

**UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ**

**BRUNO MARCON**

**ANÁLISE ESTRUTURAL E MODAL DA ESTRUTURA METÁLICA DE BASE DE  
UM GRUPO GERADOR DIESEL DE 160 KVA COM USO DO MÉTODO DE  
ELEMENTOS FINITOS**

**PATO BRANCO**

**2022**

**BRUNO MARCON**

**ANÁLISE ESTRUTURAL E MODAL DA ESTRUTURA METÁLICA DE BASE DE  
UM GRUPO GERADOR DIESEL DE 160 KVA COM USO DO MÉTODO DE  
ELEMENTOS FINITOS**

**Structural and modal analysis of the base metallic structure of a 160 Kva Diesel  
Generator using the Finite Element Method.**

Trabalho de Conclusão de Curso de graduação, apresentado à disciplina de Trabalho de Conclusão de Curso 2, do Curso de Engenharia Mecânica do Departamento Acadêmico de Mecânica – DAMEC – da Universidade Tecnológica Federal do Paraná – UTFPR, Campus Pato Branco, como requisito parcial para obtenção do título de Engenheiro Mecânico.

Orientador(a): Prof. Dr. Fábio Rodrigo Mandello Rodrigues.

**PATO BRANCO**

**2022**



Esta licença permite compartilhamento, remixe, adaptação e criação a partir do trabalho, mesmo para fins comerciais, desde que sejam atribuídos créditos ao(s) autor(es). Conteúdos elaborados por terceiros, citados e referenciados nesta obra não são cobertos pela licença.

**BRUNO MARCON**

**ANÁLISE ESTRUTURAL E MODAL DA ESTRUTURA METÁLICA DE BASE DE  
UM GRUPO GERADOR DIESEL DE 160 KVA COM USO DO MÉTODO DE  
ELEMENTOS FINITOS**

Trabalho de Conclusão de Curso de graduação, apresentado à disciplina de Trabalho de Conclusão de Curso 2, do Curso de Engenharia Mecânica do Departamento Acadêmico de Mecânica – DAMEC – da Universidade Tecnológica Federal do Paraná – UTFPR, Campus Pato Branco, como requisito parcial para obtenção do título de Engenheiro Mecânico.

Data de aprovação: 01/12/2022

---

Prof. Fábio Rodrigo Mandello Rodrigues  
Doutorado

---

Prof. Robson Goncalves Trentin  
Doutorado

---

Prof. Paulo Rogério Novak  
Doutorado

**PATO BRANCO**

**2022**

## RESUMO

Equipamentos geradores de energia estão em uso em todos os ramos de atividades, desde a indústria até na agricultura, estes são extremamente importantes, os sistemas modernos são dependentes de energia elétrica, os equipamentos em questão são utilizados caso ocorram falhas no fornecimento de energia, ou com o objetivo de reduzir custos. Os grupos geradores Diesel são os mais utilizados, sua construção é simples e barata e sua operação é confiável, apesar de ser uma fonte de energia poluente, muitas vezes ela ainda é a melhor opção quando se trata de sistemas de fornecimento de energia auxiliares. Esses equipamentos consistem em um motor Diesel, que fornece potência de eixo a um alternador, que será responsável por gerar a energia elétrica, para acomodar esses equipamentos é comum a construção de um chassis em estrutura metálica, esse deve resistir ao peso dos equipamentos e as vibrações geradas durante a operação. Este texto apresenta um modelo de uma estrutura de um grupo Gerador Diesel de potência de 160 KVa, e após isto analisa com auxílio do Método de Elementos Finitos (MEF) as tensões induzidas na estrutura devido ao peso dos equipamentos que ela deve suportar, após isso utilizando novamente o MEF foi realizada uma simulação modal analisando o comportamento dinâmico da estrutura com o objetivo de identificar os modos de vibração e em quais frequências eles ocorrem, ao final é apresentada uma solução para o problema da deformação no centro da estrutura, pois esta se apresentou maior do que a considerada aceitável.

Palavras-chaves: Geradores de Energia; Diesel; Método de Elementos Finitos.

## ABSTRACT

Power generation equipment's are used in a variety of applications, from industries to agriculture, those machines are very useful on supplying power during a failure on the mains grid supply, modern installations are dependent of electric energy, those failures can cause a massive damage to business and industrial plants. Diesel generator sets are the most common machine used for this application, their simple and inexpensive construction surrounded by their highly reliable operation make them perfect for the case, despite being a non-renewable and highly polluting energy, it still proves to be the best option in those cases. The construction of these Diesel Sets is made by an Internal Combustion Diesel Engine combined with an Electric Alternator, which is responsible for generating energy, the chassis of the structure consists of a metallic base designed to allocate the parts that the machine has. This metallic base should resist to the weight of the parts and also resist to the vibrations induced by the machine. The text will present a model of a metallic structure designed for a Diesel Generator Set, then using de Finite Element Method (FEM) the tensions induced on the structure by the weight of the engine and alternator will be analyzed, at the end, again with the use of the Finite Element Method (FEM) a modal study will be developed discovering which will be the modes of vibration and in what frequencies their occur.

Keywords: Power Generators; Diesel; Finite Element Method

## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - Grupo Gerador Diesel da Fabricante STEMAC.....	15
Figura 2 - Vista em corte de um motor Ciclo Diesel-Fabricante Cummins Modelo 8CT8.3. ....	16
Figura 3 - Alternador Síncrono Trifásico Marca WEG Modelo GTA202AI34. ....	18
Figura 4 - Chassi de um Grupo Gerador da Marca STEMAC .....	20
Figura 5 - Cubo infinitesimal com as tensões aplicadas ao elemento.....	22
Figura 6 - Diagrama tensão-deformação para um material dúctil.....	23
Figura 7 - Reações ocasionadas no material devido a forças cisalhantes para um elemento plano.....	24
Figura 8 - Seção de uma viga sob o carregamento de flexão pura .....	25
Figura 9 - Elipse de energia de distorção para o caso tridimensional.....	27
Figura 10 - Análise modal teórica de um sistema.....	29
Figura 11 - Viga com uma malha de elementos quadráticos. ....	31
Figura 12 - Fluxograma de execução do trabalho .....	35
Figura 13 - Motor Perkins 1106A-70TAG2 .....	36
Figura 14 - Vista Lateral Esquerda .....	37
Figura 15 - Vista Frontal .....	38
Figura 16 - Alternador Síncrono Trifásico modelo AG10250SI10AI .....	39
Figura 17 - Vista Lateral Direita Alternador AG10250SI10AI .....	40
Figura 18 - Vista Frontal Alternador AG10250SI10AI.....	41
Figura 19 - Estrutura Projetada .....	42
Figura 20 - Dimensões externas da estrutura em mm. ....	43
Figura 21 - Suporte de fixação do alternador .....	44
Figura 22 - Suporte de Fixação do Motor Diesel .....	44
Figura 23 - Propriedades mecânicas e químicas ASTM A36 .....	45
Figura 24 - Modelo com malha de elementos .....	46
Figura 25 - Vista aproximada da malha gerada no modelo.....	47
Figura 26 - Superfície considerada como suporte elástico de alta rigidez .....	49
Figura 27 - Massa distribuída correspondente ao Motor Diesel .....	50
Figura 28 - Massa distribuída correspondente ao Alternador .....	50
Figura 29 - Simulação estática utilizando a tensão equivalente de von-Mises .	51
Figura 30 - Outros pontos com a tensão equivalente indicada .....	52
Figura 31 - Simulação da deformação da estrutura.....	52
Figura 32 - Modo de vibração 1 .....	54
Figura 33 - Modo de vibração 2 .....	54
Figura 34 - Modo de vibração 3 .....	55
Figura 35 - Modo de vibração 4 .....	55
Figura 36 - Modo de vibração 5 .....	56
Figura 37 - Modo de vibração 6 .....	56
Figura 38 - Tensão máxima presente no suporte do Motor Diesel .....	57
Figura 39 - Tensão máxima ocorrida no suporte do Motor Diesel.....	58
Figura 40 - Tensões na região de fixação do alternador .....	59
Figura 41 - Deformações calculadas na estrutura.....	60
Figura 42 - Tensões induzidas após otimização da estrutura .....	62
Figura 43 - Deformações na estrutura após a otimização .....	63
Figura 44 - Modo de vibração 1 com frequência de 179,04 Hz.....	64
Figura 45 - Modo de vibração 2 com frequência de 189,36 Hz.....	64

**Figura 46 - Coxim sugerido na construção do equipamento..... 65**

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Tipos de elementos bidimensionais .....	31
Tabela 2 - Ficha Técnica do Motor .....	37
Tabela 3 - Dados do Alternador.....	39
Tabela 4 - Dados do Alternador.....	40
Tabela 5 - Bitola dos componentes da estrutura.....	43
Tabela 6 - Dados da malha gerada .....	46
Tabela 7- Qualidade da malha gerada .....	47
Tabela 8 - Modos de vibração encontrados.....	53
Tabela 9 - Bitola das Chapas após a otimização. ....	61
Tabela 10 - Resultados da estrutura otimizada. ....	63

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

P	Carga Aplicada
RESEB	Grupo de Reestruturação do Setor Elétrico Brasileiro
$A_o$	Área da Seção Transversal
$\sigma$	Tensão Normal
$\sigma_e$	Tensão limite de escoamento
$\tau$	Tensão de cisalhamento média
V	Força de cisalhamento
G	Módulo de Rigidez
$\sigma'$	Tensão Equivalente de Von-Mises
$S_y$	Tensão de Escoamento
[ M ]	Matriz de Massa
[ C ]	Matriz de Amortecimento
[ K ]	Matriz de Rigidez
[ $\omega$ ]	Matriz de frequências naturais
[ $\Phi$ ]	Matriz Modal
$H_{ij}(\omega)$	Função de Resposta de frequência
$h(t)$	Resposta da estrutura com relação ao tempo
CAE	Computer Aided Engineering

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO</b> .....	<b>10</b>
<b>1.1</b>	<b>Objetivos</b> .....	<b>11</b>
1.1.1	Objetivo principal .....	11
1.1.2	Objetivos específicos .....	11
<b>1.2</b>	<b>Justificativa</b> .....	<b>11</b>
<b>1.3</b>	<b>Estrutura do Trabalho</b> .....	<b>12</b>
<b>2</b>	<b>REVISÃO BIBLIOGRÁFICA</b> .....	<b>13</b>
<b>2.1</b>	<b>O setor de energia elétrica no Brasil</b> .....	<b>13</b>
2.1.1	Geradores de energia elétrica .....	14
2.1.2	Geração de energia termoelétrica .....	14
2.1.3	Grupo gerador diesel .....	15
<u>2.1.3.1</u>	<u>Motor diesel</u> .....	<u>16</u>
<u>2.1.3.2</u>	<u>Alternador síncrono trifásico</u> .....	<u>17</u>
<u>2.1.3.3</u>	<u>Quadro de comando e dispositivos de controle</u> .....	<u>18</u>
<u>2.1.3.4</u>	<u>Estrutura metálica de base (Chassis)</u> .....	<u>19</u>
<b>2.2</b>	<b>Estruturas metálicas</b> .....	<b>21</b>
2.2.1	Elementos estruturais de aço .....	21
2.2.2	Aços estruturais.....	21
2.2.3	Propriedades mecânicas dos aços .....	22
<u>2.2.3.1</u>	<u>Tensão</u> .....	<u>22</u>
<u>2.2.3.2</u>	<u>Tensão de Cisalhamento</u> .....	<u>23</u>
<u>2.2.3.3</u>	<u>Vigas e tensões na flexão</u> .....	<u>24</u>
<u>2.2.3.4</u>	<u>Critérios de falha</u> .....	<u>25</u>
<u>2.2.3.5</u>	<u>A teoria de energia de distorção de von Mises-Hencky</u> .....	<u>26</u>
<b>2.3</b>	<b>Solicitações Vibratórias</b> .....	<b>28</b>
2.3.1	Análise modal.....	29
<b>2.4</b>	<b>Análise por elementos finitos (MEF)</b> .....	<b>30</b>
<b>3</b>	<b>MATERIAIS E MÉTODOS</b> .....	<b>33</b>
<b>3.1</b>	<b>Materiais utilizados</b> .....	<b>33</b>
3.1.1	Softwares utilizados .....	33
<b>3.2</b>	<b>Método utilizado</b> .....	<b>33</b>
3.2.1	Análise das necessidades da estrutura para o grupo gerador.....	33
3.2.2	Pré Processamento .....	34

3.2.3	Processamento .....	34
3.2.4	Pós-processamento .....	34
3.2.5	Fluxograma da execução do estudo .....	35
<b>4</b>	<b>RESULTADOS.....</b>	<b>36</b>
<b>4.1</b>	<b>Pré processamento.....</b>	<b>36</b>
4.1.1	Análise das necessidades da estrutura .....	36
4.1.2	Motor Diesel Perkins 1106A-70TAG2.....	36
4.1.3	Alternador trifásico WEG AG10250SI10Al.....	38
<b>4.2</b>	<b>Pré processamento.....</b>	<b>41</b>
4.2.1	Modelagem e escolha do material .....	41
4.2.2	Tratamento da geometria e discretização do modelo .....	46
4.2.3	Análise das condições de contorno para simulação estática e modal ...	48
<u>4.2.3.1</u>	<u>Condições de contorno para simulação estática .....</u>	<u>48</u>
<b>4.3</b>	<b>Processamento.....</b>	<b>51</b>
4.3.1	Simulação estática .....	51
<u>4.3.1.1</u>	<u>Simulação modal.....</u>	<u>53</u>
<b>4.4</b>	<b>Pós processamento.....</b>	<b>57</b>
4.4.1	Análise dos resultados da simulação estática.....	57
4.4.2	Otimização da estrutura .....	61
4.4.3	Análise dos resultados da Simulação Modal.....	64
<b>5</b>	<b>CONCLUSÕES.....</b>	<b>66</b>
	<b>REFERÊNCIAS .....</b>	<b>68</b>

## 1 INTRODUÇÃO

A energia elétrica é o energético de maior consumo do país, a qual corresponde a 43,4% do total da demanda brasileira. Em seguida, aponta-se os derivados de petróleo que somados atendem 28,5% da necessidade energética do país, dentre eles destaca-se o óleo diesel com 13% da demanda, utilizado na maioria no setor de transportes e também em outros setores. Um grande número de grupos geradores tipicamente utilizando como combustível, dentre ele o Diesel está instalado em diversos setores da economia (PEREIRA et al. 2005). Segundo esses mesmos autores, a utilização de grupos geradores de energia nos últimos anos vem se tornado cada vez mais comum no Brasil. A deficiência nas linhas de transmissão de energia aliada a tarifas elevadas em horários de pico de consumo, está fazendo com que as empresas e empreendedores venham procurando soluções para sua matriz energética.

No sudoeste do Paraná, região onde será realizado o trabalho, observa-se a existência de um forte setor agropecuário e avícola, além de um emergente polo industrial com expectativa de crescimento nos próximos anos. Devido à instabilidade do fornecimento de energia elétrica nesses locais, surge a necessidade de outras fontes tais como geradores movidos a Diesel ou outros combustíveis fósseis, em caso de falha de distribuição da energia elétrica.

Os equipamentos de geração de energia movidos a Diesel são compostos por quatro grandes partes: o alternador responsável por gerar a energia elétrica; o motor diesel responsável por fornecer potência de eixo ao alternador; o quadro de comando responsável pelo controle elétrico do equipamento e a estrutura metálica em que será montado. A estrutura da base, também chamada de chassis, deve suportar o peso dos componentes instalados, possuir revestimento para resistir às intempéries climáticas e ter dimensões adequadas para instalação dos componentes do produto (CLAUDIO,2011).

## 1.1 Objetivos

O trabalho tem por objetivo a modelagem e análise estrutural e modal de um Chassi para um grupo gerador Diesel, com auxílio de métodos de análise por elementos finitos.

### 1.1.1 Objetivo principal

Modelar e analisar com o uso dos MEF um Chassi para um Grupo Gerador Diesel com potência de 160 KVa, observando as tensões induzidas e o comportamento dinâmico da estrutura.

### 1.1.2 Objetivos específicos

Para atingir o objetivo principal os seguintes objetivos específicos devem ser alcançados:

- Modelar em ambiente CAD um chassi que comporte adequadamente os componentes necessários.
- Analisar as tensões induzidas e os modos de vibração na estrutura com o uso do MEF.
- Analisar os resultados do MEF procurando possíveis pontos de fragilidade estrutural, otimizando a estrutura como um todo.

## 1.2 Justificativa

Uma empresa fabricante de equipamentos, situada em Francisco Beltrão, Paraná, identifica um mercado emergente na área de fabricação de grupos geradores movidos a Diesel e tem a intenção de atuar no segmento de fabricação destes produtos, para isto necessita desenvolver o projeto de um produto. O dimensionamento correto dos componentes da estrutura metálica da base do produto garantirá uma segurança aliada a uma maior qualidade no produto final, além disso, o correto dimensionamento otimiza o custo de fabricação do componente ajudando a empresa a tornar seu produto mais competitivo no mercado.

### 1.3 Estrutura do Trabalho

O trabalho a seguir foi estruturado da seguinte maneira:

Na introdução são apresentados os objetivos do trabalho e também a justificativa para o estudo realizado.

No segundo capítulo é apresentada uma revisão bibliográfica exemplificando o uso de Grupos Geradores Diesel no Brasil e também explorando quais são os principais componentes desse tipo de equipamento.

Ainda no segundo capítulo encontramos uma explicação a respeito do uso da teoria existente no âmbito das estruturas metálicas, dando ênfase no que será utilizado para o desenvolvimento do estudo

O capítulo dois termina com uma revisão a respeito de solicitações vibratórias em equipamentos e também nos traz informações a respeito do uso do Método dos Elementos Finitos.

No terceiro capítulo encontramos os materiais que serão utilizados na realização do estudo.

No quarto capítulo são visualizados os resultados obtidos das simulações numéricas realizadas.

No quinto capítulo encontramos as conclusões do estudo.

Por fim, temos as referências que serviram de embasamento para a pesquisa.

## 2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

### 2.1 O setor de energia elétrica no Brasil

O desenvolvimento do setor elétrico brasileiro juntamente com o processo de industrialização do país no final do século XIX até meados de 1930. O Brasil nesta época é caracterizado pela atividade no setor primário da indústria, tendo como sua principal fonte de energia o carvão vegetal. Após esse período, a partir do desenvolvimento da indústria do café, observa-se um aumento no consumo de energia elétrica, tendo como resultado a publicação do Código das Águas, em 1934, o qual determina que o potencial de hidroelétrico deixa de ser do proprietário das terras e passa a ser do estado. A partir desse fato o setor hidroelétrico brasileiro desenvolve-se muito rapidamente, fazendo com que as hidroelétricas se tornem a principal fonte de energia elétrica no país (BRAGA, 2018).

O modelo atual de distribuição de energia iniciou em 1990, com um projeto de reestruturação do setor elétrico denominado RESEB. O novo modelo não conseguiu suprir a demanda, levando ao país a uma grande crise elétrica em 2001, necessitando da implementação de ajustes, com o intuito de reduzir o risco de falta de energia. Foi então, a partir de 2004, que novos ajustes ao modelo foram feitos pelo governo, com o intuito de reduzir os riscos de falta de energia e melhorar o monitoramento e controle do sistema (BRAGA, 2018).

O segmento da indústria responsável pela geração de energia elétrica é o segmento da Geração, no Brasil este segmento é bastante diversificado com mais de 3 mil empreendimentos geradores. Mais da metade em termos de quantidade são compostas por usinas termelétricas movidas a gás natural, biomassa, óleo diesel, óleo combustível ou carvão mineral, porém em termos de capacidade instalada o maior volume de energia tem a origem nas hidrelétricas de grande porte, Pequenas Centrais Hidrelétricas (PCHs) e micro usinas (BRAGA, 2018, p. 16-17).

Como observam REIS et al. (2013), o fornecimento de energia elétrica no Brasil, nos últimos anos, não tem acompanhado o crescimento da demanda, sendo detectadas instabilidades na rede de energia elétrica, sobretudo no meio rural. Por esse motivo observa-se uma grande procura por grupos geradores, na sua maioria movidos por motores a diesel, tanto em zonas rurais quanto os instalados em edificações, onde o fornecimento de energia elétrica não pode cessar, como por

exemplo em hotéis e hospitais (PEREIRA et al. 2005). Além disso a tendência é que se instale cada vez mais equipamentos desse tipo.

Justifica-se ainda a necessidade de um equipamento gerador que opere de maneira contínua, para garantir que sistemas modernos dependentes de energia elétrica disponham desse em casos emergenciais. Segundo MENDES et al (2023) a descontinuidade do fornecimento de energia pode ser desastrosa para todas as áreas, colocando em risco bens e até mesmo vidas humanas.

### 2.1.1 Geradores de energia elétrica

Como explica Dos Reis (2000), as técnicas para geração de eletricidade no mundo podem ser divididas em quatro métodos de geração de energia.

- a) A transformações de energia mecânica em energia elétrica, através do uso de turbinas acionadas por quedas d'água (hidrelétricas) ou por ação do vento (usinas eólicas).
- b) A transformação de energia solar com uso de células fotovoltaicas.
- c) A transformação de trabalho, resultado da aplicação de calor, através da utilização de máquinas térmicas, como grupos geradores movidos a combustíveis fósseis ou ainda fissão nuclear ou energia geotérmica.
- d) E ainda a transformação de trabalho com origem de reações químicas, com o uso de células de combustível.

Ainda segundo Dos Reis (2000), as fontes também podem ser divididas em renováveis e não renováveis, sendo as renováveis fontes de energia cuja reposição pela natureza acontece de forma rápida, enquanto as não renováveis demoram muito tempo, sendo que sua velocidade de uso se torna maior que a capacidade de reposição da fonte pela natureza, o que faz com essas fontes sejam passíveis de esgotamento.

### 2.1.2 Geração de energia termoelétrica

O princípio de funcionamento das centrais termoelétricas é a conversão de energia térmica em energia mecânica, que posteriormente será convertida em energia elétrica (DOS REIS 2000).

Dos Reis (2000), explica ainda que os combustíveis mais comuns para geração de energia termoelétrica são os derivados de petróleo, carvão mineral, o gás

natural, fontes nucleares e biomassa. Atualmente, no planeta a maioria dos combustíveis utilizados nas termoeletricas são os derivados de petróleo, carvão mineral e o gás natural, que correspondem a 80% da energia ofertada.

No Brasil, apesar da matriz energética ser dominada pela energia hidrelétrica existem sistemas de geração termoeletricas. Observa-se que alguns sistemas estão instalados em regiões isoladas no Norte do país, principalmente na região Amazônica. Toma-se como exemplo, o estado de Roraima, para o abastecimento das regiões do interior, a CER (Companhia Energética de Roraima) possui 97 unidades diesel elétricas de pequeno porte (FROTA et al, 2004).

### 2.1.3 Grupo gerador diesel

Grupo Gerador Diesel, também chamado de Diesel-Generator, é o nome dado ao conjunto Motor Diesel, somado a um gerador de corrente alternada, comumente chamado de alternador, normalmente possuindo dispositivos de controle para sua operação e controle autônomo de funcionamento, Na Figura 1, podem ser observados os componentes, que são montados em cima de uma estrutura, geralmente metálica, para resistir ao peso dos componentes instalados. A partir do movimento de rotação fornecido pelo Motor Diesel e um Alternador elétrico, acoplado mecanicamente ao motor, o grupo gerador produz energia elétrica que pode ser aproveitada para uso (CLAUDIO, 2011).

**Figura 1 - Grupo Gerador Diesel da Fabricante STEMAC**



Fonte: Stemac (2021)

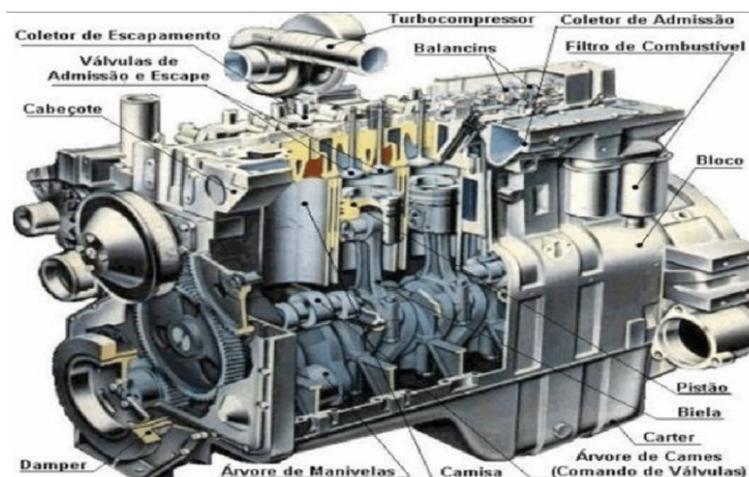
De acordo com Fritzen (2014), os dispositivos de controle utilizados comumente, servem para monitoramento dos dados de funcionamento do motor, como pressão de óleo, temperatura do líquido de arrefecimento, velocidade de funcionamento, além da leitura dos dados elétricos do alternador durante a operação do grupo gerador. Os dispositivos de controle geralmente ficam dentro de um quadro de comando acoplado à estrutura e em comum com a utilização de módulos de controle digitais, que monitoram os parâmetros de operação do sistema.

### 2.1.3.1 Motor diesel

Como explica Cláudio (2011), o nome Motor Diesel tem sua origem na homenagem a Rudolf Diesel, engenheiro francês que construiu o primeiro modelo. O motor Diesel consiste em uma máquina térmica alternativa de combustão interna, que possui a função de fornecer força motriz de acionamento, podendo ser de quatro ou dois tempos, sendo o primeiro modelo o mais encontrado nos equipamentos convencionais. O diesel injetado na câmara de combustão é comprimido e entra em autoignição devido à alta pressão na câmara de combustão. O movimento alternado dos pistões devido à explosão causa na árvore de manivelas (virabrequim) um movimento de rotação fornecendo assim, potência de eixo para a aplicação desejada.

Para entender a estrutura de um motor Diesel, é importante entender a figura abaixo, a qual demonstra uma vista em corte de um motor Ciclo Diesel do Fabricante Cummins.

**Figura 2 - Vista em corte de um motor Ciclo Diesel-Fabricante Cummins Modelo 8CT8.3.**



Fonte: KUNZ (2013, p. 44)

Segundo Pereira (2011), os motores Diesel podem ser divididos em quatro aplicações principais: veiculares, industriais, marítimos e estacionários. Os veiculares são destinados ao acionamento de veículos pesados como caminhões e ônibus; os industriais, são destinados a equipamentos utilizados na construção tais como tratores e carregadeiras; os marítimos encontrados em barcos e máquinas de uso naval, e, por fim o último grupo, o dos motores estacionários, destinados para o acionamento de máquinas que exigem rotações constantes, como geradores, máquinas de solda, bombas, além de outras aplicações.

As diferenças básicas entre os diversos tipos de motores Diesel residem, essencialmente, sobre os sistemas que os compõem. Todos funcionam segundo as mesmas leis da termodinâmica, porém as alterações de projeto que se efetuam sobre os sistemas e seus componentes resultam em características de operação que os tornam adequados para aplicações diferentes (PEREIRA, 2011, p. 1).

Portanto, existem diferenças entre os motores Diesel conforme sua aplicação: os destinados ao acionamento de veículos pesados como caminhões e ônibus; os industriais, são destinados a equipamentos utilizados na construção; os marítimos encontrados em barcos e máquinas de uso naval, e, por fim o último grupo, o dos motores estacionários, destinados para o acionamento de máquinas que exigem rotações constantes.

#### 2.1.3.2 Alternador síncrono trifásico

O Alternador Síncrono Trifásico, exemplificado na Figura 3, é utilizado na produção de energia elétrica em grandes sistemas elétricos ou em pequenas aplicações isoladas. O alternador trata-se de uma máquina elétrica capaz de converter energia mecânica em energia elétrica, podendo ser acionada por diversos tipos de equipamentos. O rotor da máquina elétrica deve estar conectado mecanicamente a um equipamento que forneça potência de eixo rotacional a partir disso ela induz uma corrente elétrica, que é utilizada para a alimentação da rede elétrica (GUEDES, 1996).

**Figura 3 - Alternador Síncrono Trifásico Marca WEG Modelo GTA202AI34.**



**Fonte: WEG S.A., (2020)**

### 2.1.3.3 Quadro de comando e dispositivos de controle

Como explica Damasceno (2020), o quadro de comando comporta os sistemas de controle de energia e de monitoramento do grupo gerador, cujos equipamentos comportados em seu interior dependem da necessidade do projeto, como o tipo de funcionamento (manual ou automático), além de dispositivos de controle e transferência de rede. Este módulo tem a função de controlar o funcionamento do equipamento.

Atualmente no mercado existem diversos tipos de módulos para diferentes aplicações, como partida manual/automática do grupo gerador (auto Start), partida manual/automática do grupo gerador com detecção de falha na rede (Auto Mains Failure), controle automático/manual da chave de transferência (ATS – Auto Transfer Switch), paralelismo e sincronismo (Synchronising & Lead Sharing Control Module). (DAMASCENO, 2020, p.2)

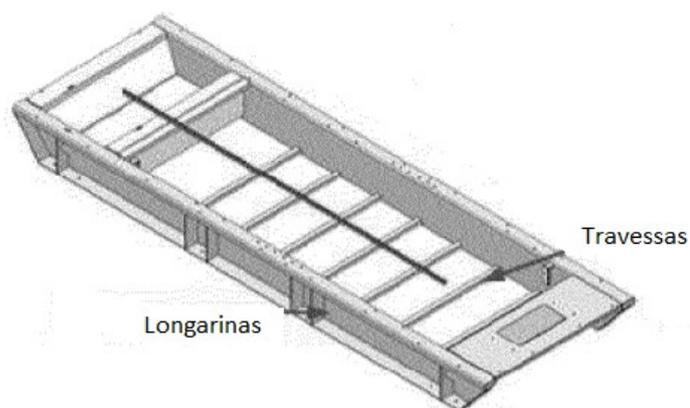
Além disso, o módulo serve também para o controle do funcionamento do motor, a fim de evitar falhas que possam causar danos ao equipamento. O autor supracitado ainda explica que além disso estão presentes no quadro de comando os dispositivos necessários para a comutação da rede, tendo finalidade de comutar as fontes de alimentação dos circuitos consumidores, separando-as sem a possibilidade de ligação simultânea. Toda instalação onde se utiliza um grupo gerador como fonte alternativa de energia se utiliza de um controle de transferência para sistema gerador-rede.

Os quadros de transferência utilizados podem ser manuais. Sendo este modelo a concepção mais simples de modo de controle, e apresentam uma facilidade de construção e de instalação, apesar disso se limitam ao fato da necessidade de um operador capacitado no momento da falha da rede, ou da necessidade do uso. O sistema em questão já está um pouco obsoleto devido ao baixo custo das tecnologias de controle e transferência automáticas. Atualmente a forma mais usual encontrada são os quadros de transferência automáticos. Estes monitoram a rede, mudando o circuito da carga de uma fonte de alimentação para a outra, este sistema permite que o grupo gerador seja automaticamente acionado quando a falta de fornecimento de rede ocorre.

#### 2.1.3.4 Estrutura metálica de base (Chassis)

Os grupos geradores existentes no mercado são montados sobre uma estrutura metálica, fabricada para abrigar os componentes necessários para a montagem do produto. A estrutura geralmente é fabricada a partir do corte, dobra e solda de chapas de aços estruturais de baixo carbono ou ainda pela utilização de perfis metálicos comerciais utilizados na construção metalmeccânica. O chassi é projetado para suportar as cargas estáticas aplicadas a ele devido aos componentes instalados no produto, deve resistir aos momentos fletores e torsores ocasionados. (LEANDRO, 2019). Na Figura 4, pode-se observar uma imagem de um chassi tipo escada.

**Figura 4 - Chassi de um Grupo Gerador da Marca STEMAC**



**Fonte: Patente publicada pela marca STEMAC (2017)**

Segundo Bennet (2009), as longarinas são responsáveis por suportar as cargas verticais, devendo possuir uma alta rigidez flexional; já as travessas são responsáveis por resistir à torção adicionando rigidez à estrutura.

## 2.2 Estruturas metálicas

### 2.2.1 Elementos estruturais de aço

Segundo Fakury, Silva e Caldas (2016), elementos estruturais de aço são empregados em projetos de estruturas metálicas com a finalidade de resistir estruturalmente a esforços de tração e compressão, visto que, esses materiais se comportam muito bem sob essas solicitações. É comum a utilização desses elementos como treliças, pilares e vigas. O aço é o material que possui a maior razão entre a resistência e seu peso específico, sendo necessárias seções transversais menores que de outros materiais para suportar as mesmas solicitações, o aço por ser tratar de um material homogêneo e isotrópico e possui características mecânicas bem definidas, com um grau de confiabilidade alto.

### 2.2.2 Aços estruturais

O aço pode ser definido como uma liga metálica, composta por dois principais constituintes, o ferro e o carbono, além de outros elementos de liga secundários. “Aço-Carbono é a liga de ferro-carbono contendo geralmente entre 0,008% até aproximadamente 2,11% de carbono, além de certos elementos residuais, resultantes do processo de fabricação” (CHIAVERINI, 1977, p.21).

Chiaverini (1977) explica que ainda podem ser encontrados os aços ligados, estes são ligas que sofrem adição de outros elementos de liga como tungstênio, cromo e níquel, com o objetivo de alterar algumas propriedades do aço de acordo com a aplicação desejada.

Na construção de estruturas metálicas é comum a utilização de aço carbono com baixo e médio teor de carbono, os chamados aços estruturais e possuem propriedades mecânicas ideais para este tipo de aplicação. Os principais requisitos necessários aos aços empregados para esse fim são: elevada tensão de escoamento, elevada tenacidade, boa soldabilidade, bom desempenho em operações como corte, furação e dobra. Os aços carbono empregados atendem estes requisitos, pois podem ser soldados sem alteração da sua estrutura química. Esses materiais também apresentam bom desempenho em operações de corte com chama ou corte a plasma, além de terem uma ductilidade aceitável para o processo de dobramento, sendo uma

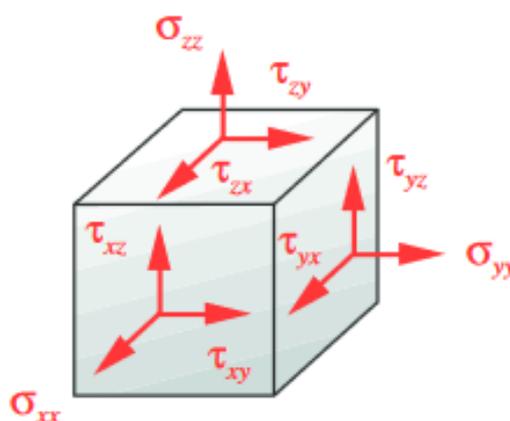
operação muito utilizada na indústria de fabricação metal mecânica (IMIANOWSKY; WALENDOWSKY; 2017).

### 2.2.3 Propriedades mecânicas dos aços

#### 2.2.3.1 Tensão

A tensão pode ser definida como a força por unidade de área. Tensão em um corpo geralmente apresenta uma distribuição continuamente variável dentro de uma parte continua no material. Todo elemento infinitesimal do material pode sofrer a ação de diferentes tensões atuando ao mesmo tempo, desta forma é comum observar as tensões atuantes em elementos muito pequenos dentro do corpo geralmente modelados como cubos.

**Figura 5 - Cubo infinitesimal com as tensões aplicadas ao elemento**

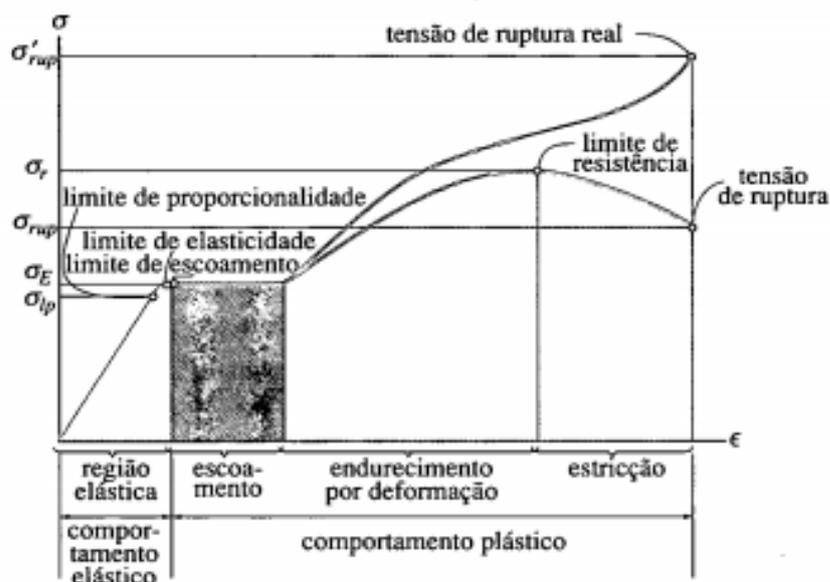


**Fonte: Norton, 2013, p. 142**

A partir da observação do elemento infinitesimal em formato de cubo, observa-se a ocorrência de dois tipos de tensão diferentes atuantes nas faces desse elemento, as tensões normais, atuando perpendicularmente a face do cubo, sendo que essas tendem a tracionar ou comprimir os elementos. Já as tensões cisalhantes, atuam na direção paralela as faces, tendendo a distorcer o cubo em formato romboidal.

Como explica Fakury, Silva e Caldas (2016), para obtenção das propriedades do comportamento do aço sob tensão normal, é realizado o ensaio de tração, com corpos de prova, esse se constitui em um dos ensaios mais importantes para o estudo da área.

Figura 6 - Diagrama tensão-deformação para um material dúctil



Fonte: Hibeller (2010, p.64)

Com os dados obtidos é determinada a tensão nominal ou de engenharia, dividindo a carga aplicada  $P$  pela área transversal  $A_0$  de acordo com a equação (1) (HIBELLER, 2010).

$$\sigma = \frac{P}{A_0} \quad (1)$$

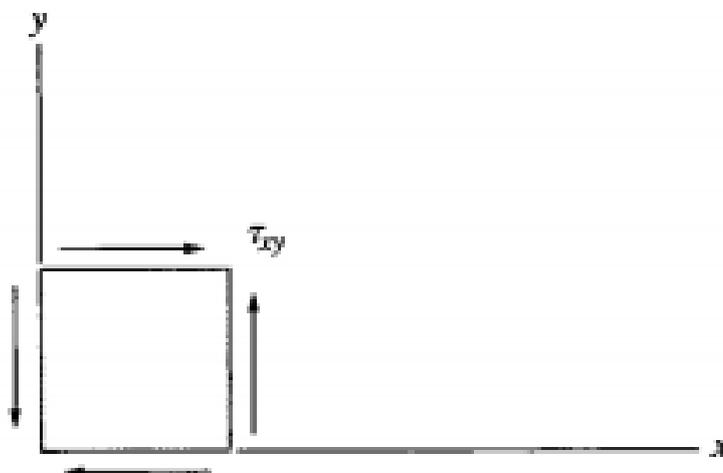
Na Figura 6, observa-se diversos pontos no diagrama tensão-deformação. Segundo Fakury, Silva e Caldas (2016), a região elástica caracteriza-se pelo trecho reto que se inicia na origem do gráfico e tem seu final em  $\sigma_e$ , conhecida como tensão de escoamento e, a partir desse momento um material dúctil começa a sofrer deformações devido às tensões aplicadas em sua seção transversal. Os projetos de estrutura metálica devem ser executados de maneira que as tensões devido ao carregamento na estrutura não ultrapassem  $\sigma_e$ .

### 2.2.3.2 Tensão de Cisalhamento

Forças cisalhantes causam no material uma distorção uniforme, o cisalhamento puro ocasiona no material esforços reativos iguais nas quatro faces do elemento, fazendo com que seja causada uma tensão interna no material de acordo com a equação (2);

$$\tau = \frac{V}{A_0} \quad (2)$$

**Figura 7 - Reações ocasionadas no material devido a forças cisalhantes para um elemento plano**



**Fonte: Hibeller (2010, p.82)**

Para o cisalhamento, através de ensaios semelhantes aos ensaios de tração, é possível encontrar a constante  $G$ , denominada módulo de elasticidade ao cisalhamento ou módulo de rigidez. Essa constante varia normalmente entre metade a cinco oitavos da resistência de escoamento para tensão normal (HIBELLER, 2010).

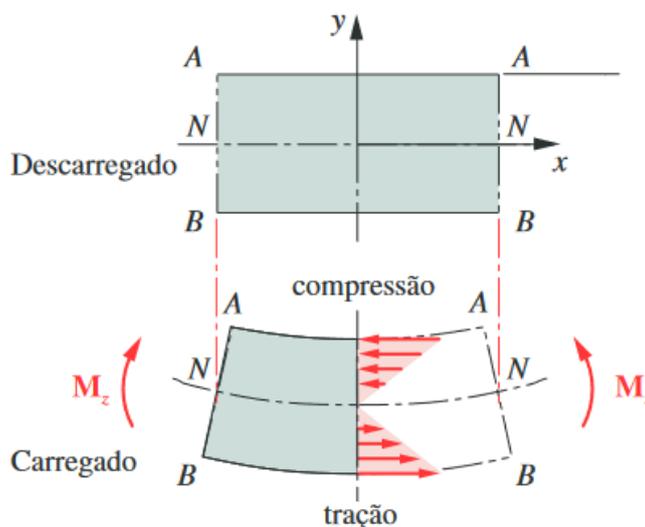
### 2.2.3.3 Vigas e tensões na flexão

Vigas são elementos muito comuns em estruturas e máquinas de todos os tipos. Qualquer peça apoiada sujeita a esforços transversais a seu comprimento atuará como uma viga,

As vigas geralmente são sujeitas a uma combinação de tensões normais e de cisalhamento distribuídas em suas seções transversais. O conhecimento das distribuições dos carregamentos é benéfico ao estudo das estruturas, pois permite escolher os locais onde ocorrem as solicitações máximas para definir os pontos críticos de análise.

A condição mais comum de solicitação de vigas é a combinação de força cortante e momento fletor aplicados a uma seção particular (Norton, 2013).

**Figura 8 - Seção de uma viga sob o carregamento de flexão pura**



Fonte: Adaptado de Norton, 2013 , p.156

#### 2.2.3.4 Critérios de falha

Segundo Norton (2013) quando se trata da falha de um componente, pode-se dizer que este perdeu a função para qual foi projetado, devido a distorções e deformações grandes o suficiente para que ele perdesse a sua funcionalidade. Uma peça pode igualmente perder a sua função devido a uma ruptura repentina, separando-se, ambas são falhas, porém ocasionadas por mecanismos diferentes.

De forma geral, pode-se dizer que em materiais dúcteis e isotrópicos, as falhas causadas por carregamentos estáticos, falhas estas que são determinadas pelas tensões de cisalhamento, enquanto em materiais frágeis estes são limitados pela tensão normal. Essa diferença entre os tipos de materiais e suas falhas exige a utilização de diferentes teorias de falhas. Outro fator que influencia na análise é o tipo de carregamento, cargas estáticas, aplicadas lentamente e que geralmente são constantes ao longo do tempo, requerem um tipo de análise, enquanto cargas dinâmicas, causadas por exemplo, por impactos o por cargas variadas repetidamente ao longo do tempo requerem uma análise completamente diferente, pode-se citar ainda algumas causas de falha comuns, como cargas de serviço, tensões não previstas, material inadequado, utilização inadequada do produto ou dimensionamento do projeto inadequado.

### 2.2.3.5 A teoria de energia de distorção de von Mises-Hencky

Na prática, observa-se que o rompimento de materiais dúcteis ocorrem efetivamente quando os mesmo são carregados acima de seu limite de ruptura, entretanto, como se pode observar no diagrama tensão-deformação, o limite de escoamento dos materiais dúcteis é significativamente menor do que o limite de ruptura, portando quando tratamos de componentes mecânicos feitos a partir de materiais dúcteis como o aço, por exemplo, a falha dos componentes acontecerá geralmente quando a tensão aplicada no material exceder a tensão de escoamento.

Várias foram as teorias criadas para formular e explicar estas falhas, entretanto a teoria de von-Mises-Hencky é considerada a mais precisa, e é a mais utilizada para análise estática de materiais dúcteis. (Norton,2013).

A teoria da energia de distorção prevê que ocorre escoamento quando a energia de deformação por distorção em uma unidade de volume alcança ou excede à energia de deformação por distorção por unidade de volume correspondente ao escoamento sob tração ou compressão do mesmo material. (SHIGLEY, 2005, p.261)

Desta forma, ao analisar uma situação que envolve uma combinação de tensões, em um ponto, a teoria da energia de distorção de von Mises-Hencky, apresenta um bom meio de analisar o estado de tensões apresentado. Utilizando a tensão equivalente de von Mises ( $\sigma'$ ), que é definida como a tensão de tração uniaxial que criaria a mesma energia de distorção que é criada pela combinação atual das tensões aplicadas, isso permite tratar casos de tensão multiaxial como se fossem casos de tensão de tração pura, facilitando a análise.

A equação de von Mises se expressa em termo de tensões planas é encontrada na Equação 3.

$$\sigma' = \sqrt{\sigma_x^2 + \sigma_y^2 - \sigma_x\sigma_y + 3\tau_{xy}^2} \quad (3)$$

Onde  $\sigma_x$ ,  $\sigma_y$  e  $\tau_{xy}$  são respectivamente as tensões em x e y e a tensão de cisalhamento no plano xy.

Já para o caso de tensões tridimensionais a equação de von Mises é encontrada na equação 4.

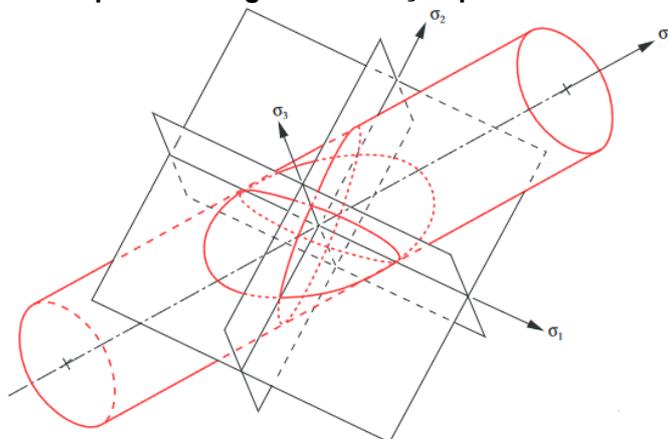
$$\sigma' = \sqrt{\sigma_1^2 + \sigma_2^2 + \sigma_3^2 - \sigma_1\sigma_2 - \sigma_2\sigma_3 - \sigma_1\sigma_3} \quad (4)$$

Tratando-se de projeto, encontramos um fator de segurança escolhido para que o estado de tensões esteja devidamente dentro da zona de trabalho do material escolhido, sendo assim, com FS sendo o fator de segurança e  $S_y$  a tensão de escoamento do material.

$$\frac{S_y}{FS} = \sqrt{\sigma_1^2 + \sigma_2^2 + \sigma_3^2 - \sigma_1\sigma_2 - \sigma_2\sigma_3 - \sigma_1\sigma_3} \quad (5)$$

Deste modo, ao aplicar a teoria da distorção escolhendo um fator de segurança FS, é de se esperar que o ponto do material analisado esteja dentro da região aceitável da elipse de falha, como se pode observar na Figura 9, tornando o componente seguro para falha estática.

**Figura 9 - Elipse de energia de distorção para o caso tridimensional**



**Fonte: Norton (2013)**

### 2.3 Solicitações Vibratórias

Segundo Norton (2013), quando sistemas estruturais são solicitados dinamicamente surgirão esforços vibratórios, que irão sobrepor os esforços teóricos previstos em projeto, as vibrações de um sistema seriam eliminadas apenas se a rigidez dos elementos fossem infinitas, na prática, os elementos de qualquer material possuem certa elasticidade, e comportam-se como molas quando sujeitos a forças, as deformações resultantes podem gerar forças adicionais associadas as vibrações dos elementos.

Qualquer corpo sólido possui intrínseco ao seu estado uma frequência natural de vibração, quando a frequência de excitação externa de uma máquina ou de uma estrutura coincide com esta frequência, observa-se a ocorrência de um fenômeno denominado ressonância. Este fenômeno pode ocasionar falhas catastróficas, pois resulta em deflexões excessivas, originando falhas por fadiga, resultante da variação cíclica da tensão induzida. Além disso, componentes como rolamentos sofrem maior desgaste devido à ocorrência de vibrações. Motores a combustão interna induzem vibrações devido ao desbalanceamento inerente aos motores, as estruturas projetadas para abrigar esses equipamentos devem ter sua frequência natural de vibração diferentes das frequências de operação do equipamento. (RAO, 2008).

Rao (2008) ainda explica que, comumente o único modo de determinar medições para dados vibratórios precisos é por meio de testes. Muitas empresas utilizam modelos realistas para tentar determinar o comportamento vibratório de seus produtos a fim de evitar problemas causados pelas vibrações mecânicas. Com o avanço da tecnologia, tornou-se comum a utilização da análise por elementos finitos para determinação dos efeitos vibratórios, devido à dificuldade da realização de testes reais para determinação dos modos oscilatórios.

Ainda segundo Norton (2013), sistemas reais podem possuir infinitas frequências naturais e diversos modos de vibração, sendo que a abordagem mais completa para o cálculo dessas frequências é pela utilização do método de elementos finitos, as tensões, deflexões e modos de vibração calculados por esse método estão limitadas pelo tempo e recursos computacionais disponíveis para o cálculo.

### 2.3.1 Análise modal

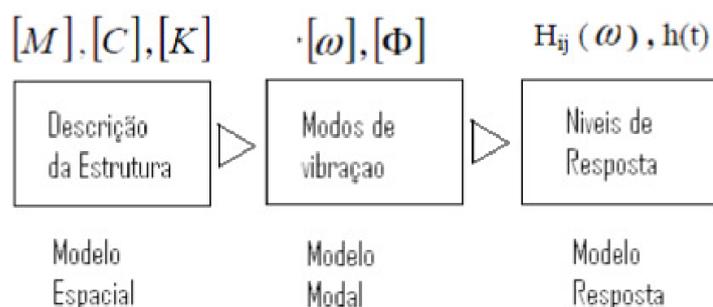
A análise modal é um método de análise que aborda fenômenos vibratórios utilizando técnicas numéricas e experimentais, tem como função a obtenção de um modelo numérico que representa o comportamento dinâmico de um componente ou estrutura, analisando suas características naturais, frequências, amortecimento e modos de vibração. A análise modal detalhada permite determinar as frequências naturais e os modos de vibração da estrutura, cuja análise pode se tornar extremamente complexa dependendo da geometria do componente, pois é comum a utilização do método de elementos finitos (MEF) para determinar os as frequências naturais e os modos de vibração da estrutura. (SALGADO,2012).

Ainda segundo Salgado (2012) as frequências naturais representam a taxa a qual a estrutura oscila livremente, pode-se dizer que elas representam o quanto a estrutura vibra mesmo que não haja mais excitação sobre ela. Estas frequências são funções diretas da rigidez, e inversas a massa da estrutura, são designadas geralmente por um número real positivo com a unidade mais comum sendo o Hertz (Hz). Um componente ou estrutura possui diversas frequências naturais.

Já os modos de vibração são uma forma como a estrutura vibra, cada frequência natural apresentará um perfil de vibração diferente. A vibração fará com que a estrutura sofra uma deformação, esses deslocamentos podem provocar uma um mau funcionamento parcial ou total da estrutura, causando riscos aos utilizadores do equipamento.

A análise modal teórica consiste em a partir do modelo espacial da estrutura, encontrar o modelo matemático que descreve os modos de vibração e por fim encontrar as repostas (Figura 10).

**Figura 10 - Análise modal teórica de um sistema**



Fonte: Salgado, J. M. D. S. O. (2012)

Sendo:

[ M ] – Matriz de Massa

[ C ] – Matriz de Amortecimento

[ K ] – Matriz de Rigidez

[  $\omega$  ] – Matriz de frequências naturais

[  $\Phi$  ] – Matriz Modal

$H_{ij}(\omega)$  – Função de Resposta de frequência

$h(t)$  – Resposta da estrutura com relação ao tempo

Ao utilizar o método dos elementos finitos, pode-se utilizar a alta capacidade computacional dos softwares para gerar as matrizes e computar as respostas necessárias, isso faz com que se possa encontrar respostas para problemas que seriam muito complexos para serem analisados de forma manual.

#### **2.4 Análise por elementos finitos (MEF)**

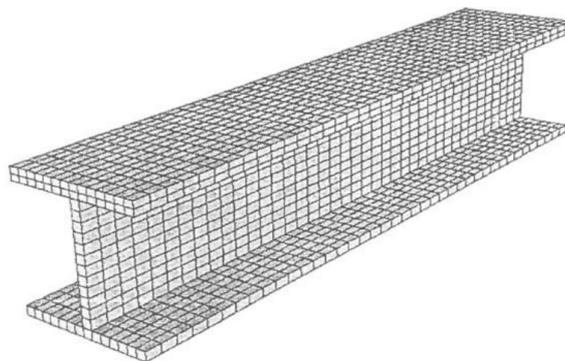
No exercício da engenharia, na maioria das vezes, o engenheiro é confrontado diante de problemas técnicos com grande complexidade de resolução, na área estrutural isto é comum. O desenvolvimento analítico de cálculos estruturais, baseados nas teorias clássicas de mecânica geral, fornece soluções com grande exatidão. Apesar disso, as estruturas reais são majoritariamente muito complexas para serem analisadas de forma analítica, para resolução completa o problema muitas vezes precisa ser simplificado, resultando em cálculos pouco acurados. Para solucionar esses empasses foi desenvolvido o Método dos Elementos Finitos. (ALVES, 2013).

Com a popularização do uso do computador, a área de estudo dos elementos finitos passou por grande avanço da década de 60, e passou a ser uma prática muito comum no exercício da engenharia, possibilitando a análise de estruturas mais complexas, sujeitas a diversos tipos de carregamentos e constituídas de mais de um material. (AZEVEDO,2003)..

Como explica Alves (2013), O MEF, divide um corpo contínuo em um número finito de elementos, conectados entre si por pontos discretos, conhecidos como nós. Um modelo deve ser construído para representar o problema em questão, sendo que muitas vezes são necessárias algumas simplificações devido ao alto custo computacional envolvido em algumas aplicações, é possível definir o MEF, como um

modelo de solução aproximada de equações diferenciais, que possibilita a simulação de situações reais. A escolha do formato do elemento a ser utilizado na análise depende da forma geométrica e da situação analisada.

**Figura 11 - Viga com uma malha de elementos quadráticos.**



**Fonte: Adaptado de Alves (2013), p. 15**

Elementos bidimensionais são utilizados geralmente quando duas das três dimensões são excessivamente maiores que as outras, sendo recomendável o seu uso quando se trabalha com cascas ou placas, pois esses elementos possuem nós nas arestas e nos vértices, seu equacionamento é descrito por uma equação quadrática, aumentar a ordem do elemento aumenta a acurácia do resultado do experimento, a custo de, um aumento significativo no esforço computacional, deve-se analisar qual grau de elemento será utilizado buscando um resultado satisfatório com um tempo de processamento aceitável.(KÖHLER,2018). Na tabela 1 podemos observar alguns tipos de elementos bidimensionais.

**Tabela 1 - Tipos de elementos bidimensionais**

Elemento	Forma	Ordem	Número de nós	Graus de liberdade
T3	Triangular	Primeira/Linear	3	6
Q4	Quadrilátero	Primeira/Linear	4	8
T6	Triangular	Segunda/Parabólico	6	12
Q8	Quadrilátero	Segunda/Parabólico	8	16

**Fonte: Adaptado de ALVES (2003)**

Para estruturas tridimensionais, como estruturas de chapas metálicas, utiliza-se elementos bidimensionais com seis graus de liberdade por nó, sendo estes os deslocamentos em x, y e z, e a rotação em x, y e z, são chamados de elementos de

placa. Elementos de placas são sujeitados com cargas perpendiculares a seu plano, apresentando comportamento de flexão, esses elementos aplicam-se idealmente para superfícies planas e de espessura constante.

Ainda segundo Alves (2013), o MEF de forma geral sinaliza que quanto maior o número de elementos utilizados, melhor e mais acuradas seriam as respostas. Apesar disso, aumentar excessivamente o número de elementos ocasiona um custo computacional muito alto, e, durante a aplicação do MEF pode-se observar que a partir de um certo número de elementos a resposta tem pouca variação. Na prática para contornar esse problema são executados testes de convergência de malha, com objetivo de identificar o ponto em que os elementos presentes na desratização são suficientes para gerar bons resultados.

### **3 MATERIAIS E MÉTODOS**

#### **3.1 Materiais utilizados**

Neste item são descritos os materiais e equipamentos utilizados para a análise da estrutura metálica do grupo gerador.

##### **3.1.1 Softwares utilizados**

Para a modelagem da estrutura em ambiente CAD foi utilizado o software SolidWorks®, para a análise das tensões na estrutura e dos modos de vibração do produto será utilizado o software Ansys®.

#### **3.2 Método utilizado**

Para a formulação deste trabalho a estrutura foi analisada, utilizando o método de elementos finitos com auxílio da tecnologia CAE, bem como os softwares descritos no item 3.1.1.

A utilização do método de elementos finitos pode ser dividida em três etapas principais, o pré-processamento, processamento e o pós-processamento. Essas etapas possibilitam conhecer o comportamento físico da estrutura, modelar a estrutura em um ambiente CAD de maneira adequada, tratar a geometria obtida para apresentar melhores resultados, seguidos de uma discretização da geometria e, por fim, um modelo numérico que a partir das condições de contorno gera os resultados, que por fim poderão ser analisados.

##### **3.2.1 Análise das necessidades da estrutura para o grupo gerador**

Para a modelagem em ambiente CAD do componente, foram estudadas as necessidades do equipamento, considerando os componentes que formam um Gerador Diesel, após encontrados os itens constituintes a estrutura foi modelada de forma a comportar os equipamentos do grupo gerador Diesel.

### 3.2.2 Pré Processamento

Nesta etapa a estrutura foi modelada em ambiente CAD, utilizando o SolidWorks®. Após isso foi definido o material aplicado ao modelo apresentando suas propriedades mecânicas, seguindo posteriormente com o tratamento da geometria, prosseguindo com a discretização da mesma utilizando o software Ansys®, gerando a malha adequada para análise. Por fim, foram analisadas as condições de contorno devido aos carregamentos da estrutura.

### 3.2.3 Processamento

Utilizando o Software Ansys® foram realizados os cálculos numéricos do modelo, sendo realizadas a análise estática utilizando a teoria da energia de distorção de von Mises-Hencky, e a análise dos modos de vibração da estrutura (análise modal).

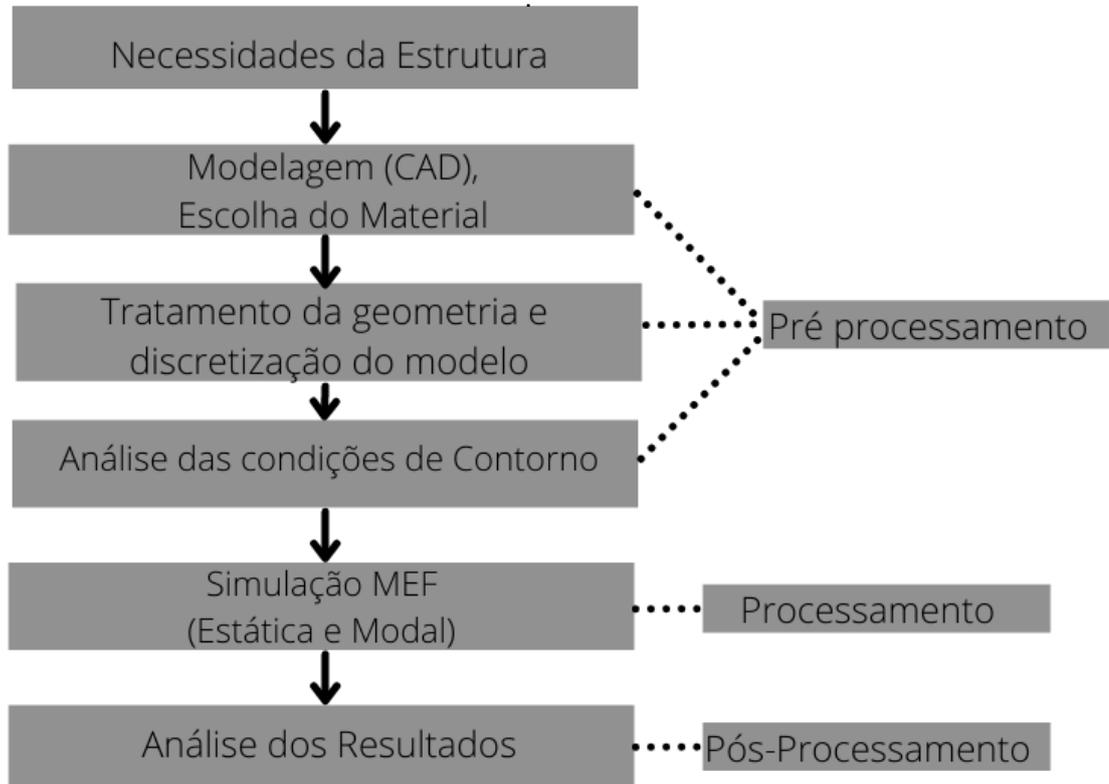
### 3.2.4 Pós-processamento

No pós-processamento foram analisados os resultados das duas simulações, sendo que na estática, observamos os pontos críticos de concentração de tensão, bem como os coeficientes de segurança do projeto, desta forma foi possível analisar possíveis pontos de falha na estrutura. Em segundo plano, serão analisados os modos de vibração da estrutura encontrados na análise modal, onde se pode então, a partir das frequências naturais obtidas, observar a relação entre estas frequências e a frequência de operação do equipamento gerador, para garantir que estrutura proposta não tenha suas frequências naturais coincidentes com a frequência de operação do Motor Diesel.

### 3.2.5 Fluxograma da execução do estudo

A Figura abaixo mostra o fluxograma que representa a execução do trabalho (Figura 12).

**Figura 12 - Fluxograma de execução do trabalho**



**Fonte: Autoria Própria (2022)**

## 4 RESULTADOS

### 4.1 Pré processamento

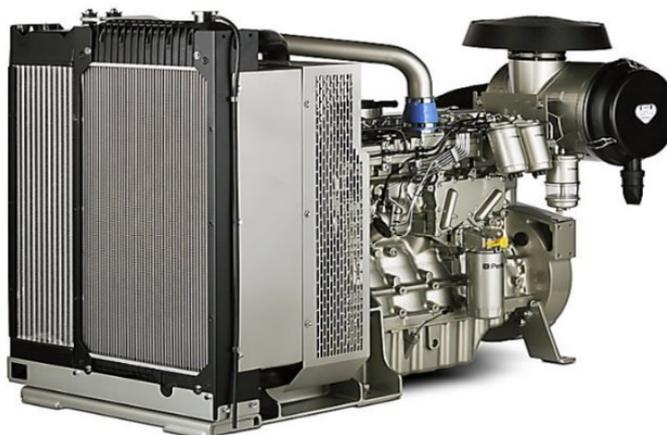
#### 4.1.1 Análise das necessidades da estrutura

Ao analisar um grupo gerador diesel, pode-se observar a ocorrência dos dois componentes principais da estrutura, o motor diesel e o alternador, ambos tratam-se de máquinas robustas com peso elevado, o motor Diesel fornece potência de eixo para a máquina elétrica que por sua vez irá gerar a energia elétrica que poderá ser utilizada. Nesse capítulo serão apresentados os modelos tanto do alternador, quanto do motor, que serão utilizados na construção do grupo gerador, e que a estrutura, que será modelada posteriormente, deverá comportar.

#### 4.1.2 Motor Diesel Perkins 1106A-70TAG2

A máquina de acionamento do grupo gerador em questão é um motor diesel estacionário, do fabricante Perkins, modelo 1106A-70TAG2, que opera em 1800 rpm, com 6 cilindros em linha e uma capacidade de 7.01 litros, com potência bruta de 171.8 Kw, e peso estimado em 788 kg a seco, ou seja, sem considerar os fluidos de arrefecimento e o óleo do cárter, sendo o peso com todos os fluídos de aproximadamente 822 kg. Podemos observar o motor da Figura 13.

**Figura 13 - Motor Perkins 1106A-70TAG2**



Fonte: 1106A-70TAG2- 1800 RPM Technical Sheet, 2013

A Tabela 2 abaixo mostra alguns outros dados referentes ao motor.

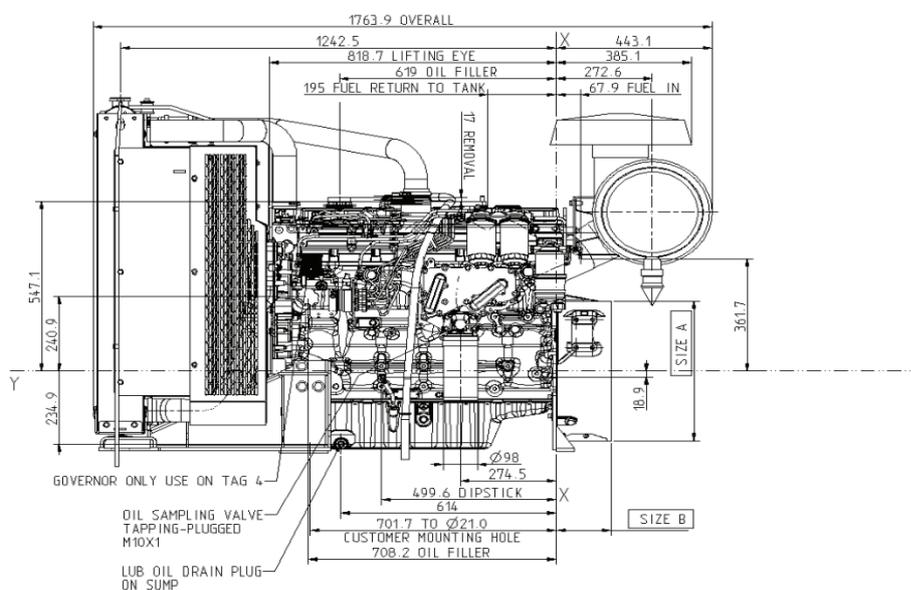
**Tabela 2 - Ficha Técnica do Motor**

Dados Técnicos	
Número de Cilindros	6
Arranjo dos cilindros	Em linha
Ciclo	Diesel, 4 tempos
Sistema de Alimentação	Turboalimentado
Sistema de Combustão	Injeção Direta
Taxa de Compressão	16:01
Capacidade Cúbica	7.01 l
Altura	1142mm
Comprimento	1763mm
Largura	756mm

**Fonte: Perkins (2013)**

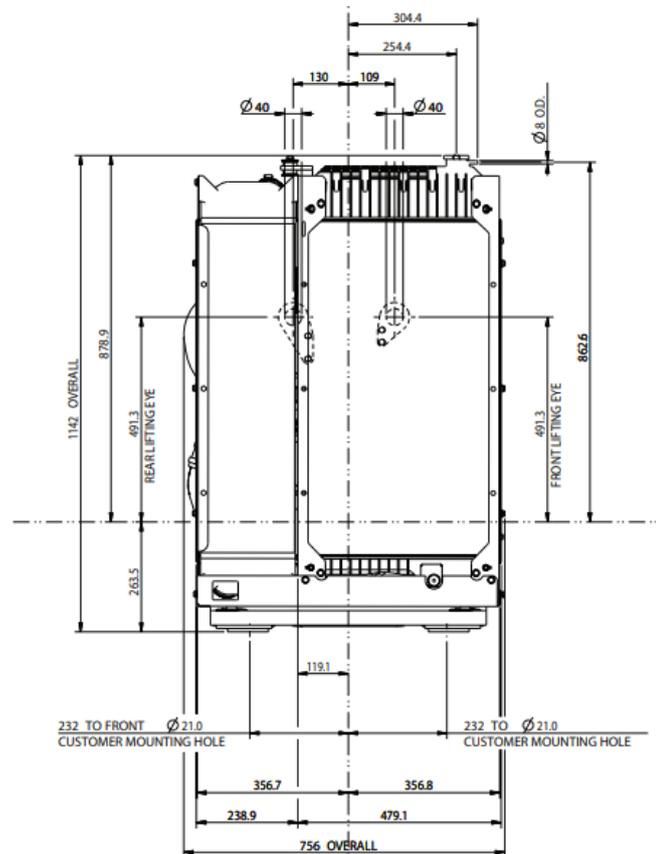
Para a modelagem da estrutura em questão se faz necessário, além das informações a respeito das características do equipamento, obter informações a respeito das características geométricas do motor, considerando onde estão os apoios para montagem nas Figuras 14 e 15, pode-se observar as principais dimensões do componente.

**Figura 14 - Vista Lateral Esquerda**



**Fonte: Perkins (2013)**

**Figura 15 - Vista Frontal**



**Fonte: Perkins (2013)**

Não foram encontradas informações a respeito do centro de massa do equipamento nas fontes encontradas.

#### 4.1.3 Alternador trifásico WEG AG10250SI10AI

Para a construção do grupo gerador, a máquina acionada em questão trata-se de um alternador trifásico da marca WEG modelo AG10250SI10AI (Figura 16)

**Figura 16 - Alternador Síncrono Trifásico modelo AG10250SI10AI**



**Fonte: WEG S.A (2022)**

Trata-se de um alternador síncrono, trifásico com potência de aproximadamente 160 KVA, que deve operar a uma velocidade síncrona de 1800 RPM, com massa de 644kg. As Tabelas 3 e 4 mostram alguns outros dados do componente.

**Tabela 3 - Dados do Alternador**

Grau de proteção	IP21
Refrigeração	IC01
Tipo de excitação	Brushless com bobina auxiliar
Forma construtiva	B15T
Disco de acoplamento	SAE 11,5
Tipo de Flange	SAE 2
Tipo do pólo	Saliente
Classe de isolamento	180°C (H)
Carcaça (IEC)	250
Plano de pintura	207A
Configuração de operação	OPERAÇÃO EM PARALELO COM REDE
Cor Acabamento	PRETO FOSCO
Fornecimento do regulador de tensão	Dentro da caixa de ligação do Regulador de Tensão

**Fonte: WEG S.A (2022).**

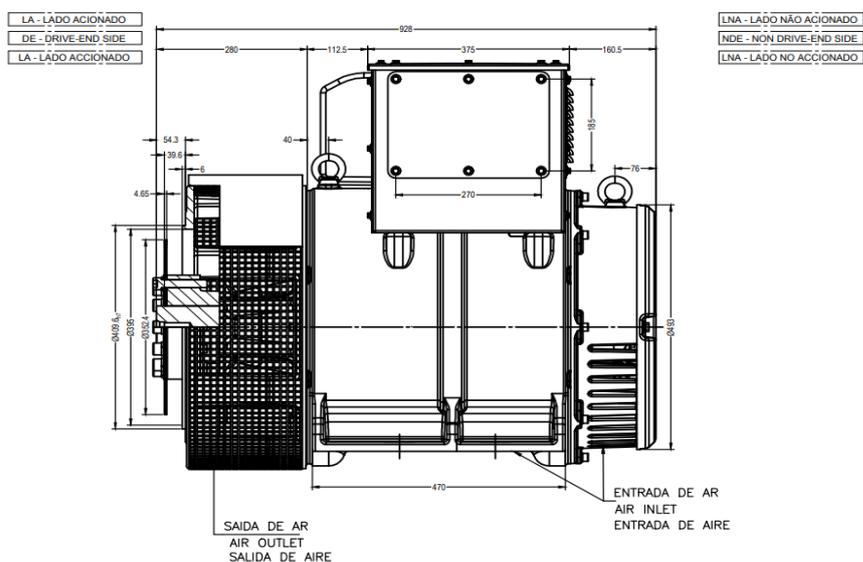
Tabela 4 - Dados do Alternador

Norma	IEC/NEMA
Modelo	AG10-250SI10AI
Distorção harmônica máxima (sem carga)	≤ 3%
Altitude	até 1000 m
Passo de enrolamento do estator	2/3
Número de terminais	12
Fator de potência	0.8 a 1.0
Número de pólos	4
Rotação nominal - 50 Hz	1500 rpm
Rotação nominal - 60 Hz	1800 rpm
Máxima sobrevelocidade	2250 rpm
Massa do alternador	644 kg

Fonte: WEG S.A (2022)

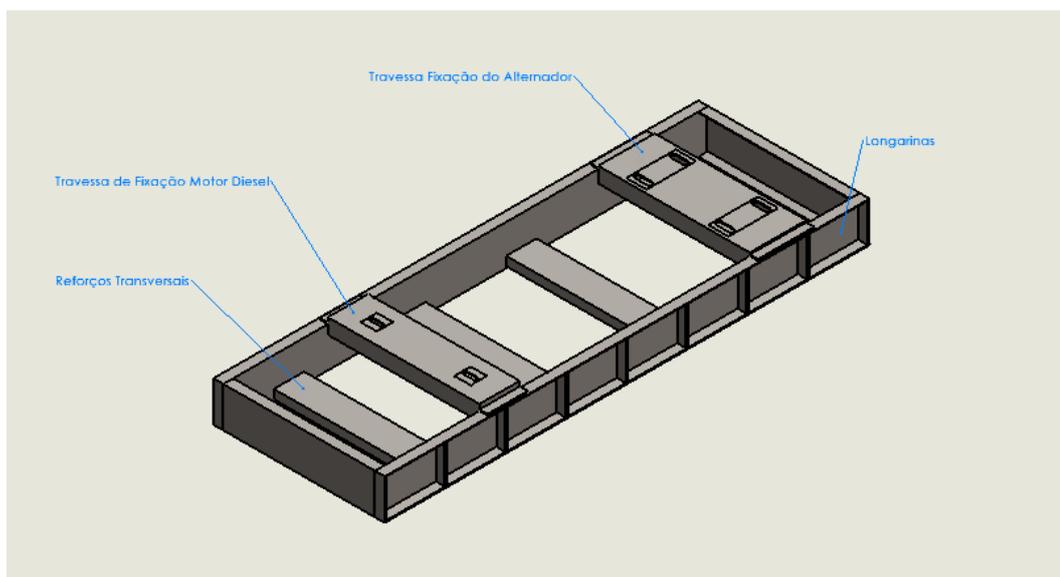
Assim como no caso do motor, se faz necessário conhecer as características geométricas do alternador, para prosseguir com a modelagem da estrutura. Essas características podem ser observadas nas Figuras 17 e 18.

Figura 17 - Vista Lateral Direita Alternador AG10250SI10AI



Fonte: WEG S.A (2022)

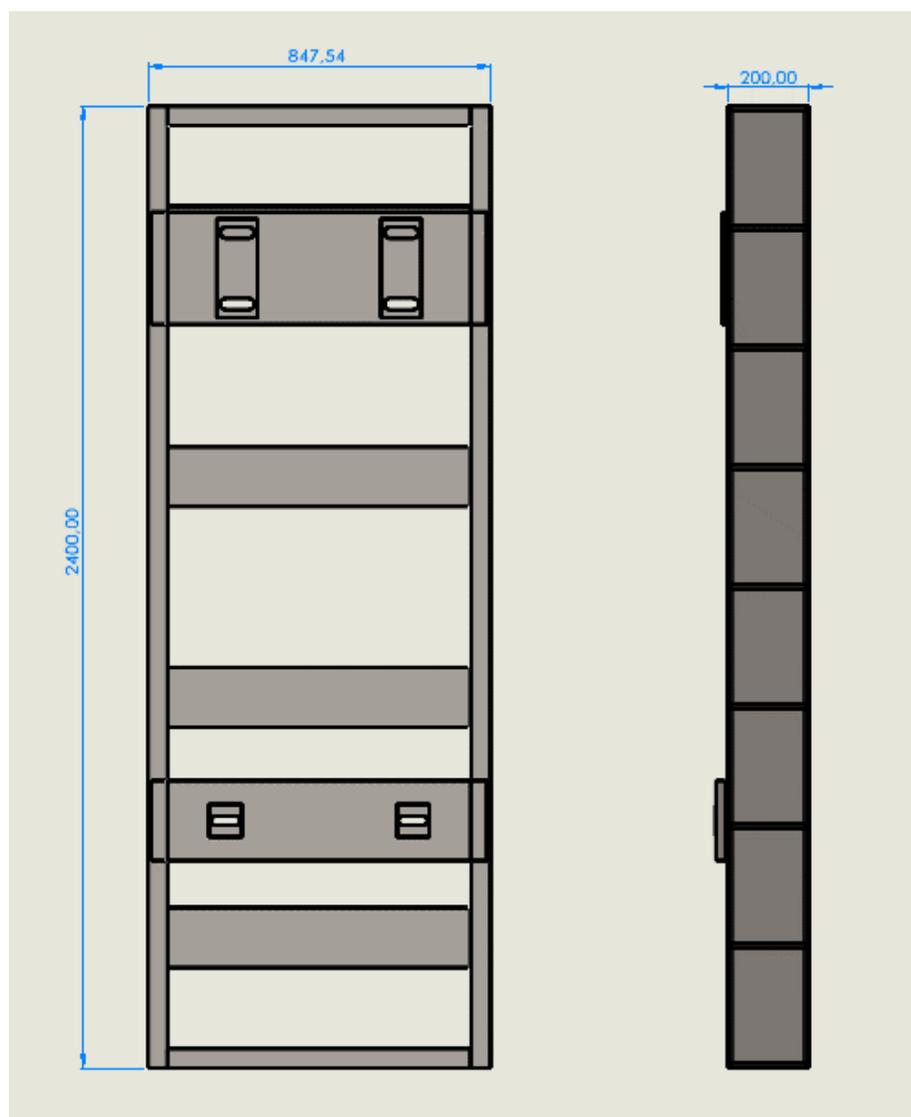


**Figura 19 - Estrutura Projetada**

Fonte: Autoria Própria (2022)

Nas Figuras 20,21 e 22, pode-se observar as dimensões externas do quadro, também visualizamos as travessas de fixação do alternador e do motor diesel. Essas travessas serão o principal objeto de análise, pois elas iram sustentar o peso dos componentes, já na Tabela 5 evidenciamos as bitolas das chapas utilizadas na construção do equipamento.

Figura 20 - Dimensões externas da estrutura em mm.



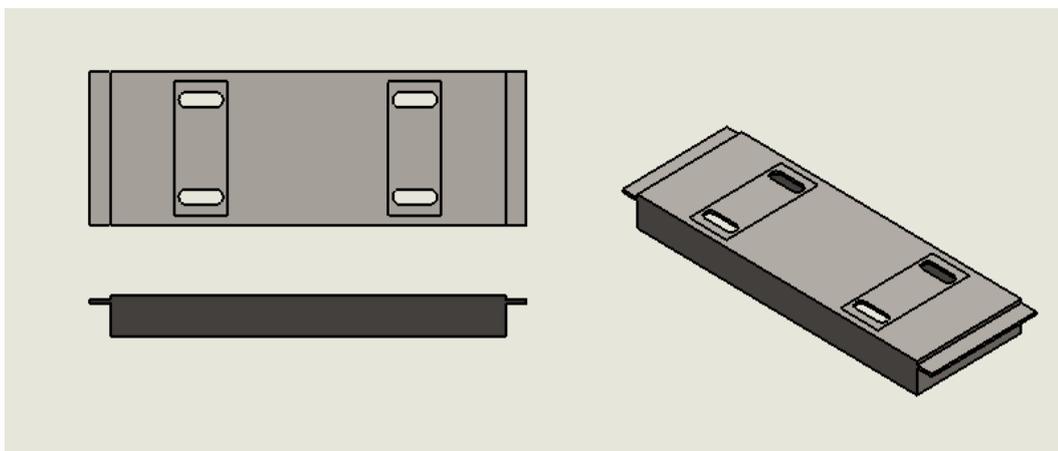
Fonte: Autoria Própria (2022)

Tabela 5 - Bitola dos componentes da estrutura.

Bitola das Chapas da Estrutura				
Peça	Longarinas	Suporte do Alternador	Suporte do Motor Diesel	Reforços Transversais
Tipo	Viga U	Chapa Soldada	Chapa Soldada	Viga U
Bitola	4,5 mm	6,35 mm	6,35 mm	4 mm

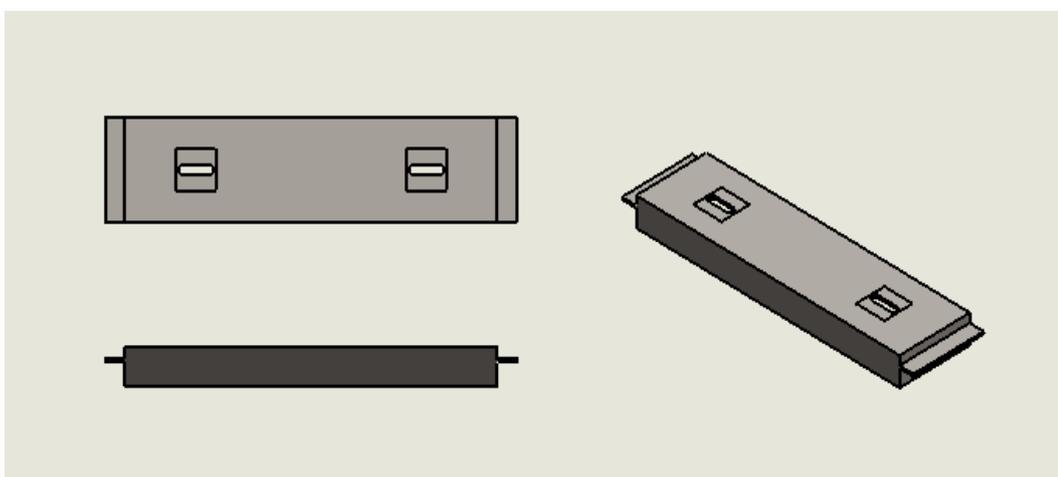
Fonte: Autoria Própria (2022)

**Figura 21 - Suporte de fixação do alternador**



**Fonte: Autoria Própria (2022)**

**Figura 22 - Suporte de Fixação do Motor Diesel**



**Fonte: Autoria Própria (2022)**

Quanto ao material da estrutura, foi adotado para a simulação o ASTM A36. Trata-se de um aço estrutural de grande uso na área metal mecânica, suas propriedades de resistência e tenacidade suprem as necessidades da estrutura, além disso trata-se de um aço de boa soldabilidade, o que facilita a construção da estrutura e também é um aço barato com grande quantidade de fornecedores. A Figura 23 apresenta as propriedades do ASTM A36.

Figura 23 - Propriedades mecânicas e químicas ASTM A36

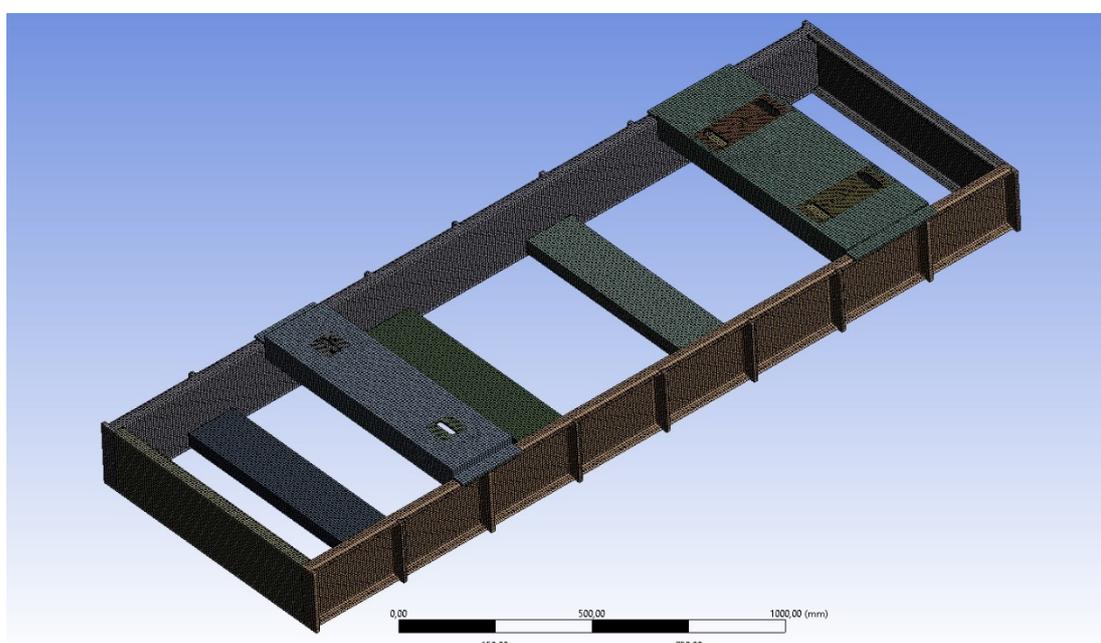
Elemento Químico	ASTM A36 (perfis)
%Cmáx.	0,26
%Mn	...(1)
%P máx	0,04
%S máx	0,05
%Si	0,40
%Ni	.....
%Cr	.....
%Mo	.....
%Cu	0,202
%V	.....
(%Nb + %V)	.....
Limite de escoamento(MPa)	250 mín
Limite de resistencia(MPa)	400 - 550

Fonte: Autoria Própria (2022)

#### 4.2.2 Tratamento da geometria e discretização do modelo

O modelo em questão foi exportado para o Ansys®, com auxílio da tecnologia CAE a estrutura foi refinada eliminando pontos de difícil processamento computacional. Após isso o modelo foi discretizado, a literatura indica o uso de elementos de malha chamados elementos de placa, e a estrutura em questão por se tratar de uma estrutura constituída de chapas metálicas e com perfil constante aceita esse tipo de elemento, buscando melhores resultados a malha gerada foi quadrática, esta, pode ser observada nas Figuras 24 e 25 ,a Tabela 6 apresenta os dados da malha gerada.

**Figura 24 - Modelo com malha de elementos**



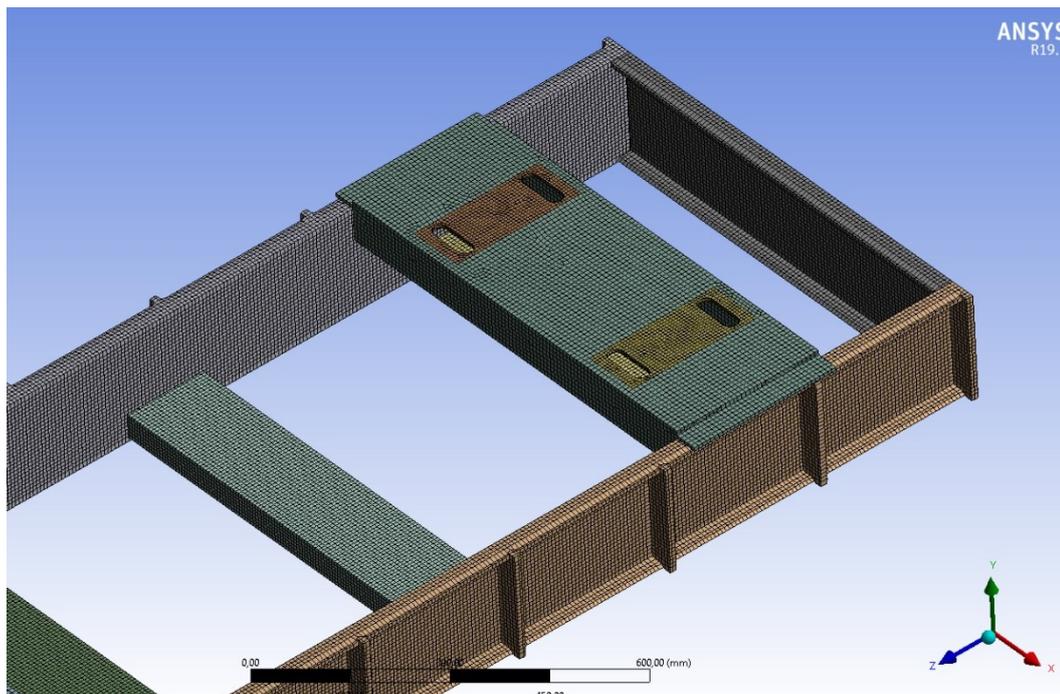
**Fonte: Autoria Própria (2022)**

**Tabela 6 - Dados da malha gerada**

Dados da Malha	
Número de Elementos	451.487
Número de Nós	218.462
Tamanho do Elemento	8 mm

**Fonte: Autoria Própria (2022)**

**Figura 25 - Vista aproximada da malha gerada no modelo**



**Fonte: Autoria Própria (2022)**

Quanto à qualidade da malha, foi possível discretizar o modelo com uma qualidade aceitável, A Tabela 7 traz dados sobre a qualidade de malha gerada, considerando a métrica do método “Element Quality” do Ansys, sendo 0 um elemento muito deformado e 1 um elemento perfeitamente proporcional.

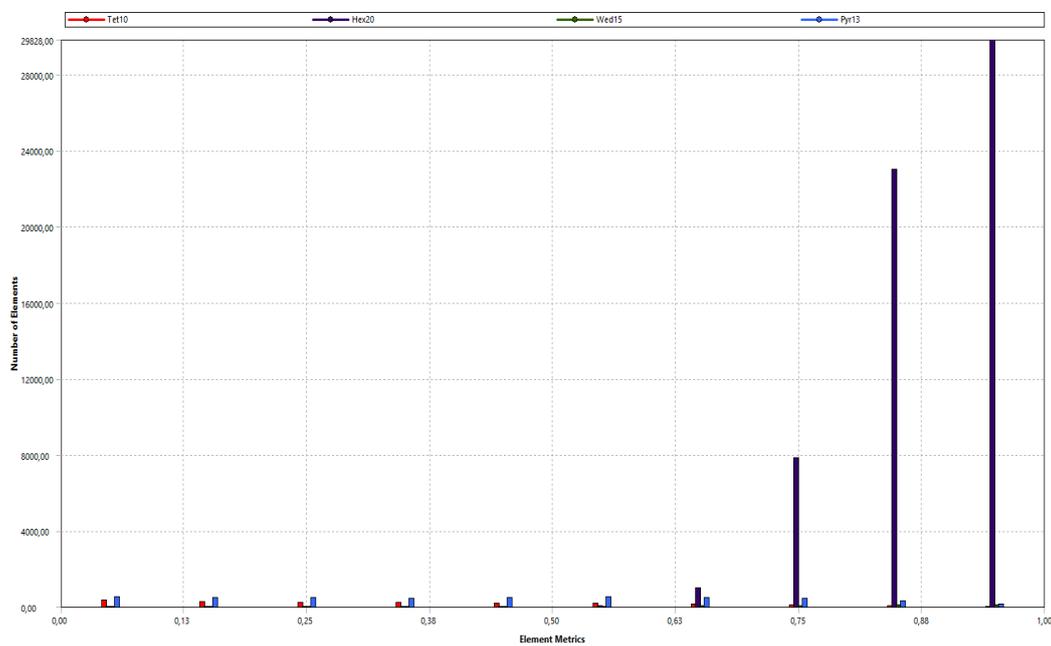
**Tabela 7- Qualidade da malha gerada**

Qualidade da Malha	
Minimo	0
Máximo	0,99
Média	0,84
Desvio padrão	0,16

**Fonte: Autoria Própria (2022)**

No Gráfico 1, pode-se observar que a malha gerada apresenta uma qualidade aceitável, sendo que a grande maioria dos elementos da malha se encontra levemente deformado, não causando consequências graves para os resultados da simulação.

**Gráfico 1 - Métrica dos elementos gerados “Element Quality”**

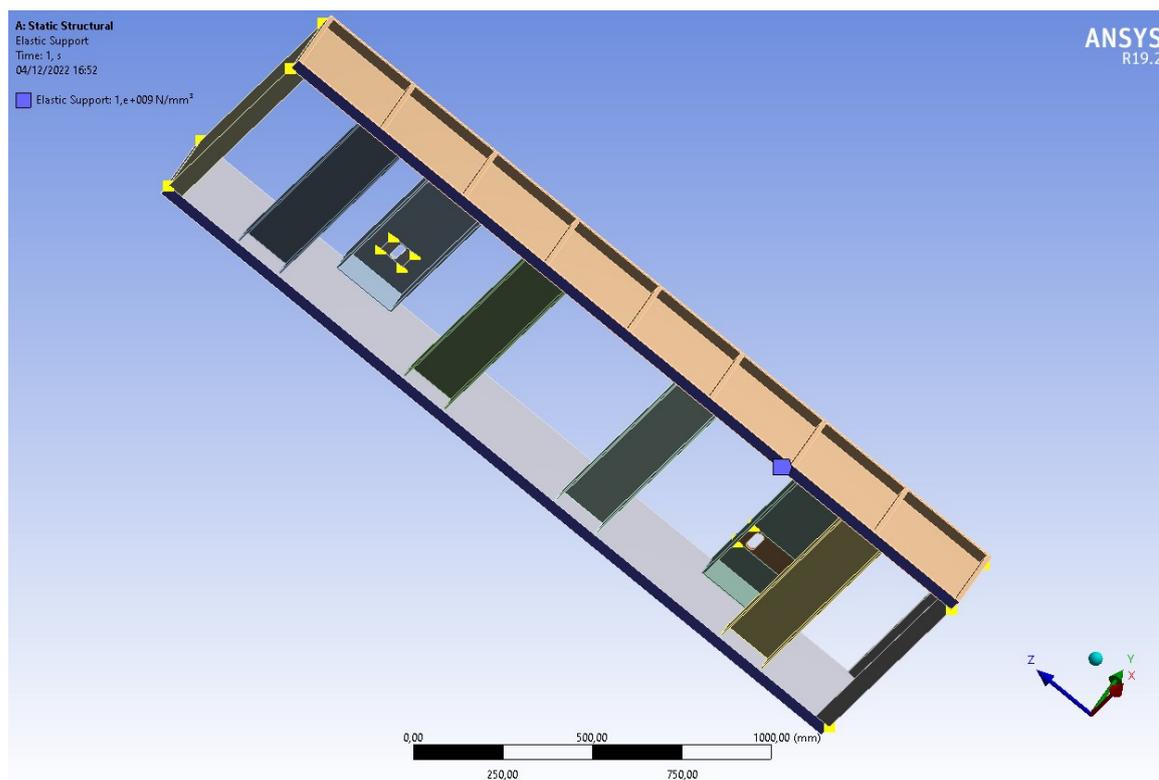


Fonte: Autoria Própria (2022)

#### 4.2.3 Análise das condições de contorno para simulação estática e modal

##### 4.2.3.1 Condições de contorno para simulação estática

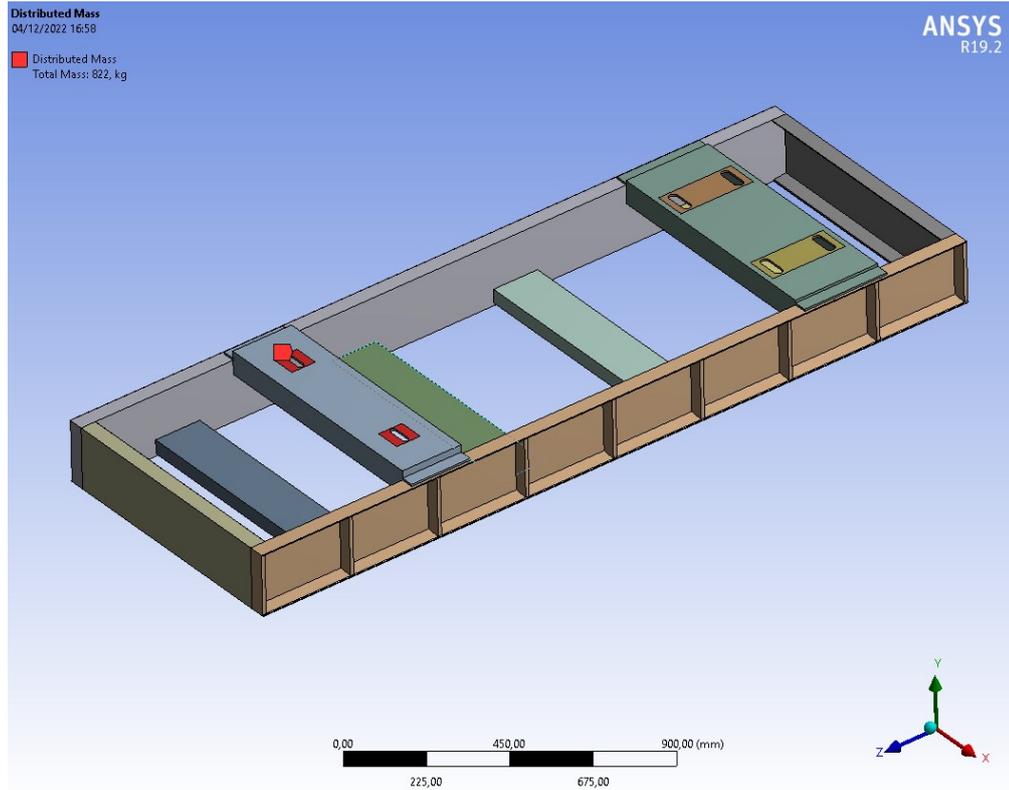
Os chassis que está sendo projetado tem como finalidade, abrigar um grupo gerador Diesel com potência de 160 KVa. Dessa forma apresentam-se as condições de contorno utilizadas, as longarinas são fixadas ao solo pelo uso de parafusos prisioneiros no piso onde é instalado o equipamento, pelo fato de a fixação pressionar toda a face da longarina contra o solo, são consideradas as faces das duas longarinas como um suporte elástico de rigidez muito alta, simulando o comportamento da estrutura parafusada ao chão, a Figura 26 representa a condição citada.

**Figura 26 - Superfície considerada como suporte elástico de alta rigidez**

**Fonte: Autoria Própria (2022)**

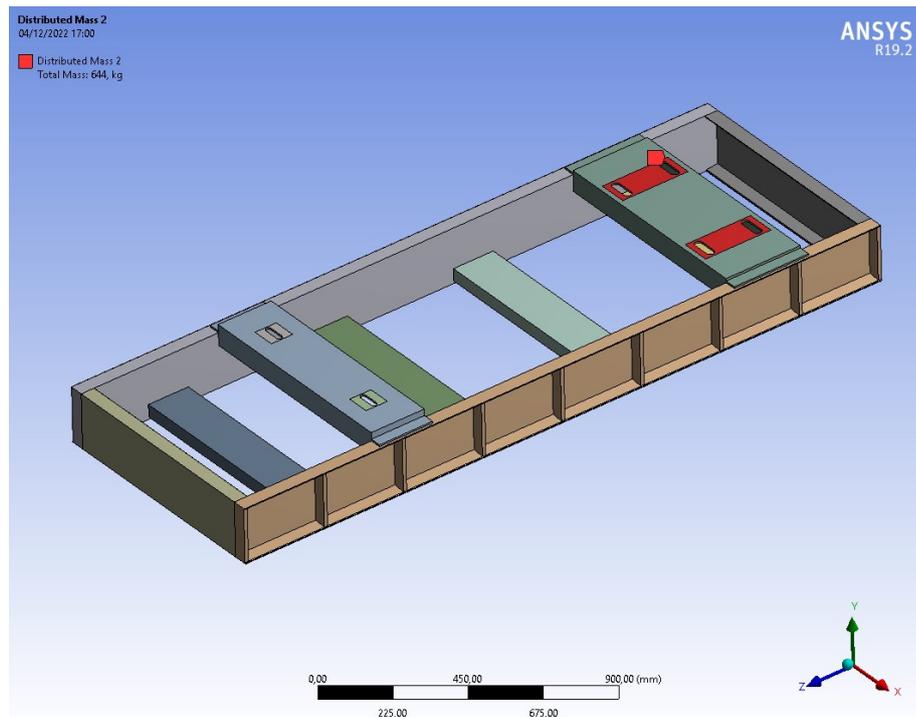
Considerando a massa dos equipamentos apresentados no item 4.1, adiciona-se no software ANSYS® duas massas distribuídas, nas regiões de fixação, do alternador e do motor diesel, considera-se a aceleração da gravidade padrão ( $9,81 \text{ m/s}^2$ ). A massa foi distribuída nas regiões de fixação dos equipamentos nas travessas, estas massas simulam as condições que o peso do motor (822 Kg), e o peso do alternador (644 Kg) causam na estrutura. Nas Imagens 27 e 28 estão indicadas as condições de contorno.

Figura 27 - Massa distribuída correspondente ao Motor Diesel



Fonte: Autoria Própria (2022)

Figura 28 - Massa distribuída correspondente ao Alternador



Fonte: Autor (2022)

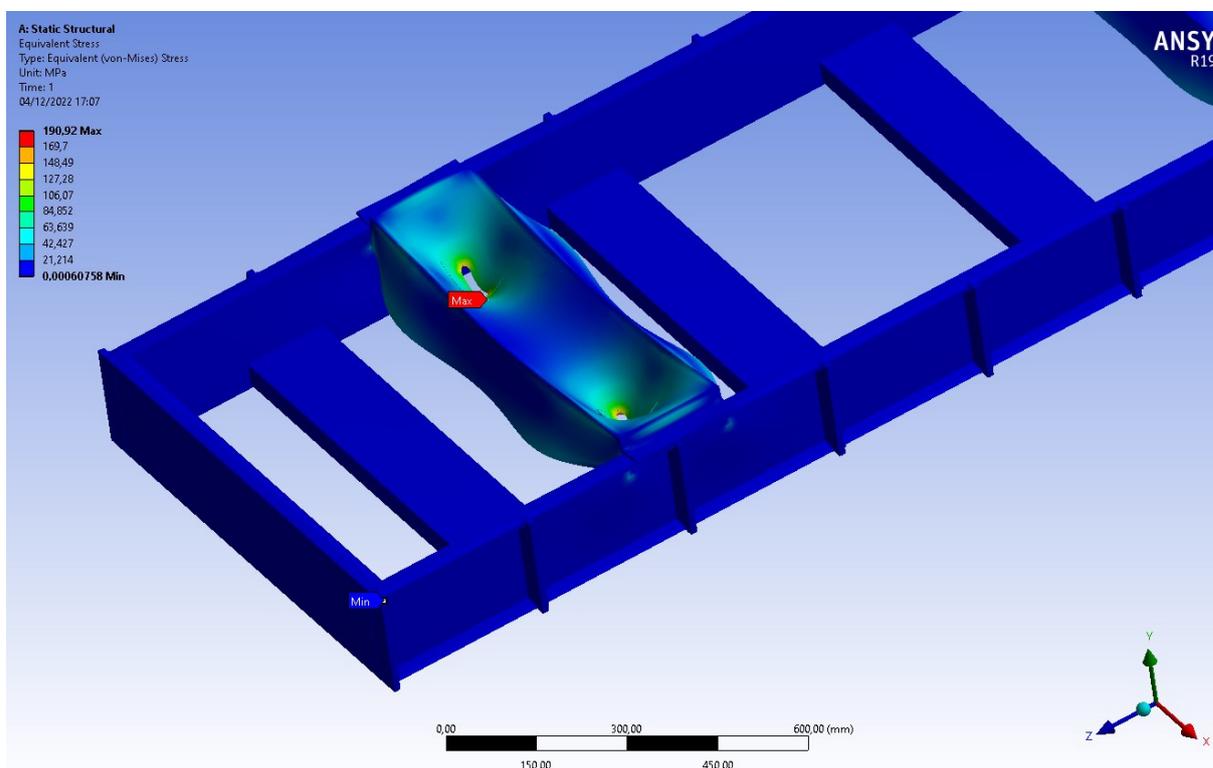
### 4.3 Processamento

Nesta etapa serão apresentados os resultados das simulações estáticas e modal.

#### 4.3.1 Simulação estática

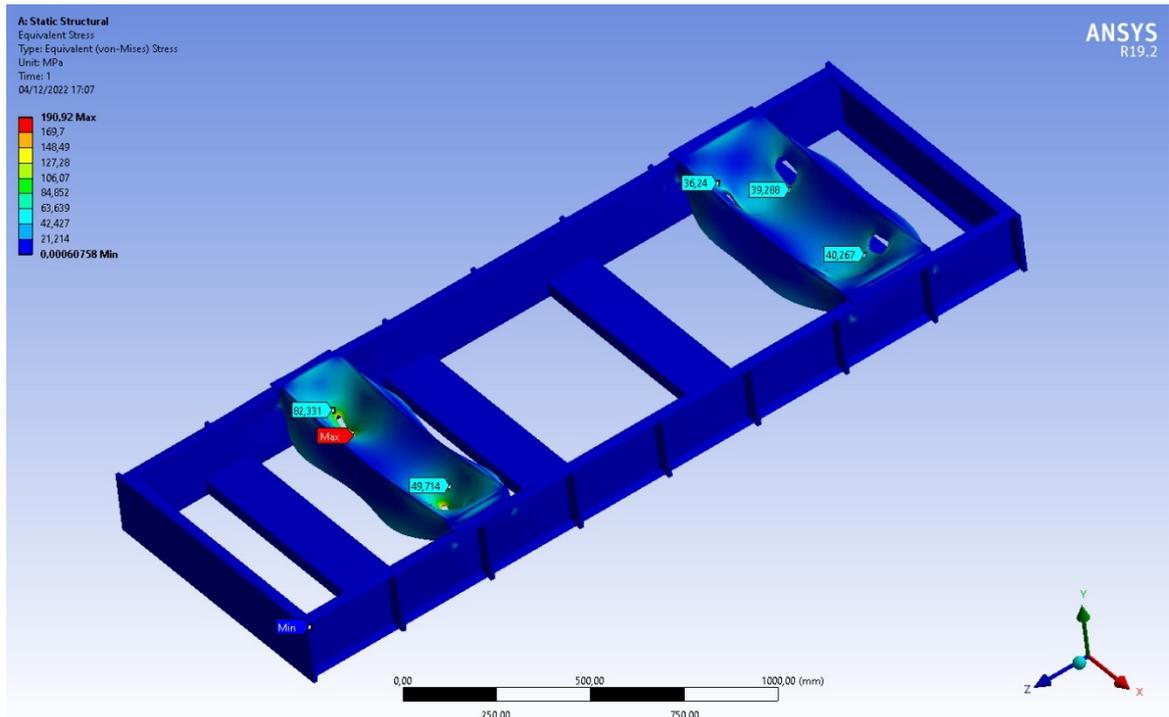
Utilizando a malha anteriormente gerada pode-se realizar a simulação estática do equipamento, obtém-se dessa as tensões equivalentes de von-Mises e a deformação da estrutura. Observa-se nas imagens 29 e 30 a tensão máxima de 190,92 Mpa, ocorrida no suporte do Motor Diesel.

**Figura 29 - Simulação estática utilizando a tensão equivalente de von-Mises**



Fonte: Autoria Própria (2022)

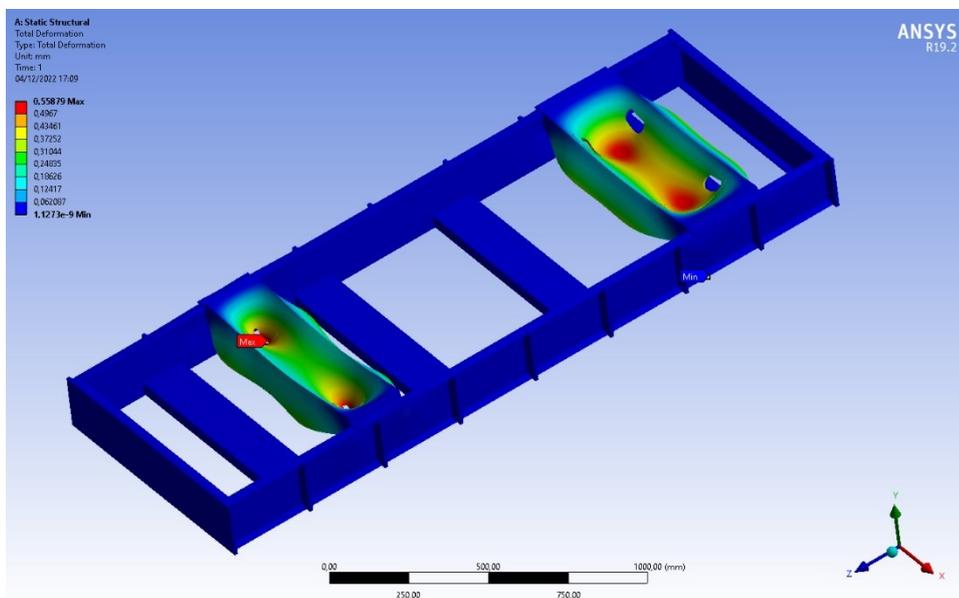
Figura 30 - Outros pontos com a tensão equivalente indicada



Fonte: Autoria Própria (2022)

Já na Figura 31 pode-se visualizar a simulação da deformação total da estrutura causada pelas massas distribuídas no equipamento.

Figura 31 - Simulação da deformação da estrutura.



Fonte: Autoria Própria (2022)

#### 4.3.1.1 Simulação modal

A estrutura que está sendo analisada serve de base para um gerador Diesel de 160 KVa, portanto a máquina acionadora que fornece potência de eixo para o equipamento trata-se de um motor a combustão interna. Esses equipamentos possuem um desbalanceamento inerente a sua construção, máquinas dessa natureza induzem na estrutura em que estão fixadas uma certa vibração, por esse fato a simulação modal terá como objetivo determinar as frequências naturais de vibração de corpo livre da estrutura, a Tabela 8 demonstra os resultados encontrados.

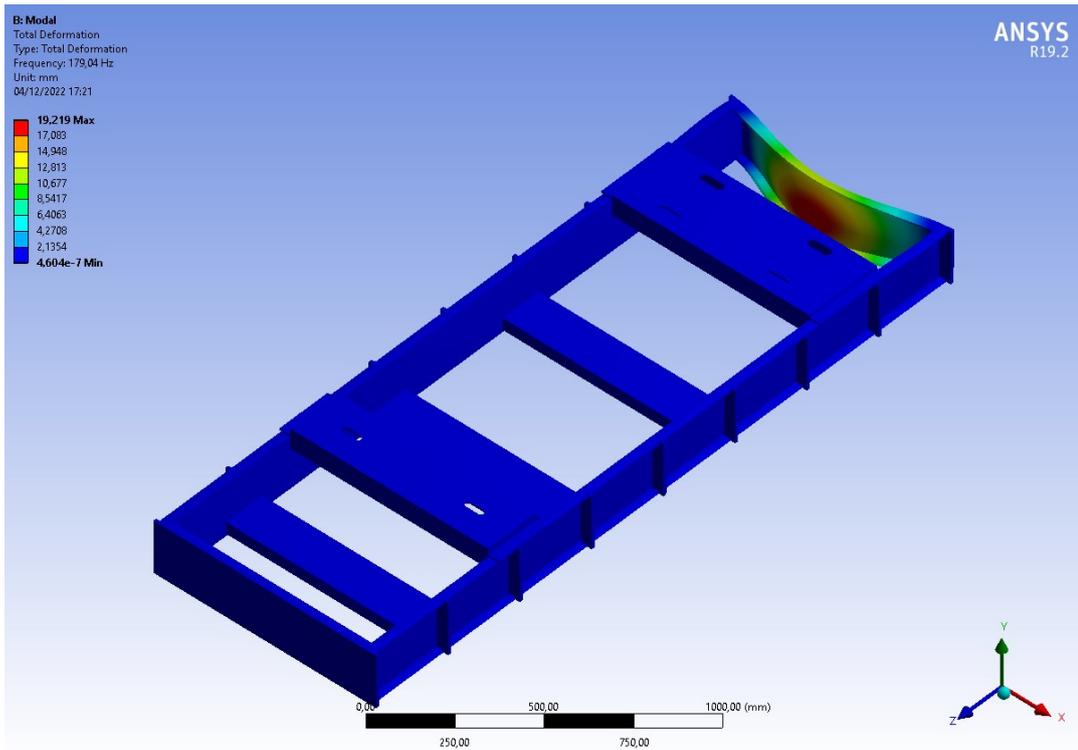
**Tabela 8 - Modos de vibração encontrados.**

Resultado dos Modos de Vibração	
Modo de Vibração	Frequencia (Hz)
Modo 1	179,04
Modo 2	189,36
Modo 3	205,35
Modo 4	253,23
Modo 5	274,91
Modo 6	274,95
Modo 7	275,7
Modo 8	277,31
Modo 9	278,91
Modo 10	280,42
Modo 11	294,18
Modo 12	295

**Fonte: Autoria Própria (2022)**

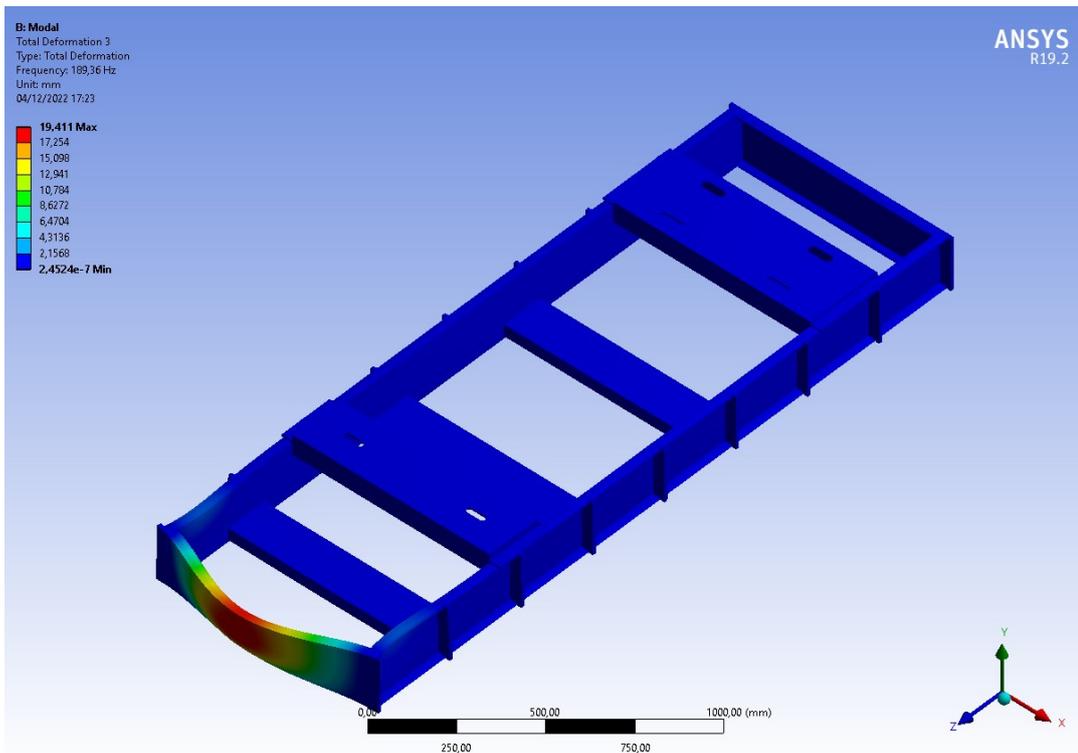
Observa-se os primeiros 12 primeiros modos de vibração, o primeiro deles a 179,04 Hz, serão apresentados na sequência de imagens abaixo (32 a 37) os modos de vibração do 1 ao 6.

Figura 32 - Modo de vibração 1



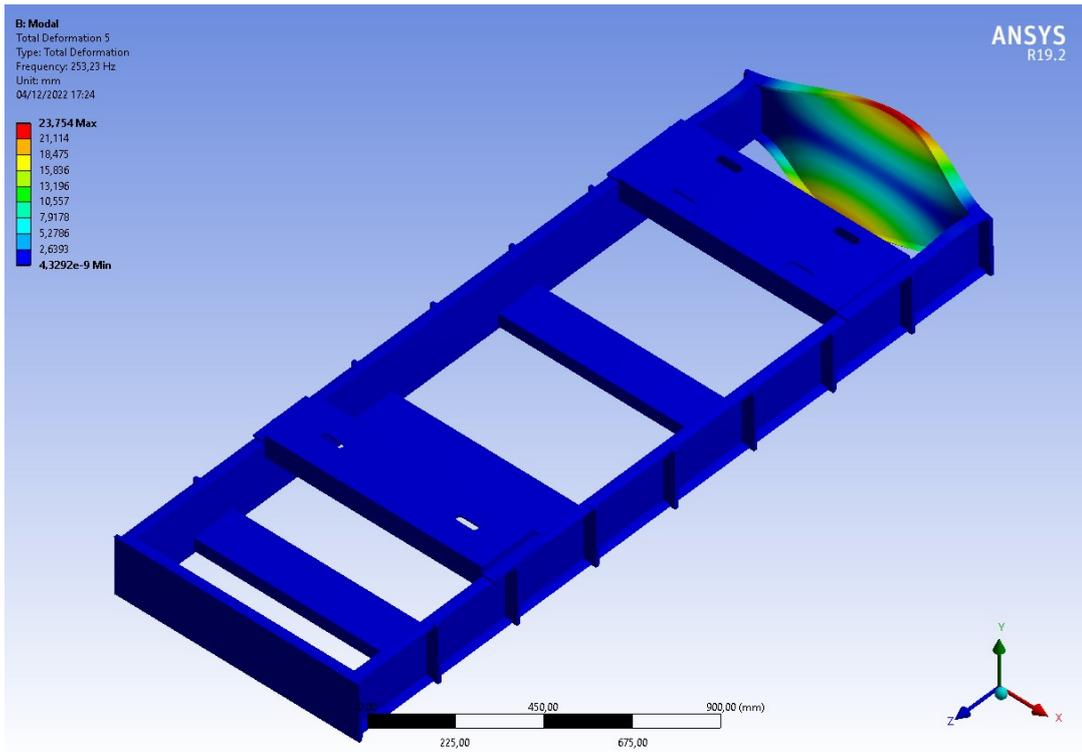
Fonte: Autoria Própria (2022)

Figura 33 - Modo de vibração 2



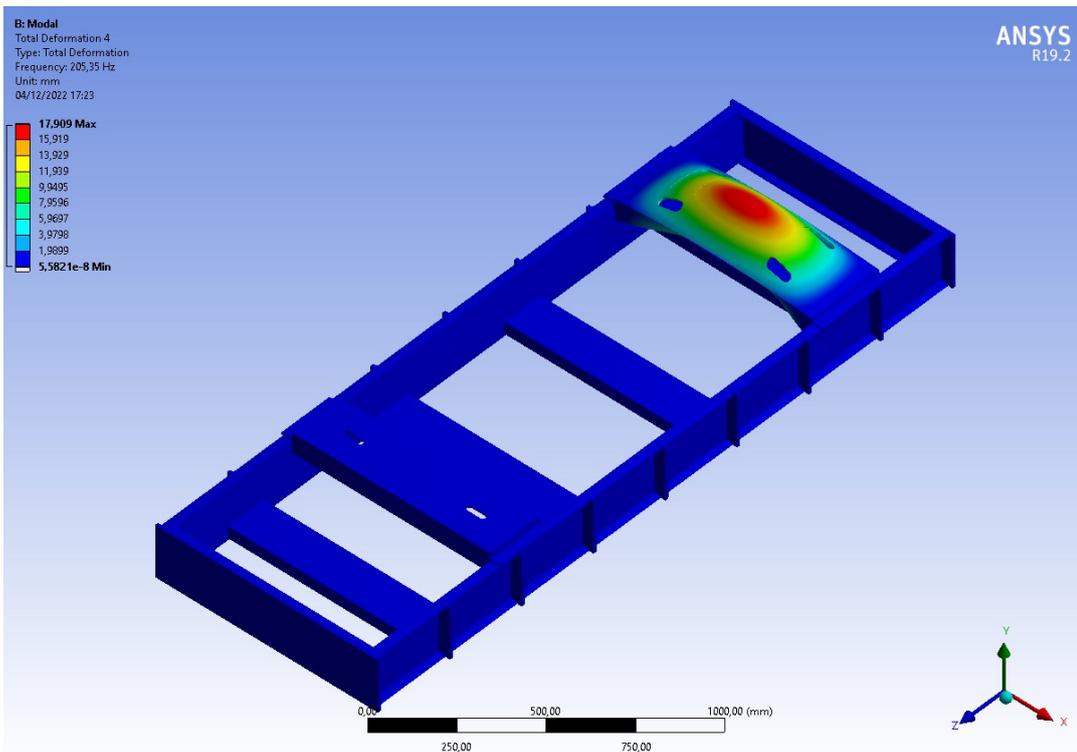
Fonte: Autoria Própria (2022)

Figura 34 - Modo de vibração 3



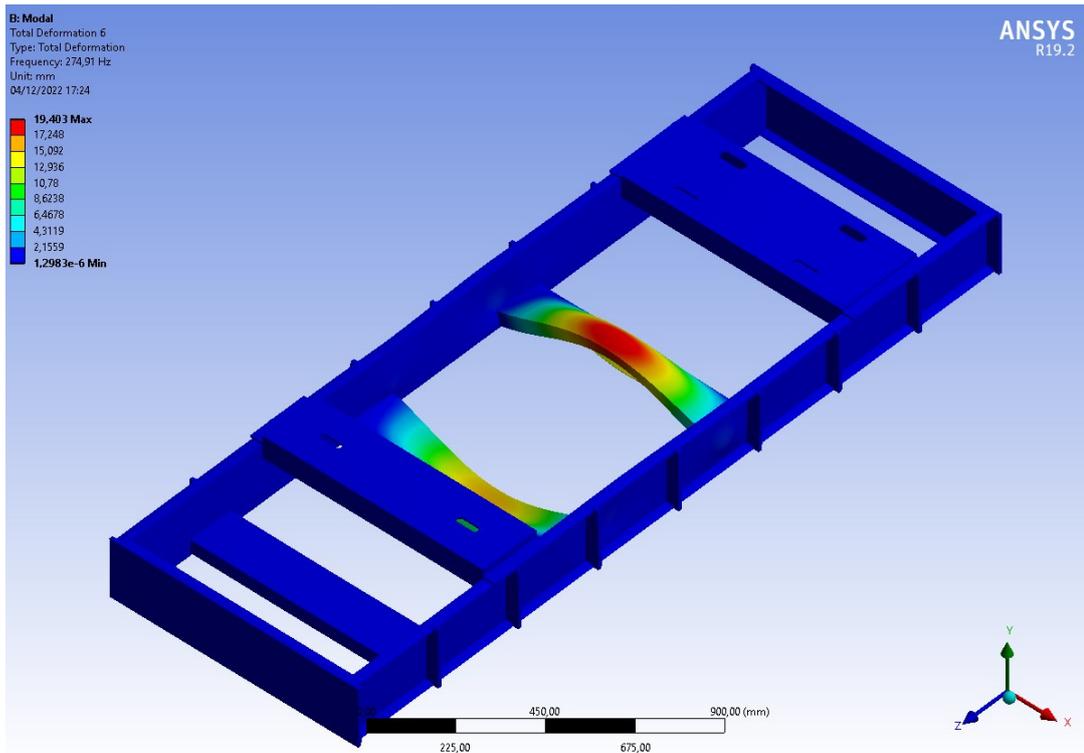
Fonte: Autoria Própria (2022)

Figura 35 - Modo de vibração 4



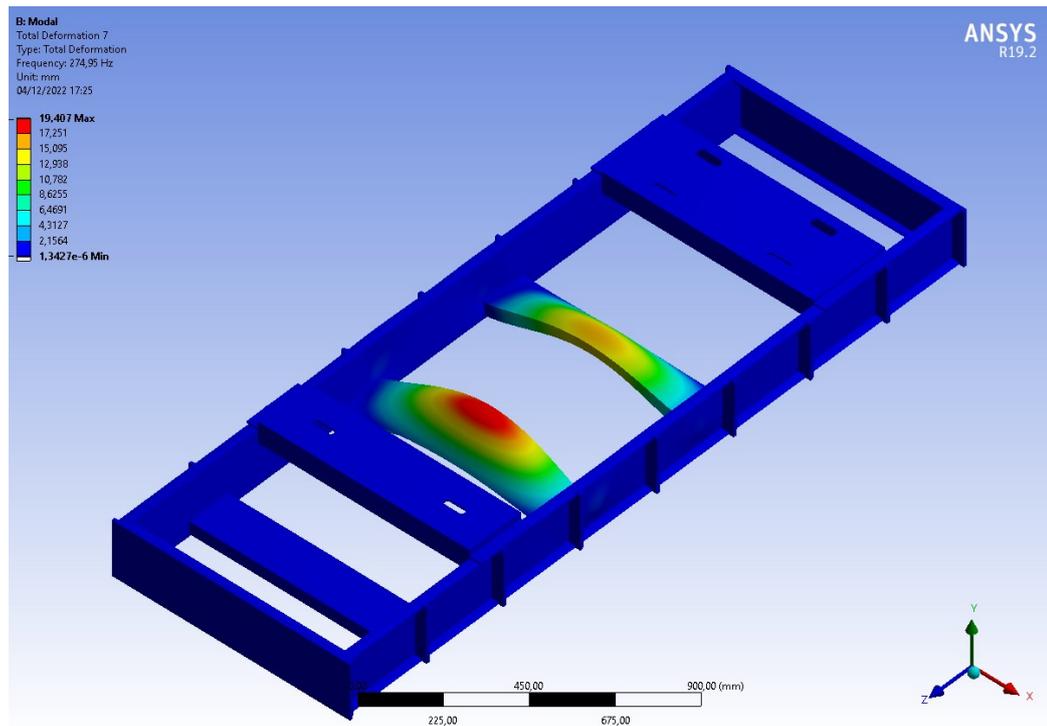
Fonte: Autoria Própria (2022)

Figura 36 - Modo de vibração 5



Fonte: Autoria Própria (2022)

Figura 37 - Modo de vibração 6



Fonte: Autor (2022)

De posse dos resultados dos modos de vibração prossegue-se com a análise dos resultados encontrados no processamento, passando para a etapa do pós-processamento.

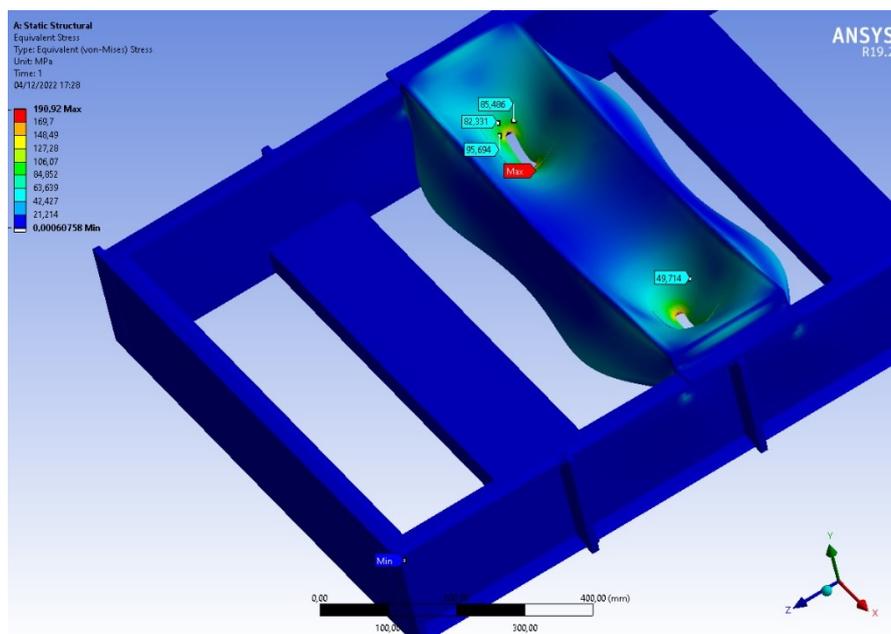
## 4.4 Pós processamento

### 4.4.1 Análise dos resultados da simulação estática

A análise estática permite obter o estado geral de tensões do corpo, bem como a deformação nos pontos onde a massa dos equipamentos causará algum esforço.

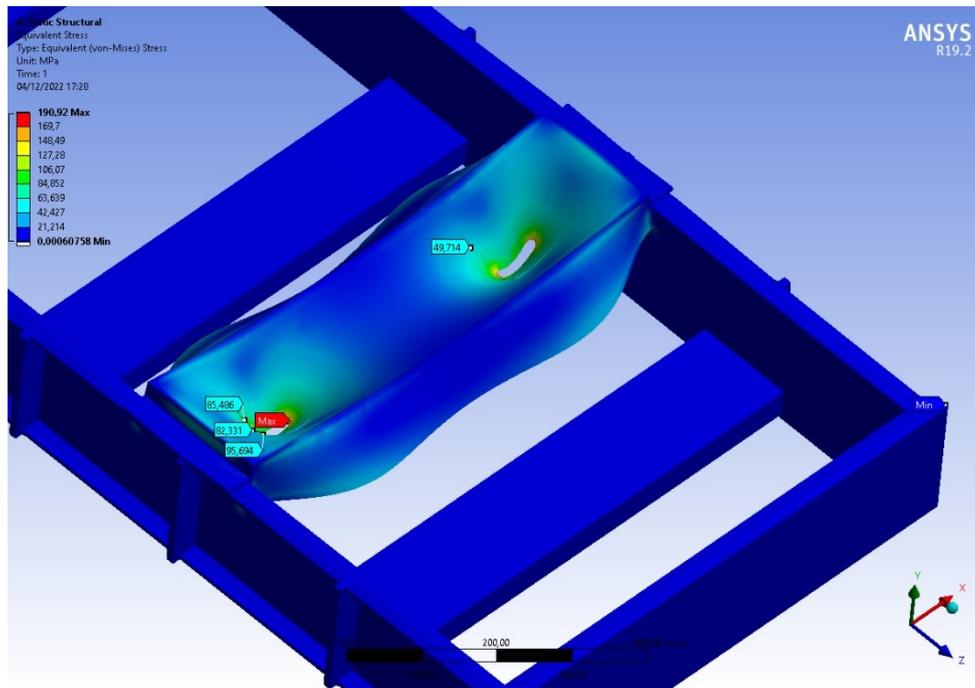
Quanto às tensões encontradas analisa-se os pontos críticos que possivelmente ocasionariam problemas na estrutura construída, fazendo com que o equipamento perdesse sua integridade. Primeiramente, analisa-se as regiões críticas relacionadas aos carregamentos dos suportes dos equipamentos, essas regiões suportarão as cargas e serão fabricadas com o uso de juntas soldadas e é de suma importância entender como irão se desenvolver as tensões nesses pontos. Pode-se observar nas Figuras 38 e 39 a tensão máxima ocorrida na estrutura, que se localiza no suporte do motor Diesel.

**Figura 38 - Tensão máxima presente no suporte do Motor Diesel**



**Fonte: Autoria Própria (2022)**

**Figura 39 - Tensão máxima ocorrida no suporte do Motor Diesel**



Fonte: Autoria Própria (2022)

Pode-se observar que no Suporte do Motor Diesel temos a tensão máxima induzida na estrutura, bem como uma ocorrência de uma área com tensões mais elevadas, a tensão máxima de 190,92 Mpa traz um coeficiente de segurança mínimo (FS) para a estrutura de 1,30 de acordo com a equação abaixo.

$$\sigma' = \frac{S_y}{FS} \quad (6)$$

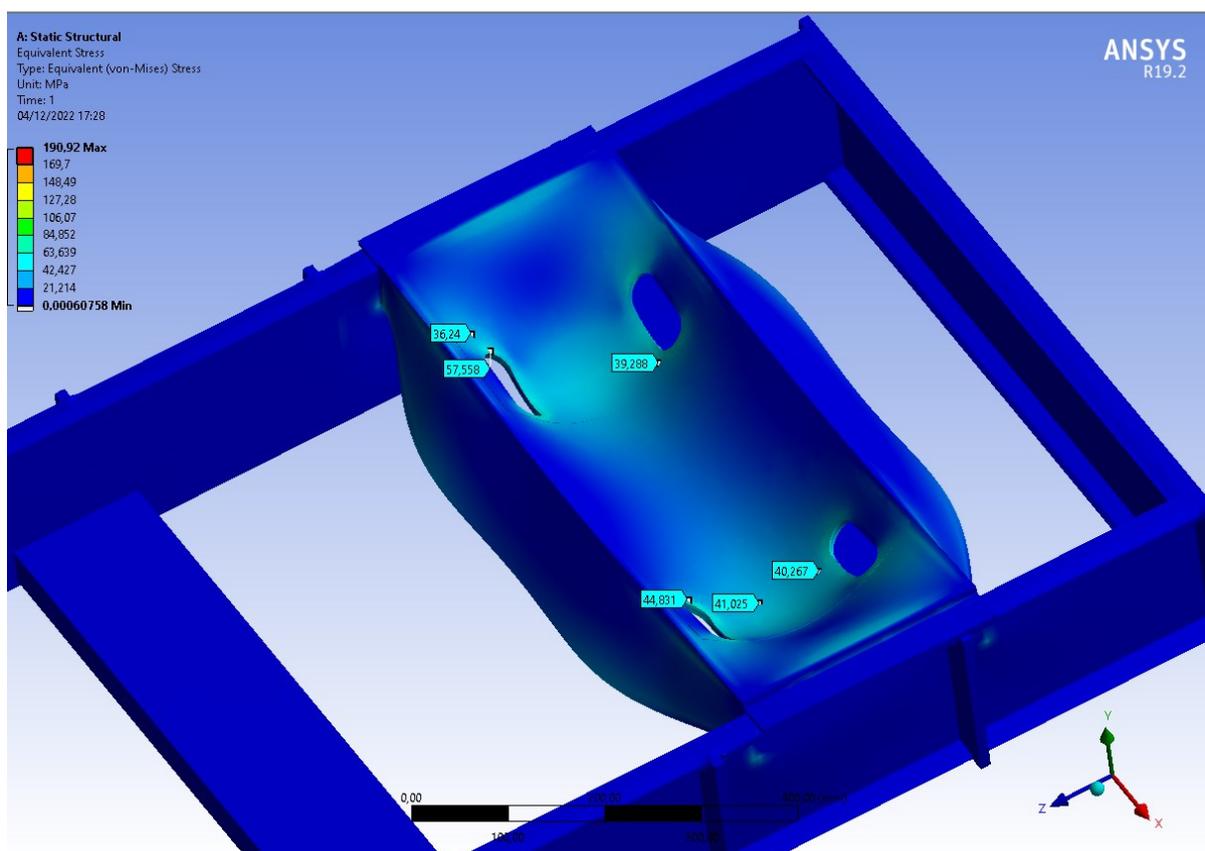
$$190,92 \text{ Mpa} = \frac{250 \text{ Mpa}}{FS}$$

$$FS = 1,30$$

Essa região pode ser considerada com uma região que precisa ser melhorada, uma maior atenção é necessária nessa região. Uma possível estratégia seria aumentar a bitola das chapas utilizada para a fabricação dessa parte do componente, para melhoria do coeficiente de segurança nessa região.

Já na região de fixação do alternador observamos que não existiram grandes problemas com relação a tensão induzida na estrutura.

**Figura 40 - Tensões na região de fixação do alternador**



**Fonte: Autoria Própria (2022)**

O coeficiente mínimo nessa região encontrado é de 4,34 conforme a equação abaixo.

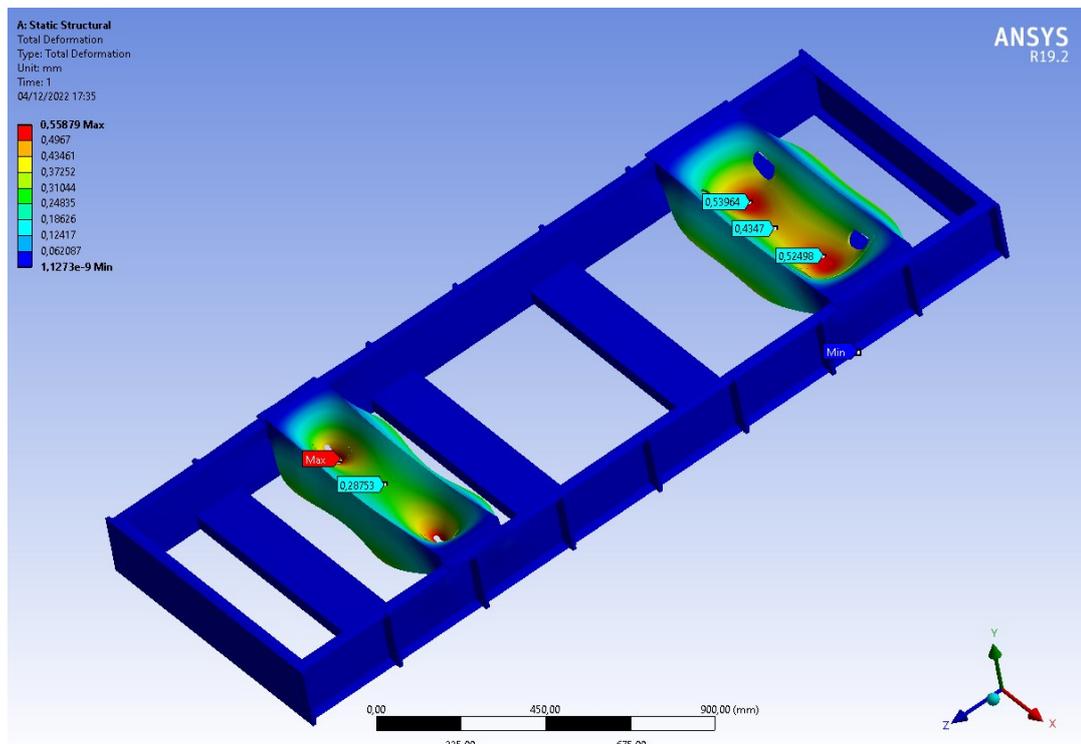
$$\sigma' = \frac{S_y}{FS} \quad (7)$$

$$57,55 \text{ Mpa} = \frac{250 \text{ Mpa}}{FS}$$

$$FS = 4,34$$

Outro ponto crítico que se deve analisar é a deformação causada pelas massas distribuídas, obtemos esses resultados com o teste de deformação do ANSYS, o interesse recai nas regiões de fixação dos equipamentos, isso poderia causar um desalinhamento no eixo do equipamento ocasionando uma falha. A Figura 41 nos traz o resultado das deformações calculadas na estrutura.

**Figura 41 - Deformações calculadas na estrutura**



Fonte: Autoria Própria (2022)

Observa-se uma deformação máxima de 0,558 mm, ocorrendo no Suporte do Motor Diesel, já no Suporte do Alternador encontramos uma deformação muito semelhante, com valor máximo de 0,539 mm. Essas deformações podem ser consideradas muito elevadas para a funcionalidade da estrutura, as deformações observadas na Figura 41 podem ocasionar um desalinhamento na estrutura, este desalinhamento diminui a vida útil dos componentes do motor e do alternador, é necessário encontrar uma alternativa para amenizar as deformações em questão. Pode-se utilizar a mesma estratégia proposta anteriormente, aumentar a bitola das chapas utilizadas na construção do Suporte do Motor Diesel e do Suporte do Alternador.

#### 4.4.2 Otimização da estrutura

Do item anterior sabemos que as tensões induzidas estavam muito elevadas no Suporte do Motor Diesel (Figura 39), sendo que nesta região a estrutura apresentava um coeficiente de segurança (FS) de 1,3. Por esse fato a estratégia escolhida será aumentar a bitola das chapas utilizadas para fabricação desses componentes, com relação ao Suporte do Alternador, as tensões induzidas estão dentro dos limites aceitáveis, retornando um coeficiente de segurança de 4,34, porém, ao observarmos as deformações apresentadas no item anterior, fica evidente que será necessário aumentar a bitola das chapas utilizadas na construção tanto do Suporte do Motor Diesel quanto do Suporte do Alternador. A Tabela 9 indica as mudanças na construção da estrutura.

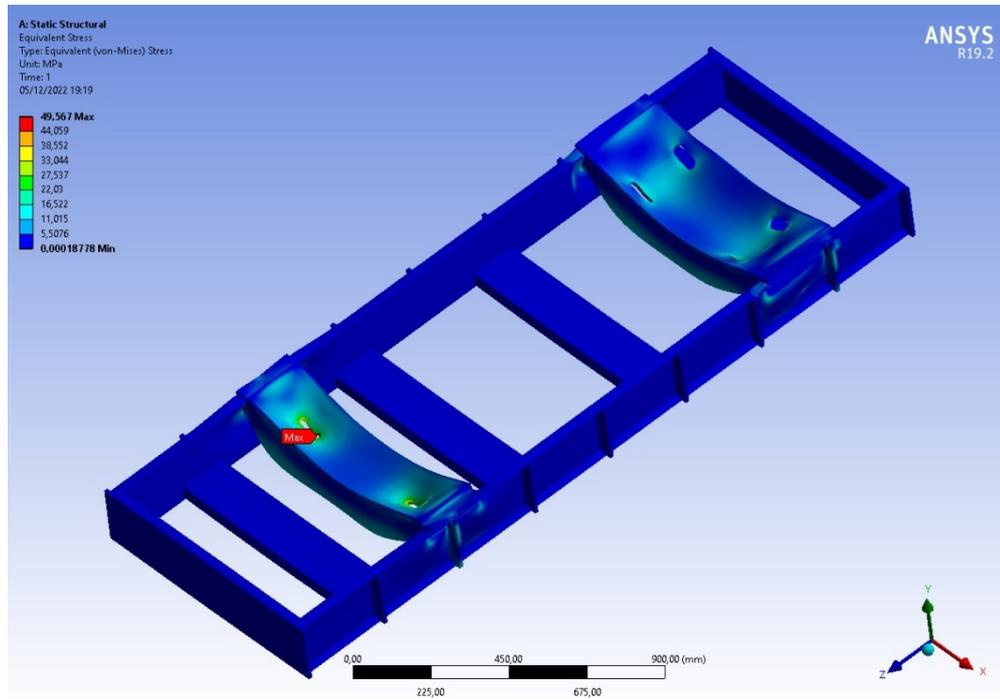
**Tabela 9 - Bitola das Chapas após a otimização.**

Bitola das Chapas da Estrutura após a otimização.				
Peça	Longarinas	Suporte do Alternador	Suporte do Motor Diesel	Reforços Transversais
Bitola original	4,5 mm	6,35 mm	6,35 mm	4 mm
Bitola Otimizada	4,5mm	12,7 mm	12,7 mm	4 mm

**Fonte: Autoria Própria (2022)**

Ao modificar estas bitolas podemos observar uma melhoria no comportamento da estrutura quanto ao coeficiente de segurança de 1,3, que era o ponto de fragilidade principal da estrutura. A Figura 42 mostra as tensões induzidas após as melhorias propostas.

**Figura 42 - Tensões induzidas após otimização da estrutura**



**Fonte: Autoria Própria (2022)**

O novo coeficiente mínimo encontrado é de 5,04 conforme a equação abaixo.

$$\sigma' = \frac{S_y}{FS} \quad (8)$$

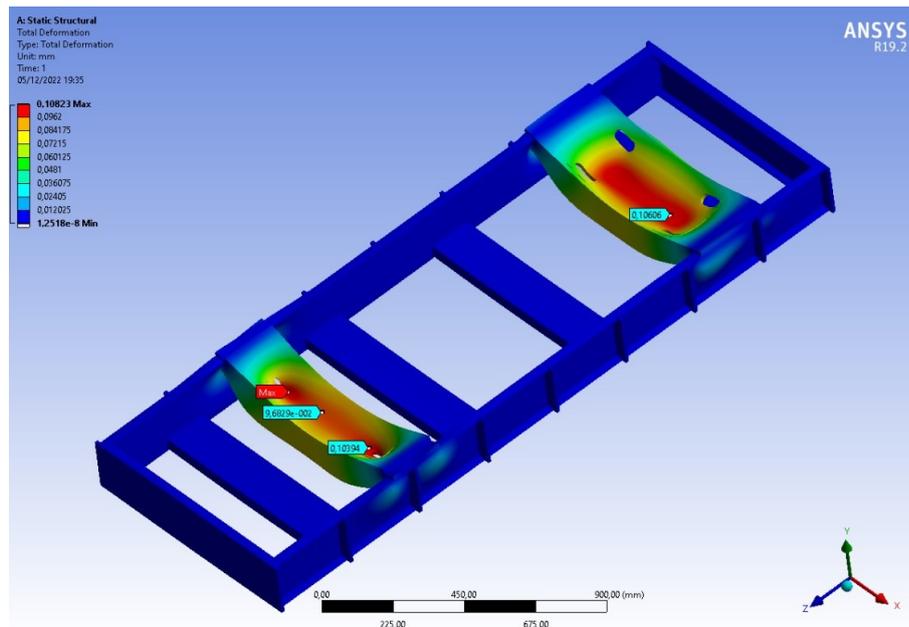
$$49,56 \text{ Mpa} = \frac{250 \text{ Mpa}}{FS}$$

$$FS = 5,04$$

Portanto com essa estratégia foi possível solucionar o problema com relação as tensões induzidas.

Quanto as deformações na estrutura, ao modificar as bitolas das chapas foi possível diminuir os deslocamentos na estrutura para a ordem de 0,1 mm, o que representa uma excelente melhora e faz com a estrutura se torne adequada para o uso para qual foi projetada. Podemos observar na Figura 43 o novo comportamento da estrutura quanto a deformação.

**Figura 43 - Deformações na estrutura após a otimização**



**Fonte: Autoria Própria (2022)**

A Tabela 10 resume a resposta da estrutura após a otimização.

**Tabela 10 - Resultados da estrutura otimizada.**

Resultados após a otimização da estrutura.		
Peça	Suporte do Alternador	Suporte do Motor Diesel
Bitola original	6,35 mm	6,35 mm
Bitola Otimizada	12,7 mm	12,7 mm
Tensao Max Original	57,55 Mpa	190,92 Mpa
Tensao Max Otimizada	15,2 Mpa	49,56 Mpa
Deformação Original	0,539 mm	0,558 mm
Deformação Otimizada	0,108 mm	0,106 mm
FS Original	4,34	1,3
FS Otimizado	16,44	5,04

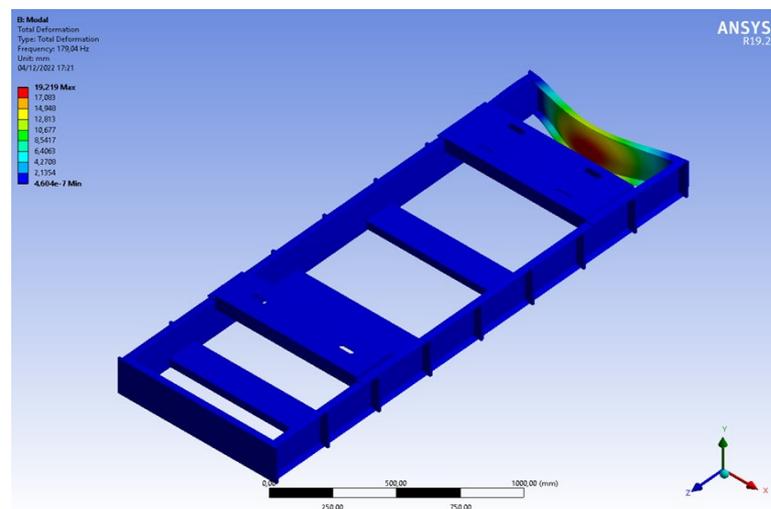
**Fonte: Autor (2022)**

Dessa forma após a otimização da estrutura foi possível adequar seus parâmetros, minimizando as deformações e maximizando o coeficiente de segurança (FS) nas regiões críticas.

#### 4.4.3 Análise dos resultados da Simulação Modal

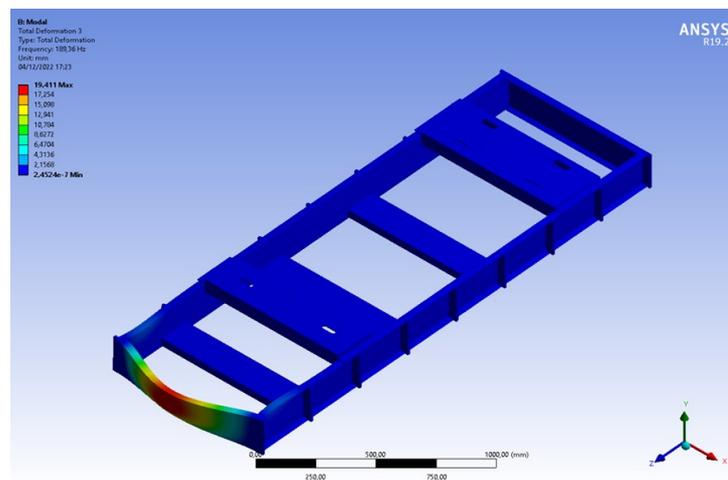
Como já citado anteriormente no texto, é importante analisar os modos de vibração desta estrutura, pode-se observar nas Figuras 42 e 43 os modos 1 e 2 respectivamente, que são os de menor frequência.

**Figura 44 - Modo de vibração 1 com frequência de 179,04 Hz**



Fonte: Autoria Própria (2022)

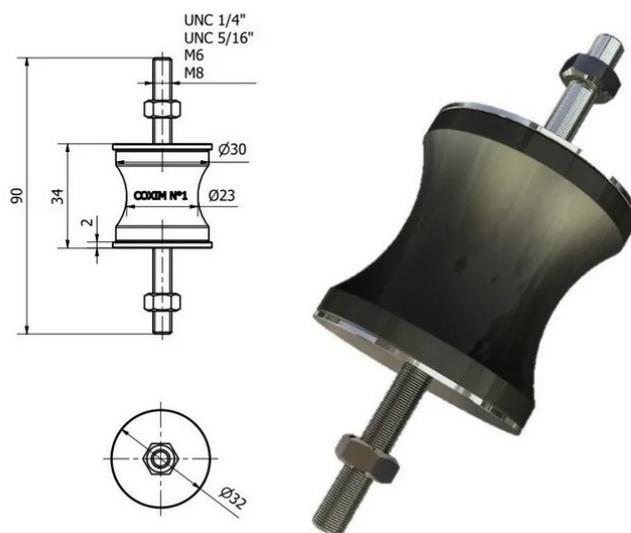
**Figura 45 - Modo de vibração 2 com frequência de 189,36 Hz**



Fonte: Autoria Própria (2022)

Esses modos ocorrem respectivamente em 179,04 Hz e 189,36 Hz, isso equivaleria a respectivamente a aproximadamente 10742 RPM e 11361 RPM, o equipamento em questão operara numa velocidade constante de 1800 RPM (30Hz), os valores de frequência encontrados para os modos de vibração são muito maiores que a velocidade de operação do equipamento, portanto o equipamento não deve entrar em ressonância com a estrutura e podemos considerar que parafusando a máquina ao solo ela está segura com relação as vibrações que poderiam causar danos a integridade da estrutura. Apesar disso é recomendado a utilização de um sistema de amortecimento utilizando coxins como os representados na Figura 46, objetivo é minimizar os efeitos das trepidações que podem ser ocasionadas durante a partida do Motor Diesel, eles devem ser instalados entre a estrutura e maquinas que serão instaladas nela (Motor Diesel e Alternador).

Figura 46 - Coxim sugerido na construção do equipamento.



Fonte: Vibra Stop (2022)

## 5 CONCLUSÕES

O estudo permitiu criar um modelo para um chassis de um Grupo Gerador Diesel de potência de 160 KVA, de posse do modelo do Motor Diesel e do modelo do Alternador que foram escolhidos, criou-se um modelo em ambiente CAD para acomodar os equipamentos, a partir desse modelo foi possível executar com uso do Método dos Elementos Finitos (MEF) simulações relacionadas ao comportamento da estrutura quando solicitada pelo peso dos componentes. A simulação estática permitiu analisar as tensões induzidas na estrutura e as deformações que a estrutura sofre, quanto as tensões a estrutura apresentou um coeficiente de segurança mínimo de 1,3, que foi considerado baixo para a aplicação, além disso a simulação das deformações indicou que o centro dos suportes de fixação do Motor Diesel e do Alternador apresentaram uma deformação além do aceitável, com valores de 0,558 mm e 0,539 mm respectivamente, para solucionar esse problema a estrutura foi otimizada, reforçando os pontos críticos com o uso de chapas mais grossas para a construção do equipamento, a partir dessa otimização foi possível adequar o coeficiente de segurança mínimo (FS) para um valor aceitável de 5,04. Já quanto as deformações, foi possível diminuir de 0,558 e 0,539 mm para respectivamente 0,106 e 0,108 mm, o que adequa a estrutura para a utilização, criando portanto uma estrutura coerente com relação aos critérios de falha estática.

Quanto a parte dinâmica do projeto, podemos concluir com a análise modal que as frequências e os modos de vibração não trazem riscos ao equipamento, sendo que a primeira frequência natural da estrutura está na faixa de 179,04 Hz o que está muito acima de frequência de operação do equipamento que é de 30 Hz (1800 RPM). É importante citar que a simulação modal foi feita considerando que a estrutura está parafusada ao solo através de pontos de fixação presentes nas longarinas, caso essa condição não seja utilizada na instalação do equipamento real, a estrutura apresentará comportamento diferente com relação as frequências naturais e modos de vibração.

Por fim podemos concluir que o estudo criou um modelo de chassis para a construção de Grupo Gerador Diesel de 160 KVA.



## REFERÊNCIAS

- ALVES, Avelino. **Elementos Finitos: A Base da Tecnologia CAE**. 6. ed. São Paulo: Érica, 2013.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS-ABNT. **Ações e segurança nas estruturas**: procedimento. ABNT, 2003.
- BENNETT, Sean. **Heavy Duty Truck Systems**. 5. ed. Nova Iorque: Delmar Cengage Learning, 2009. 1301 p.
- BRAGA, Lucas de Almeida. **Um estudo sobre o mercado de energia elétrica no Brasil**. 2018.
- CLÁUDIO, J. **Princípios de funcionamento, instalação, operação e manutenção de grupos diesel geradores**. 2011.
- CHIAVERINI, Vicente. **Aços e ferros fundidos**. Abm, 1977.
- DAMASCENO, Johnnathan Peres Carvalho. **Estudo de chaves de transferência para implementação de sistema de geração de energia com grupo gerador a diesel de emergência no CIOSP** (Centro Integrado de Operação da Segurança Pública) de Mossoró-RN. 2020.
- DOS REIS, Lineu Belico. **Geração de energia elétrica**. Editora Manole, 2000.
- FAKURY, Ricardo H.; SILVA, A. L. R. C.; CALDAS, Rodrigo Barreto. **Dimensionamento de elementos estruturais de aço e concreto**. 2016.
- FRITZEN, Marcos Antonio. **Viabilidade no uso de geradores a diesel no horário de ponta em uma unidade produtora de pintainhos**. 2014. Trabalho de Conclusão de Curso. Universidade Tecnológica Federal do Paraná.
- FROTA, Willamy Moreira et al. **Sistemas isolados de energia elétrica na Amazônia no novo contexto do setor elétrico brasileiro**. 2004.
- GUEDES, Manuel Vaz. **O alternador síncrono trifásico–modelização**. Faculdade de Engenharia–Universidade do Porto, 1996.
- HIBBELER, Russell Charles. **Resistência dos materiais**. Pearson Educación, 2010.
- IMIANOWSKY, Guilherme Wanka; WALENDOWSKY, Marcus Alberto. **Os principais aços carbono utilizados na construção civil**. Conselho regional de engenharia e arquitetura de Santa Catarina, Santa Catarina, p. 2-21, 2017.
- KUNZ, A.; PAULILLO, G. Curso de Atualização em energias do biogás. Módulo II - **Linhas de base para a produção e conversão de energia do biogás**. [S.l]. [s.n]. [2013]. 89 p.

LEANDRO, Vinicius Mazetto et al. **Análise estrutural de um chassi de semirreboque pelo método de elementos finitos**. 2019.

MACALOSSI, Pietro da Rocha et al. **Análise e dimensionamento de um edifício em estrutura metálica**. 2020.

MENDES, D. M.; COSTA, M. C.; LIMA, M. M. S. **Montagem de quadro de transferência automático para acionamento de grupo gerador**. (2013)

NORTON, Robert L.. **Projetos de Máquinas**: Uma Abordagem Integrada. 4. ed. Porto Alegre: Bookman, 2013. 1028 p.

PEREIRA, José Claudio. **Motores e Geradores**: Princípios de Funcionamento, Instalação, Operação e Manutenção de Grupos Diesel Geradores. 2011.

PEREIRA, Ricardo H. et al. Geração Distribuída de Energia Elétrica–Aplicação de Motores Bicomcombustível Diesel/Gás Natural. In: **3º Congresso Brasileiro de P&D em Petróleo e Gás**, Salvador–BA. 2005.

PERKINS, 1006A70TAG, **Technical Data Sheet** ,2022, Disponível em: [https://www.perkins.com/en\\_GB/products/new/perkins/electric-power-generation/fuel-optimised-models/1000002183.html](https://www.perkins.com/en_GB/products/new/perkins/electric-power-generation/fuel-optimised-models/1000002183.html)

RAO, Singiresu. **Vibrações Mecânicas**. 4. ed. São Paulo: Pearson, 2008. 424 p.

REIS, Elton F. dos et al. Desempenho e emissões de um motor-gerador ciclo diesel sob diferentes concentrações de biodiesel de soja. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 17, p. 565-571, 2013.

SALGADO, Jorge Manuel da Silva Oliveira. **Análise modal experimental aplicada a um componente estrutural automóvel**. 2012. Tese de Doutorado

SHIGLEY, Joseph. **Projeto de engenharia mecânica**. 7 ed. Porto Alegre. Ed. Bookman, 2005. 960 p.~

Vibra Stop, Coxim número 3, **Desenhos Técnicos**. Disponível em: <https://www.vibra-stop.com.br/produto/linha-coxim>. Acesso em 15/10/2022

WEG S.A, Folha de dados AG10250MI00AI B15T IP 21, **Folha de dados** ,2022, Disponível em: <https://www.weg.net/catalog/weg/BR/en/Generation%2CTransmission-and-Distribution/Generators/Alternators-for-Generator-Sets/Industrial/AG10-Line/AG10250SI10AI-B3T-IP21/p/14401629>. Acesso em 12/10/2022.