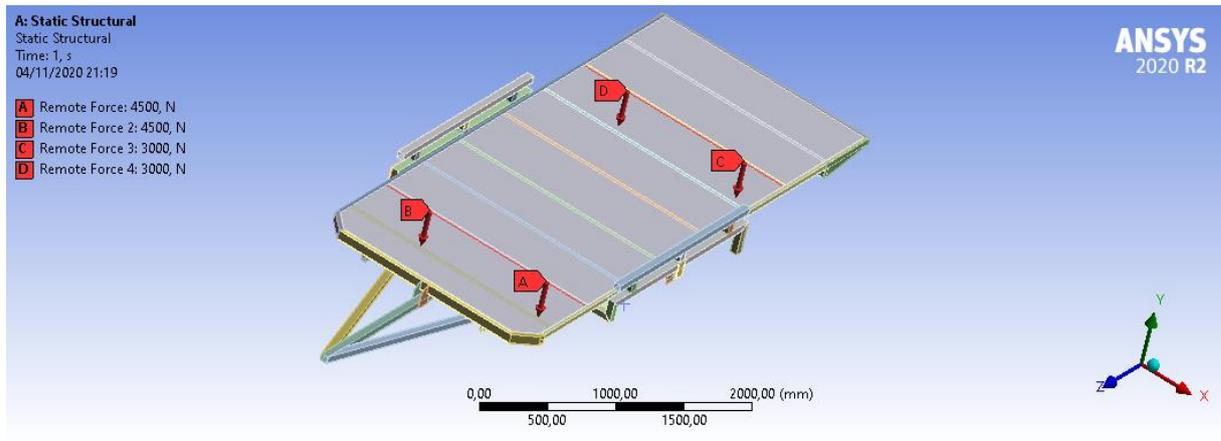
As malhas foram geradas através de uma análise de convergência para refinar o tamanho da malha para uma análise com resultados satisfatórios.

### 3.6.4 Força aplicada para análise estrutural

A força real atuante neste projeto, consiste na aplicação da carga do automóvel a ser transportado. Neste caso, o presente trabalho tem como o objetivo de transportar automóveis com o PBT máximo de 15000 N (1500 kg) e para análise estática da estrutura, foi considerado o mesmo fator peso para a obtenção de resultados.

De acordo com os conceitos de distribuição de peso dos automóveis, a posição da força aplicada sobre a estrutura do reboque aproxima-se com a realidade do transporte do veículo, sendo 60% do peso aplicado na área de apoio das rodas dianteiras do automóvel e 40% do peso aplicado na área de apoio das rodas traseiras. Sendo definido forças de 4500 N em cada roda dianteira e 3000 N em cada roda traseira, conforme ilustra a figura 24.

Figura 24: Forças aplicadas na estrutura



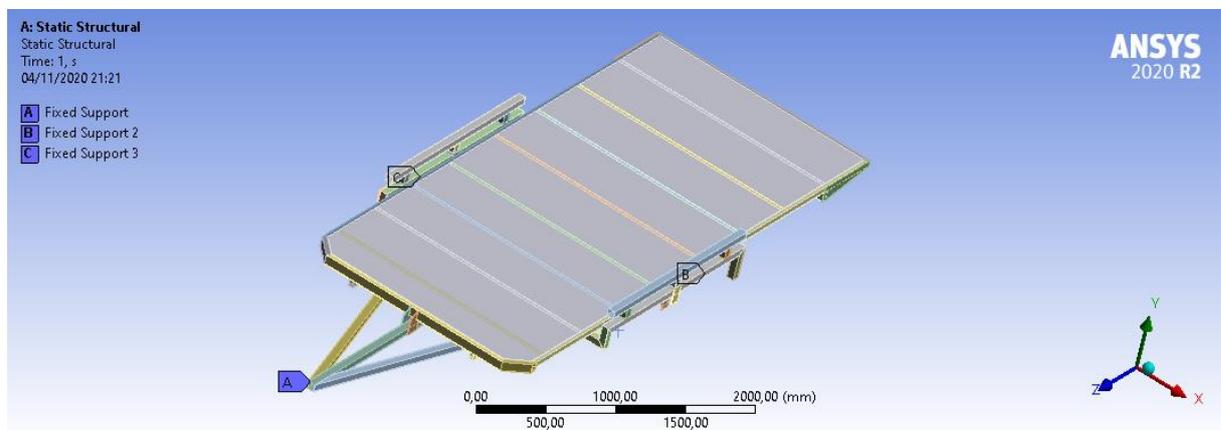
Fonte: O autor (2020).

Neste caso aplicou-se forças locais em determinados pontos da estrutura, aproximando da condição real de carregamento da estrutura

### 3.6.5 Pontos de apoio da estrutura

Na condição real do reboque os pontos de apoio se resumem no sistema de suspensão e o acoplamento do reboque no engate do veículo trator. Para a simplificação na análise estática, na região de fixação da suspensão foi considerado como ponto de apoio assim como também na região de acoplamento do reboque, conforme ilustra a figura 25.

Figura 25: Pontos fixo da estrutura.



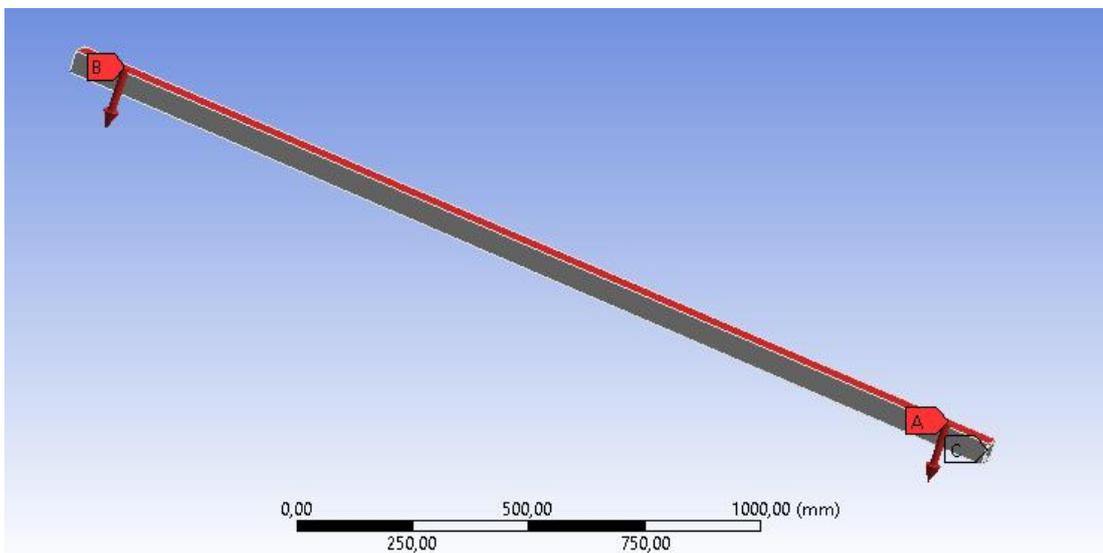
Fonte: O autor (2020).

Os pontos A, B e C apresentam as condições de contornos definidos para a realização das análises.

### 3.6.6 Análise dos eixos do reboque

Seguindo os mesmos parâmetros aplicados para a análise da estrutura do reboque, a análise realizada nos eixos dependerá dos resultados das reações de apoio considerando o carregamento sobre a estrutura juntamente com o peso do reboque. Os resultados são analisados dentro dos parâmetros de interpretação presente neste trabalho. Para a aplicação das forças sobre o eixo, segue a definição da força de reação de apoio encontrada dividido por dois, pelo fato de o reboque ser de dois eixos. A posição da aplicação das forças encontradas para a análise, segue a posição de fixação dos feixes de molas, aproximando-se da condição real de carregamento de forças sobre o eixo, conforme ilustra a figura 26.

Figura 26: Forças aplicadas no eixo.



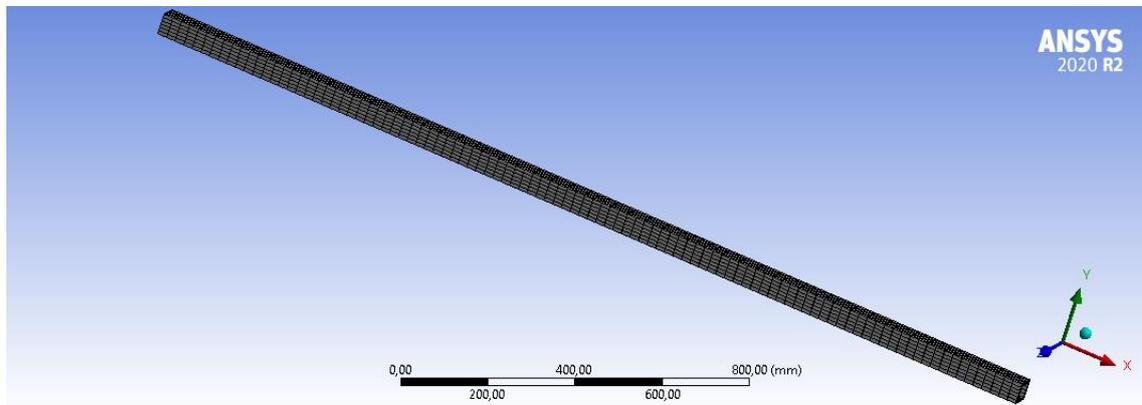
Fonte: O autor (2020).

Considerando as extremidades como pontos fixos para a realização da análise.

#### 3.6.6.1 Geração de malhas da análise do eixo

A malha utilizada neste caso, baseia-se em uma malha retangular, conforme ilustra a figura 27.

Figura 27: Malha gerada no eixo.



Fonte: O autor (2020).

A malha foi gerada através de uma análise de convergência para refinar o tamanho da malha para uma análise com resultados satisfatórios.

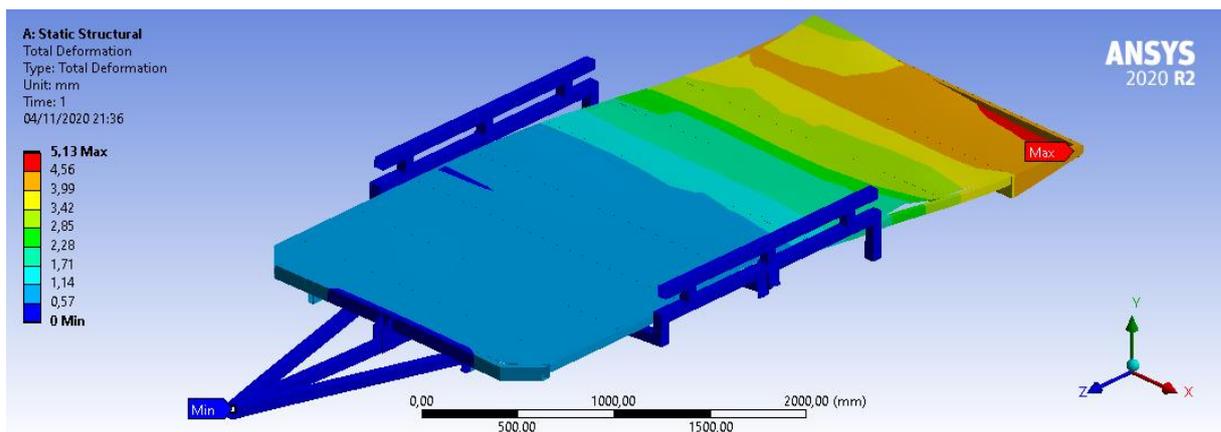
## 4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

De acordo com os parâmetros aplicados para a execução das análises, foi possível obter resultados sem algum tipo de erro, tornando possível analisar o seu comportamento estrutural e os eixos definidos em relação ao carregamento e condições de contornos

### 4.1 Deformação Total da Estrutura

Diante do exposto em relação ao tipo de carregamento e as condições de contorno citadas nos itens 3.6.4 e 3.6.5 da metodologia, a figura 28 apresenta os seguintes resultados de deformação total:

Figura 28: Resultado da deformação total da estrutura.



t

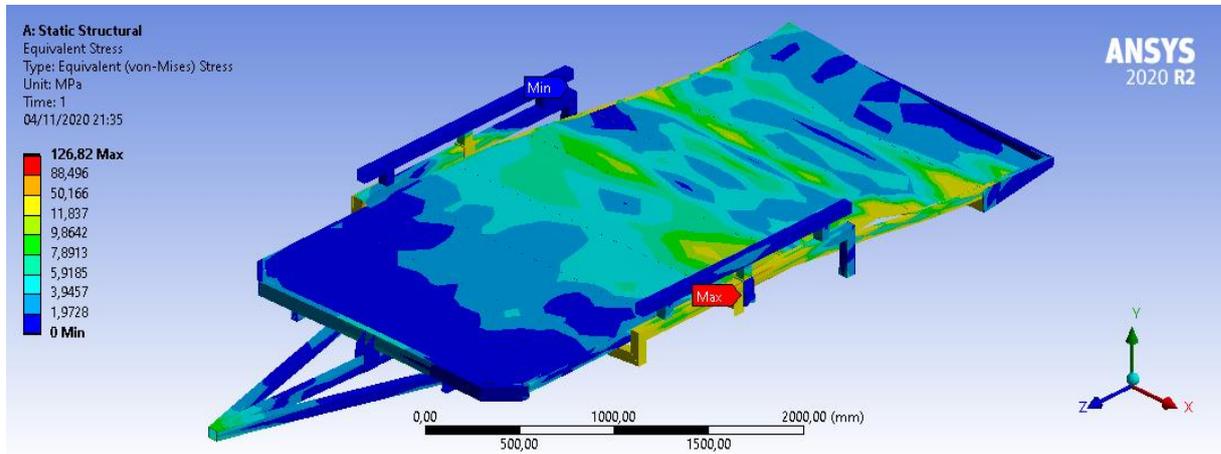
Fonte: O autor (2020).

Conforme apresentado, a deformação máxima se encontra no último nó da estrutura em relação ao seu comprimento, sendo uma deformação de 5,13 mm. Neste caso considera-se um resultado satisfatório devido à baixa variação de deformação que a estrutura se deforma em relação ao comprimento total do reboque. A deformação mínima como aponta, se encontra na parte de acoplamento do reboque.

#### 4.1.2 Resultado da tensão de von mises na estrutura

Com as aplicações de carregamento pontual conforme descrito nos itens 3.6.4 e 3.6.5 da metodologia, a figura 29 apresenta os seguintes resultados:

Figura 29: Resultado da tensão de von mises na estrutura.



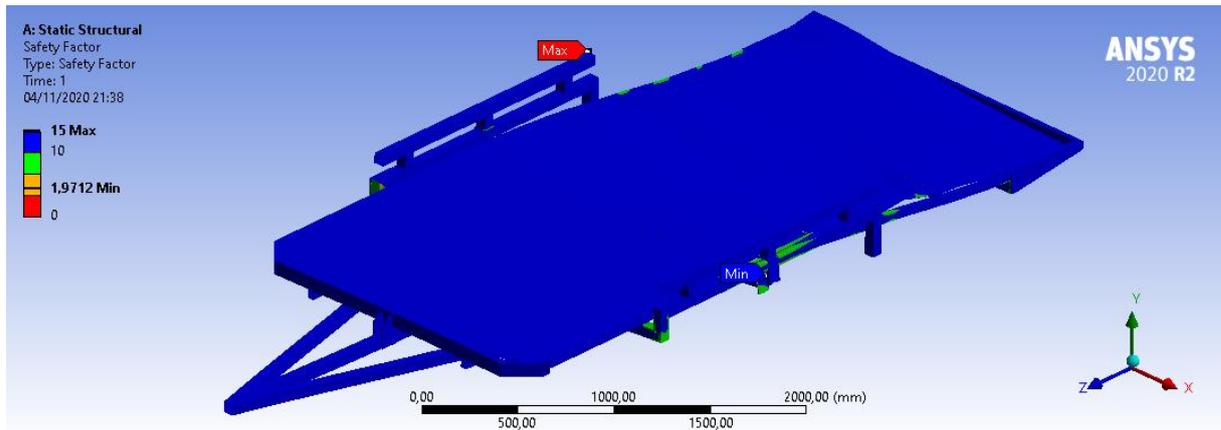
Fonte: O autor (2020).

De acordo com os resultados apresentados, nota-se que a maior tensão se encontra no ponto central entre os eixos, uma tensão máxima de 126,82 Mpa. Diante dos conceitos de tensões, o resultado obtido é satisfatório, pois a tensão de escoamento do material conforme descrito neste trabalho, é de 200 Mpa. Sendo considerado que diante do carregamento solicitante, que neste caso é um automóvel com PBT máximo de 15000 N (Kg), a estrutura se mantém relativamente segura em relação ao carregamento.

#### 4.1.3 Resultado do fator de segurança gerada na estrutura

Conforme a análise do item anterior em relação a tensão de Von Mises, foi possível obter o fator de segurança da estrutura, conforme ilustra a figura 30.

Figura 30: Resultado do fator de segurança gerada na estrutura.



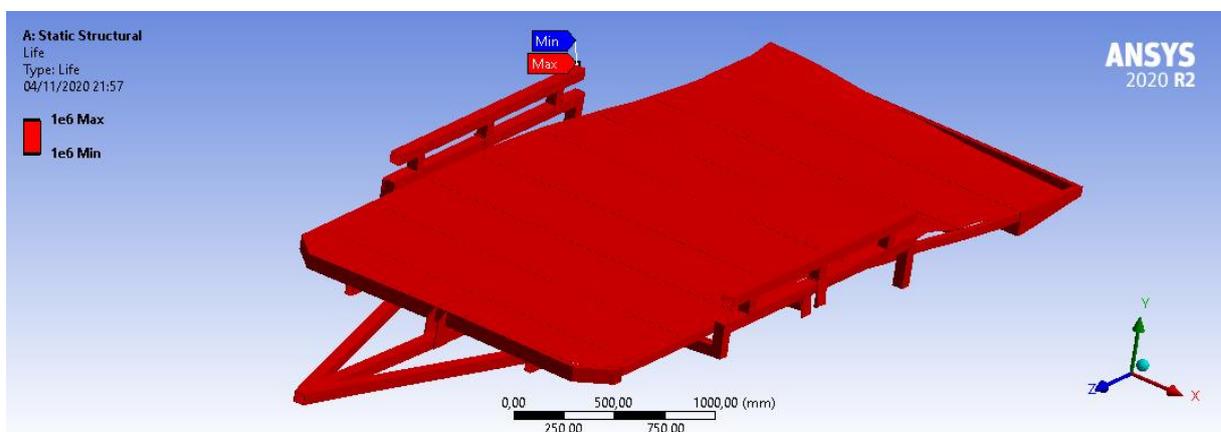
Fonte: O autor (2020).

Conforme ilustrado, obteve-se um fator de segurança mínimo de 1,97 no ponto de tensão máxima. Dentro dos conceitos de fator de segurança, o resultado é significativo se tratando da segurança da estrutura, ou seja, o valor obtido é considerável para a confiabilidade da estrutura ao todo.

#### 4.1.4 Vida de fadiga da estrutura

Dentro dos conceitos de vida de fadiga, a figura 31 ilustra o resultado da simulação realizada.

Figura 31: Vida de fadiga na estrutura



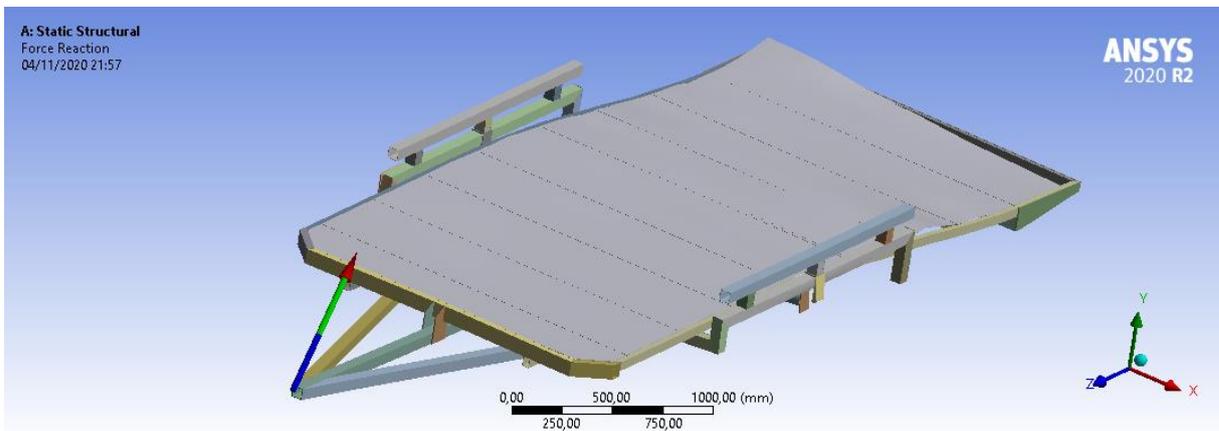
Fonte: O autor (2020).

Conforme representado, o resultado obtido é caracterizado vida infinita, ou seja, significa que o sistema possui uma vida tão longa com relação a fadiga que não haverá falha por este fenômeno.

#### 4.1.5 Resultado das reações de apoios

Diante das aplicações de forças na estrutura do reboque, foi possível encontrar os valores das reações de apoio gerada nos pontos de fixação. A figura 32 ilustra a força de reação no ponto de acoplamento do reboque ao veículo trator.

Figura 32: Reação de apoio no ponto de acoplamento do reboque

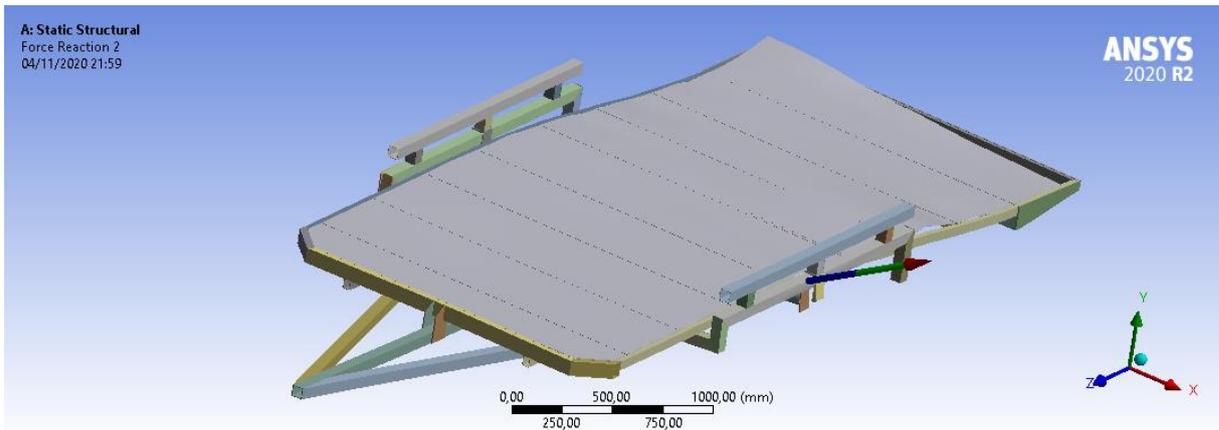


Fonte: O autor (2020).

Diante do exposto, é possível analisar a reação de apoio atuante no eixo Y de 471,24 N, resultado satisfatório atendendo a RTQ25 INMETRO 7.3.7.7.3 - Verificação da Distribuição de Carga no Engate mencionado no item 3.2.1 da metodologia, onde a carga no engate deve se situar entre 100 N (10 kgf) e 750 N (75 kgf).

A figura 33 apresenta o resultado da reação de apoio no ponto de fixação da suspensão do reboque.

Figura 33: Resultado da reação de apoio no ponto de fixação da suspensão



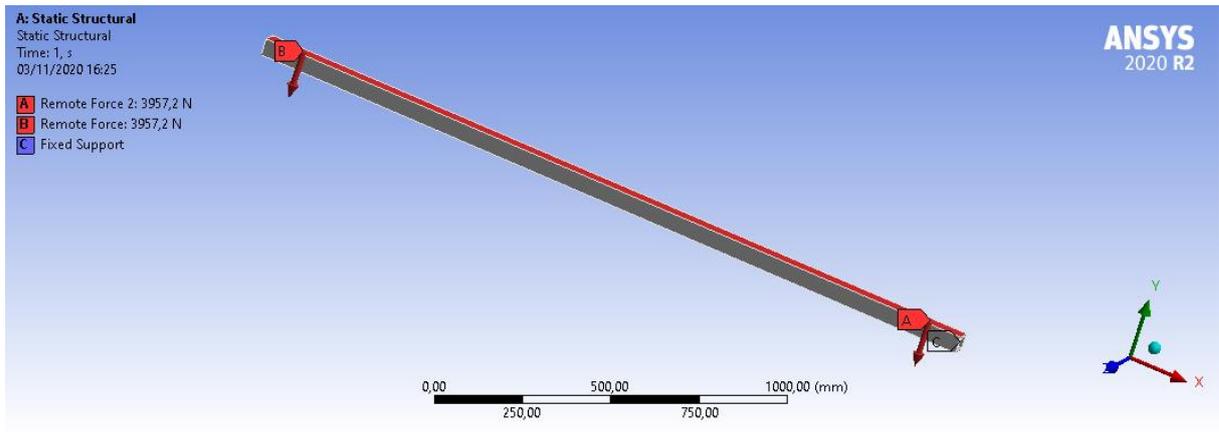
Fonte: O autor (2020).

Analisando os resultados obtidos, a força de reação de apoio na parte de fixação da suspensão em relação ao eixo Y é de 7914,4 N, próximo ao valor calculado e encontrado através do software Ftool 4.0, conforme citados nos itens 3.2.1. Este resultado aplicará na análise do eixo, conforme descrito nos itens 3.6.6 da metodologia.

## 4.2 Resultados da Análise do Eixo

Com a definição das forças de reações de apoio de 7914,4 N, foi possível analisar a resistência mecânica do eixo definido neste projeto. Este resultado é dividido por dois, pelo fato de o reboque ser de dois eixos, considerando uma força de -3957,2 N. Essas forças são aplicadas no ponto de fixação dos feixes de molas, aproximando-se da condição real de carregamento de forças sobre o eixo, conforme ilustra a figura 34. Considerando as extremidades como apoio fixo.

Figura 34: Forças aplicadas no eixo.



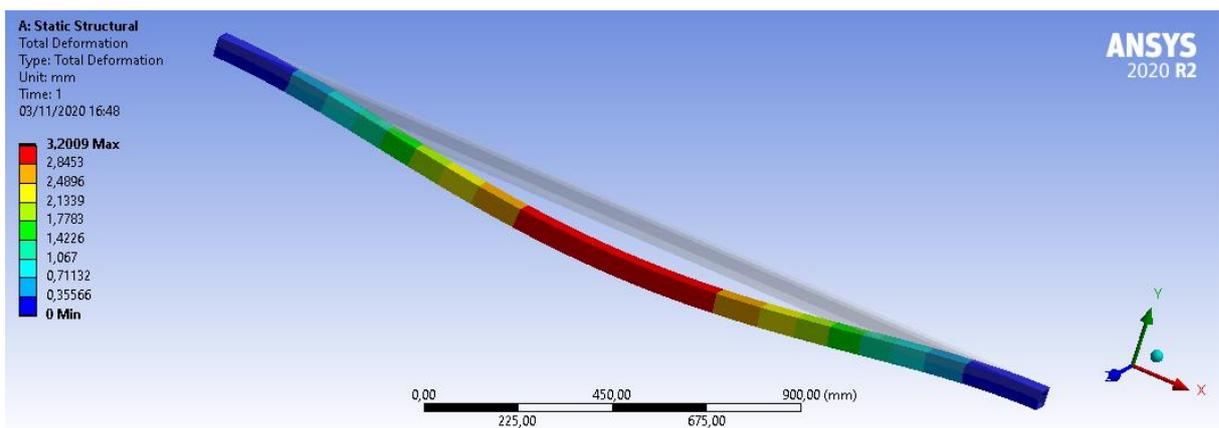
Fonte: O autor (2020).

Diante do exposto, foi possível obter resultados em relação a sua resistência, o próximo item apresenta resultados das análises com as aplicações mencionadas.

#### 4.2.1 Deformação total da análise do eixo

Em em relação as cargas aplicadas e as condições de contorno, a figura 35 apresenta os seguintes resultados de deformação total:

Figura 35: Resultado da deformação total do eixo



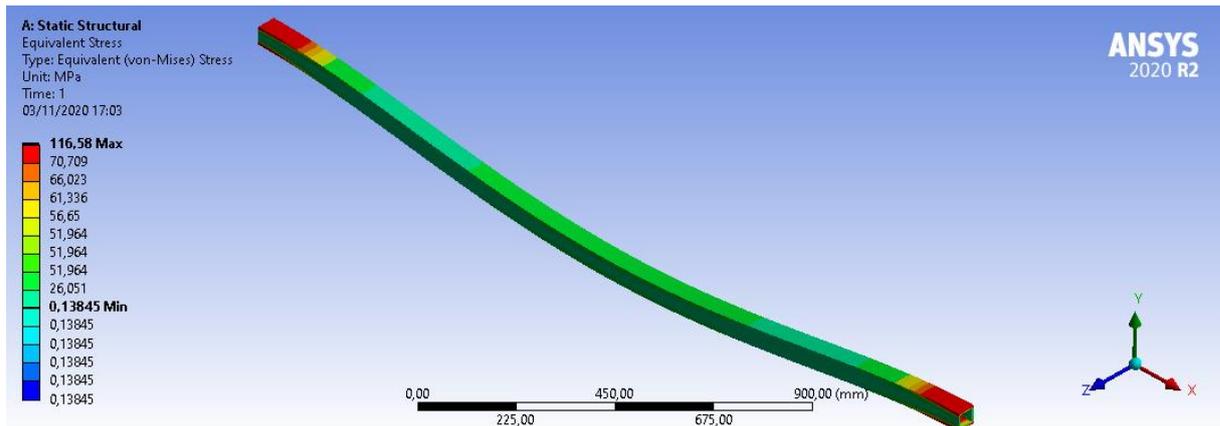
Fonte: O autor (2020).

Pode-se analisar que a deformação máxima obtida neste sistema é de 3,2 mm, sendo uma deformação aceitável em relação ao comprimento do eixo.

#### 4.2.2 Resultado da tensão de von mises do eixo

Com as aplicações de carregamento pontual conforme descrito no item 4.2, a figura 36 apresenta os seguintes resultados:

Figura 36: Resultado da tensão de von mises do eixo



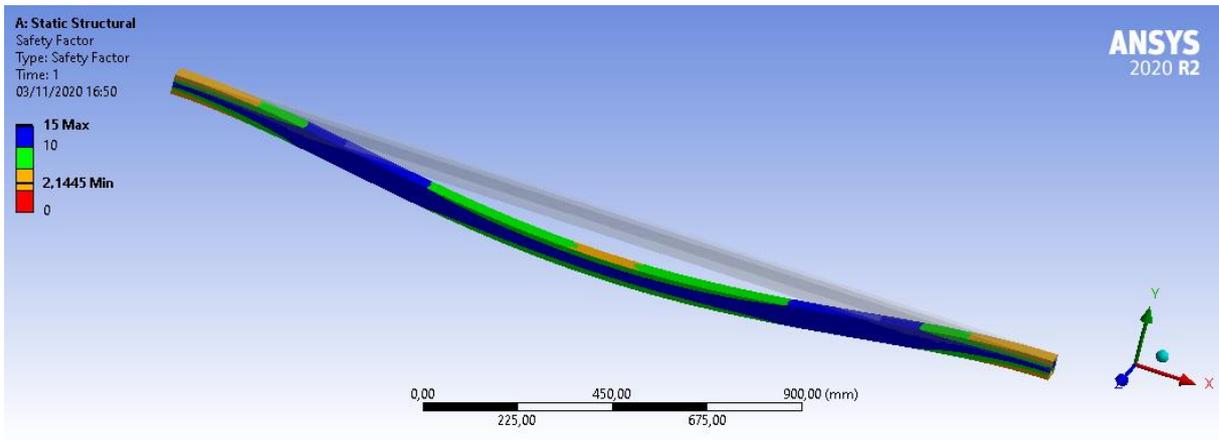
Fonte: O autor (2020).

De acordo com as análises de tensões, nota-se que a maior tensão está concentrada próximo às extremidades do eixo, sendo a tensão máxima equivalente de 116,58 Mpa. Avalia-se que a tensão encontrada é satisfatória em relação à tensão máxima de escoamento do material.

#### 4.2.3 Resultado do fator de segurança gerado no eixo

Conforme a análise do item anterior em relação à tensão de Von Mises, foi possível obter o fator de segurança da estrutura, conforme ilustra a figura 37.

Figura 37: Resultado do fator de segurança gerada no eixo.



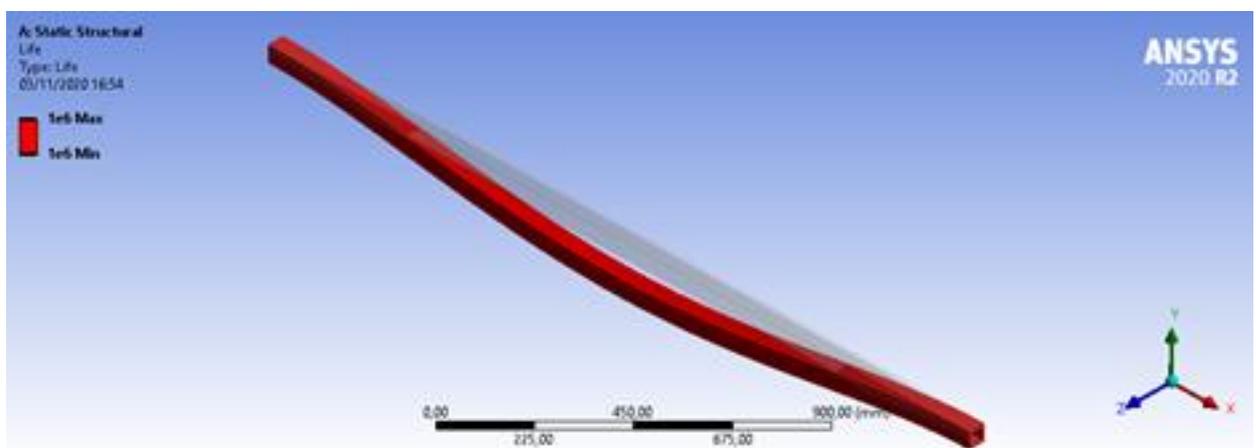
Fonte: O autor (2020).

Conforme representado, obteve-se um fator de segurança mínimo de 2,14 no ponto de tensão máxima. Dentro dos conceitos de fator de segurança, o resultado é significativo se tratando da segurança do eixo, ou seja, o valor obtido é considerável para a confiabilidade da estrutura do eixo.

#### 4.2.4 Vida de fadiga no eixo

Dentro dos conceitos de vida de fadiga, a figura 38 ilustra o resultado da simulação realizada.

Figura 38: Vida de fadiga no eixo



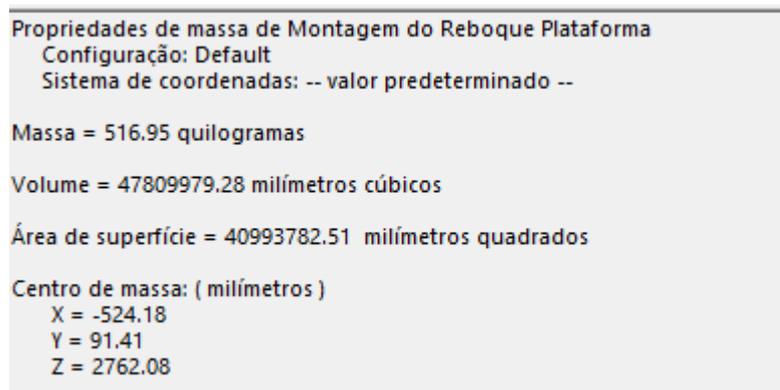
Fonte: Autor.

Conforme representado, o resultado obtido é caracterizado vida infinita, ou seja, significa que o sistema possui uma vida tão longa com relação a fadiga que não haverá falha por este fenômeno.

### 4.3 Tabela de Custo Final

Para a elaboração do custo final da estrutura do projeto, foi necessário utilizar o software SolidWorks 2020 para a definição do seu peso total. De acordo com o peso da estrutura, foi possível calcular o custo total dos materiais utilizados, atualmente considera o valor médio comercial do kg do aço aproximadamente de R\$ 8,00, este valor varia de acordo com o fornecedor. A figura 39 ilustra o valor obtido de toda a estrutura.

Figura 39: Propriedades de massa da estrutura



Fonte: O autor (2020).

Na definição das propriedades de massa, não incluem os componentes de suspensão, paralamas e do sistema de freio, tratando-se de componentes de valores definidos

Considerando o valor da massa obtida através do software e o valor do kg do aço mencionado, o custo final da estrutura juntamente com outros componentes é representado na tabela 2.

Tabela 1: Custo final do projeto

Material	Qtd.	Valor un. (R\$)	Valor Final. (R\$)
Estrutural	516,95	R\$ 8,00	R\$ 4.135,60
Conjunto de suspensão completa (TROMAR)	1	R\$ 550,00	R\$ 550,00
Kit do sistema de freio (FAMIT)	1	R\$ 1.850,00	R\$ 1.850,00
Paralamas (TROMAR)	4	R\$ 40,60	R\$ 162,40
Rodas aro 13 (TROMAR)	4	R\$ 40,00	R\$ 160,00
Pneu 175/70/13 Goodyr	4	R\$ 220,00	R\$ 880,00
Kit Sistema Elétrico LED (TROMAR)	1	R\$ 230,00	R\$ 230,00
Faixas Refletivas	1	R\$ 74,00	R\$ 74,00
Componentes de Pintura na base PU	1	R\$ 430,00	R\$ 430,00
		Total	R\$ 8.472,00

Fonte: O autor (2020).

Os dados inseridos acima, tem como base de informações os fornecedores: Tromar, fabricante e distribuidora de peças para reboques; FAMIT, fornecedora do kit do sistema de freio. Já o restante dos itens, segue a média do valor comercial encontrados na cidade local.

## 5 CONCLUSÃO

Após a obtenção de todos os dados gerados no decorrer deste trabalho, conclui-se que os objetivos foram alcançados através dos procedimentos realizados. Tendo em vista que, os resultados introduzidos estão relacionados ao estudo abordado.

A coleta de informações que compõem o referencial teórico contribuiu para a obtenção dos resultados apresentados, podendo ser feita a verificação das condições de análise dentro de normas relacionadas ao projeto. Através do estudo abordado, nota-se que existem fatores que influenciam diretamente no comportamento de um reboque, como fatores estático e dinâmico relacionado ao transporte de veículos.

Diante deste estudo, avalia o quanto é importante considerar esses fatores condicionado a segurança do mesmo, como se trata de uma estrutura entrelaçadas em conceitos estáticos e dinâmicos, a probabilidade de gerar falhas é grande, tanto no decorrer da fase do projeto quanto a sua vida útil. Importante destacar que a viabilidade de um reboque não é apenas em relação ao seu custo e praticidade, mas como também na segurança de operação e no transporte.

O presente trabalho estimula tanto pesquisadores e empresas credenciadas no ramo, a introduzir novos objetivos quanto a melhorias em projetos de reboques atuantes no mercado, visando atender além dos requisitos normativos, a contribuição com o avanço de novas tecnologias no ramo de reboques. Conceitos desta maneira, diminui a probabilidade de falhas relacionada aos transportes de veículos.

O tema estudado realça as limitações em relação a obtenção de resultados, devido a sua complexidade condicionada a análise estática e dinâmica. Dentre essas limitações, é importante destacar a necessidade de uma análise dinâmica envolvendo os fatores influentes no projeto, como: as forças atuantes no momento da frenagem do veículo trator, fatores de irregularidades da estrada em relação ao transporte e situações adversas que um reboque em operação pode ser influenciado.

Através deste estudo, foi possível transmitir os conhecimentos obtidos no decorrer dos semestres para a prática, enxergando os mínimos detalhes entre a relação da teórica com a prática. Agregando ao meu conhecimento conceitos de extrema valia no âmbito da engenharia mecânica.

## REFERÊNCIAS

AL-KO. **Produtos:** Sistemas de Freios, Atibaia, 2020. Disponível em: < <https://www.alko-tech.com/br/sistemas-de-freio-mecanicos>>. Acesso em 20 de set. 2020.

ANFATRE. ASSOCIAÇÃO NACIONAL DOS FABRICANTES DE TRAILERS, REBOQUES E ENGATES. **Dicas para preparação e condução segura de reboques e trailers.** 2020. Disponível em: < [https://ff5d54ba-b0eb-4ec3-afcf-af44c86300c6.filesusr.com/ugd/b69023\\_44c0cca31f144dfab422f228f88a272e.pdf](https://ff5d54ba-b0eb-4ec3-afcf-af44c86300c6.filesusr.com/ugd/b69023_44c0cca31f144dfab422f228f88a272e.pdf)>. Acesso em 05 jun. 2020.

AZEVEDO, F. M. A, **Método dos Elementos Finitos.** 1. ed. Portugal: Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, 2003  
BEER, Ferdinand; JOHNSTON, Russel. **Mecânica dos Materiais,** São Paulo, 2011: McGrawHill.

BARROS, F. B. **Métodos Sem Malha e Método dos Elementos Finitos Generalizados em Análise Não-Linear de Estruturas.** Tese (Doutorado) - Curso de Engenharia, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2002.

BRASIL. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. **Projeto de Estruturas de aço e de estruturas mistas de aço e concreto de edifícios, NBR 8800.** Rio de Janeiro, 2008.

BRASIL. CÓDIGO DE TRÂNSITO BRASILEIRO. **Registro de Veículos.** 7º ed. Brasília, 2015. 54 p.

BRASIL. CÓDIGO DE TRÂNSITO BRASILEIRO. **Veículos.** 7º ed. Brasília, 2015. 46 p.

BRASIL. CONSELHO NACIONAL DE TRÂNSITO. **Resolução N° 14/98.** Brasília, 1998. Disponível em: <<https://infraestrutura.gov.br/images/Resolucoes/Consolidadas/cons014.pdf>>. Acesso em 05 de jun. 2020.

BRASIL. INMETRO, RTQ 25 - INSPEÇÃO DE VEÍCULOS RODOVIÁRIOS REBOCADOS COM PBT ATÉ 7500 N. **Modificação ou Fabricação Artesanal.** 2004. Disponível em: <[www.inmetro.gov.br/legislação/rtac/pdf/RTAC0008800.pdf](http://www.inmetro.gov.br/legislação/rtac/pdf/RTAC0008800.pdf)>. Acesso em 05 jun. 2020.

BRASIL.; Reyolando, M. L. R. F.; SILVA, Marcelo Araújo. **Introdução à dinâmica das Estruturas.** 2.ed. São Paulo: Blucher, 2015.

BUDYNAS, R. G.; NISBETT, J. K. **Shigley's Mechanical Engineering Design.** 9. ed. New York, 2011.

CALLISTER JR., William D. **Ciência e engenharia de materiais: uma introdução.** 5.ed. (Civil) – Departamento de Engenharia Civil, Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto, 2009.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE TRÂNSITO. **Portaria n° 49**. Brasília, 2018.

Disponível em:

<<https://infraestrutura.gov.br/images/PortariasDenatran/2018/Portaria0492018.pdf>>. Acesso em 04 jun. 2020.

FAMIT. **Produtos**: Sistemas de Freios. Curitiba, 2020. Disponível em: <

<http://famit.com.br/produtos/sistemas-de-freio/>>. Acesso em 10 de set. 2020.

GRISON, V.; **Ferramentas para análise dinâmica e estrutural de um reboque de linha leve**. Trabalho de Conclusão para obtenção do Título de Mestre em Engenharia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre, jun 2005. Disponível em: <

<https://www.lume.ufrgs.br/bitstream/handle/10183/5858/000521362.pdf>>. Acesso em 10 de jun. 2020.

GUERRA, P. H. L. **Distribuição de peso: aspecto importante da dinâmica veicular**.

Educação Automotiva. Disponível em: <

<https://educacaoautomotiva.com/2017/03/30/distribuicao-de-peso/>>. Acesso em 05 mai. 2020.

GUILHERME, J. FADIGA – **A principal causa raiz das falhas mecânicas**. Ensus.

Disponível em: < <https://ensus.com.br/fadiga-mecanica/>>. Acesso em 30 de out. 2020.

Happian-Smith, J. **An Introduction to modern vehicle desing**. Butterworth: Heinemann, 2002

HIBBELER, R.C. **Resistência dos Materiais**. 5ª ed. São Paulo: Pearson Prentice Hall. 2008.

INFANTINI, M.B. **Variáveis de desempenho dos sistemas de freio**. Dissertação (Pós-graduação) - Engenharia Mecânica, Escola de Engenharia da Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre, 2008.

LIMPERT, R. **Brake design and safety**. 2. ed. SAE: International, 1999.

MARTHA, L. F. **Análise de estruturas**. 2. ed. Rio de Janeiro: Elsevier, 2017.

MATOZO, L.T. **Estudo da relação entre propriedades de compósitos de fricção aplicados a sistemas de freio a disco e a propensão à ocorrência de squeal noise**. Tese de (Doutorado)- Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2012.

MENDES, P.; OLIVEIRA, S. **Análise Dinâmica de Estruturas**. Lisboa, 2008.

NAKATA. **Produtos**: Freios, 2020. Disponível em: <

<https://www.nakata.com.br/portfolio/linhas/freios>>. Acesso em 27 de set. 2020.

NAVES, G.F.; CUNHA, J. **Simulação numérica do comportamento estrutural e pré-dimensionamento das estruturas arco e cúpula**. Revista Horizonte Científico, Uberlândia, n. 1, v. 5, p. 1-20, 2011

Norton, R. L. **Projeto de Máquinas: uma abordagem integrada**. 4. ed. Porto Alegre: Bookman, 2013.

NORTON, R. L. **Projeto de Máquinas, uma abordagem integrada**. 4 ed. Bookman, 2004.

OLIVEIRA, L. **Reboque Automotivo**. Instituto Euvaldo Lodi, Rio de Janeiro, 2016. Disponível em < <http://www.respostatecnica.org.br/>>. Acesso em 02 mar. 2020.

PAEZ, L. A. D. **Aplicabilidade de molas pneumáticas na indústria e projeto básico de um acoplador pneumático**. Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, novembro 2009. Disponível em: < [http://site.s.poli.usp.br/d/pme2600/2009/Trabalhos%20 finais/TCC\\_028\\_2009.pdf](http://site.s.poli.usp.br/d/pme2600/2009/Trabalhos%20 finais/TCC_028_2009.pdf)>. Acesso em 03 mar. 2020.

QUEIROZ, P. C. O. **Análise estática e dinâmica de estruturas reticuladas: Ambiente de simulação em JAVA**. Dissertação – Universidade Federal da Paraíba, João Pessoa, 2010.

RAO, S. **Vibrações mecânicas**. 4. ed. São Paulo: Pearson Prentice Hall, 2009.

REBOQUES VALE DO AÇO. **Empresa: Tecnologia**. Ipatinga. Disponível em: < <https://reboquesvaledoaco.com.br/sistema-de-freio-inercial-para-carretinha-reboque/>>. Acesso em 10 de out. 2020

REIS, B. P. **Plataforma para rebocar veículos com suspensão pneumática**. Serviço Nacional de Aprendizagem Industrial, 2014. Disponível em: < <http://www.respostatecnica.org.br/resposta-tecnica?rt=MzAxMTk=>>. Acesso em 05 mar. 2020. Rio de Janeiro: LTC, 2002.

RODOTREM. **Produtos: Carretinha reboque para carros**. Taubaté-SP, 2020. Disponível em:< <https://www.rodotrem.com.br/carretinha-reboque-carros>>. Acesso em 09 jun. 2020.

SÁLES, J. J.; NETO, J. M.; MALITE, M.; DIAS, A. A. **Sistemas Estruturais**. 2.ed. Rio de Janeiro: Elsevier, 2015.

SHIGLEY, J. E. **Mechanical engineering design**. 8. ed. McGraw-Hill, 2006.

SORIANO, H. **Introdução à dinâmica das estruturas**. 1. ed. Rio de Janeiro: Elsevier Brasil, 2014.

TESSARI, R. K. **Projeto baseado em desempenho de torres metálicas sujeitas à ação do vento**. Dissertação (Mestrado)- Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2016.

TROMAR. **Produtos**. Tatuapé, 2020. Disponível em: < <https://tromarbrasil.com.br/produtos>>. Acesso em 05 de set. 2020.

VARGAS, V.A. **Efeitos da Flexibilidade Estrutural em Simulações de dinâmica lateral de veículos de transporte de carga**. Dissertação para obtenção do título de Mestre em Engenharia. Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre, jun. 2011. Disponível em: <<https://www.lume.ufrgs.br/bitstream/handle/10183/34760/000789335.pdf?sequence=1>>. Acesso em 07 jun. 2020.

VASCONCELOS, R, P. **Dinâmica de estruturas**. (s.l: s.n), Apostila, 157 pg, 2003.

**VITÓRIO, J. A. P. Um Estudo Comparativo sobre métodos de alargamento de pontes rodoviárias de concreto armado com a utilização das normas brasileiras e Eurocódigos.**  
Tese (Doutorado) - Faculdade de Engenharia, Universidade do Porto, Porto, 2013.