

PONTIFÍCIA UNIVERSIDADE CATÓLICA
DO RIO DE JANEIRO



Felipe Bonini de Oliveira

Projeto ótimo de um chassi de um robô de sumô.

Projeto de Graduação

Projeto de Graduação apresentado ao Departamento de Engenharia
Mecânica da PUC-Rio

Orientador: Anderson Pereira

Rio de Janeiro
Dezembro de 2017

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente ao meu orientador Anderson Pereira pela paciência e atenção durante o projeto. Junto a ele agradeço a todos os professores com quem tive a oportunidade de aprender durante essa jornada.

Agradeço a equipe Riobotz pela cooperação no desenvolvimento do trabalho.

Agradeço à minha família pelo apoio e investimento durante todos esses anos.

Agradeço a minha namorada Renata pelo carinho, paciência, solidariedade e compreensão durante essa jornada.

Agradeço aos meus amigos pela cumplicidade e entendimento dos momentos que não pudemos estar presentes.

Agradeço aos meus companheiros de trabalho em especial ao Cadu por representar a transição entre a PUC e o mercado de trabalho.

RESUMO

Projeto ótimo de um chassi de um robô de sumô

O objetivo desse trabalho é realizar um projeto através do ANSYS, que busca otimizar o chassi de um robô utilizado em batalhas de sumô pela equipe RioBotz. Uma das ferramentas que vem sendo utilizada, a otimização topológica começou a ser estudada nos anos 80 e vem evoluindo à medida que os avanços tecnológicos aumentam a capacidade de solucionar problemas numéricos. A otimização topológica em seu início teve grande aplicação na indústria aeronáutica, onde pode-se associar facilmente que os projetos buscam reduzir a massa do avião sem perder suas características.

Atualmente os softwares computacionais como o ANSYS vem tornando cada vez mais acessível a realização de projetos envolvendo os conceitos da otimização, isso vem possibilitando que a otimização esteja sendo disseminada em outros campos de atuação.

Palavras chaves: Otimização topológica; ANSYS; Redução de massa; Redução de volume.

ABSTRACT

Development of a digital microscopy system for automatic classification of hematite types in iron ore

The objective of this work is to carry out a project through ANSYS, which seeks to optimize the chassis of a robot used in sumo battles by the RioBotz. One of the tools that has been used, topological optimization began to be studied in the 1980s and has been evolving as technological advances increase the ability to solve numerical problems. The topological optimization in its beginning had great application in the aeronautical industry, where one can easily associate that the projects seek to reduce the mass of the airplane without losing its characteristics.

Nowadays computer software such as ANSYS has made it increasingly accessible to carry out projects involving the concepts of optimization, this has allowed optimization to be disseminated in other fields.

The objective of this work is to carry out a project through ANSYS, which seeks to optimize the chassis of a robot used in sumo battles by the RioBotz.

Key-words: Topology optimization; ANSYS; Mass reduction; Volume reduction

Sumário

1. INTRODUÇÃO	1
2. APRESENTAÇÃO DO PROBLEMA.....	2
2.1. CARREGAMENTOS.....	5
2.2. PREPARAÇÃO PARA SIMULAÇÃO.....	6
3. ETAPAS DO PROJETO.....	8
3.1. ANÁLISE ESTRUTURAL	9
3.1.1. <i>Engineering Data</i>	9
3.1.2. <i>Geometry</i>	10
3.1.3. <i>Model</i>	10
3.1.4. <i>Setup</i>	12
3.1.5. <i>Solution e Results</i>	14
3.2. OTIMIZAÇÃO TOPOLÓGICA	15
3.3. PÓS PROCESSAMENTO	18
3.4. SEGUNDO MODELO	21
4. RESULTADOS NUMÉRICOS.....	25
5. CONCLUSÃO	27
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	28

Lista de figuras

2.1 Vista isométrica da estrutura do robô.	2
2.2 Vista isométrica do chassi do robô.	3
2.3 Vista inferior do chassi.	3
2.4 Área a ser otimizada.	4
2.5 Pressão distribuída nos imãs.	5
2.6 Vista isométrica da peça sem redução de massa.	7
2.7 Peça simétrica sem redução de massa.	7
3.1 Visão do plano de trabalho do ANSYS.	8
3.2 Propriedades da liga de alumínio.	9
3.3 Malha utilizada na simulação.	11
3.4 Distribuição da qualidade na malha utilizada.	12
3.5 Condições de contorno do projeto.	13
3.6 Deformação total na peça original.	14
3.7 Tensão de Von Mises na peça original.	15
3.8 Região de otimização e exclusão vista superior.	17
3.9 Região de otimização e exclusão vista inferior.	17
3.10 Resultado da otimização.	18
3.11 Peça sugerida pelo ANSYS.	19
3.12 Validação da tensão.	20
3.13 Validação da deformação.	20
3.14 Geometria inicial.	21
3.15 Condições de contorno da nova simulação.	22
3.16 Layout sugerido na nova simulação.	23
3.17 Distribuição de tensão no chassi.	23
3.18 Deformação no chassi.	24
4.1 (a) Deformação na peça original. (b) Deformação na nova peça.	25
4.2 (a) Tensão na peça original. (b) Tensão na nova peça.	25

Lista de tabelas

2.1 Parâmetros da peça.	9
4.1 Resultados simulados	26

1. Introdução

O objetivo deste trabalho é analisar o comportamento mecânico do chassi utilizado por um robô usado em batalhas de sumô e propor uma solução otimizada do mesmo. A otimização terá por objetivo uma redução de massa do chassi utilizando o conceito da otimização topológica [1].

A otimização topológica é uma técnica numérica de análise de estrutura que busca a topologia ótima de uma estrutura, essa análise vem crescendo à medida que a capacidade de solucionar cálculos ajuda a solucionar funções desenvolvendo os métodos de análise numérica e elementos finitos. A otimização topológica busca alcançar o melhor design estrutural da peça, ou seja, saber a melhor maneira de distribuir material em uma determinada região e assim conseguir otimizar uma propriedade, ao custo de manter outras funções mecânicas desejadas como a rigidez, deformação, tensão entre outros.

Uma das vantagens da criação da peça utilizando OT, é a redução da quantidade de material necessária para fabricação da peça, pois o material será alocado onde haverá solicitação mecânica, que leva a diminuir o desperdício de material e por consequência, em uma diminuição do peso final da peça. A redução da massa é extremamente importante nos projetos atuais, uma vez que podemos associar essa redução há uma redução no custo total da peça.

Os estudos envolvendo OT começaram no final dos anos 80 nas universidades da Europa e EUA com a publicação do artigo “Generating Optimal Topologies in Structural Design Using a homogenization Method” por Martin P. Bendsoe e Noboru Kikuchi [1]. A partir daí as aplicações dos conceitos de otimização começaram a ser aplicados na indústria, principalmente nas áreas automobilística e aeronáutica, áreas essas que buscavam a redução do peso das peças para melhorar os custos e desempenho dos seus projetos. Atualmente existem outras áreas que vem utilizando os conceitos, como a área médica, que vem desenvolvendo próteses para a substituição de ossos no corpo humano.

2. Apresentação do Problema

Neste trabalho estamos analisando o comportamento do chassi do robô utilizado pela equipe Riobotz nas batalhas de sumô. A equipe Riobotz foi criada em 2003 e vem participando de várias competições nacionais e internacionais desde então.

A batalha de sumô é uma das categorias de combate onde o objetivo do robô é empurrar o oponente para fora da área de combate. A categoria possui algumas restrições para o desenvolvimento do robô, a massa total do robô não pode ultrapassar 3 kg, e o chassi pode ter no máximo 20 cm de largura e comprimento.

O chassi recebe uma solicitação de esforço devido a força entre os imãs e o tatame da competição, buscando encontrar uma solução ótima para a otimização da peça. Na figura abaixo vemos o esquema completo da peça a ser estudada.

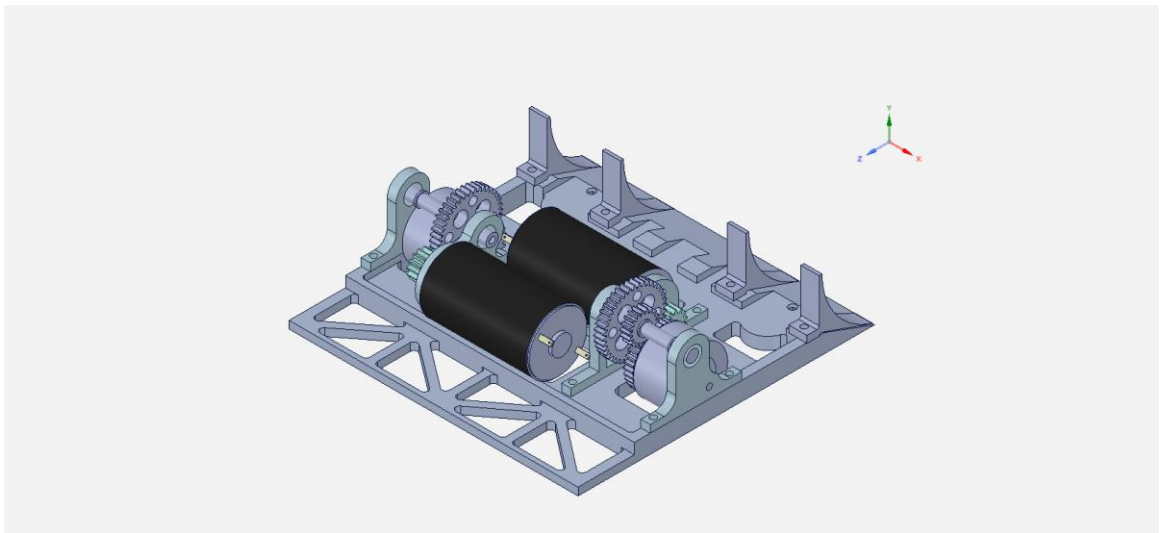


Figura 2.1: Vista isométrica da estrutura do robô.

Na Figura 2.1 é apresentado a estrutura completa, com os objetos que compõe a estrutura do robô. Agora podemos ir retirando as peças que não iremos analisar neste trabalho para chegarmos em nosso objeto de estudo.

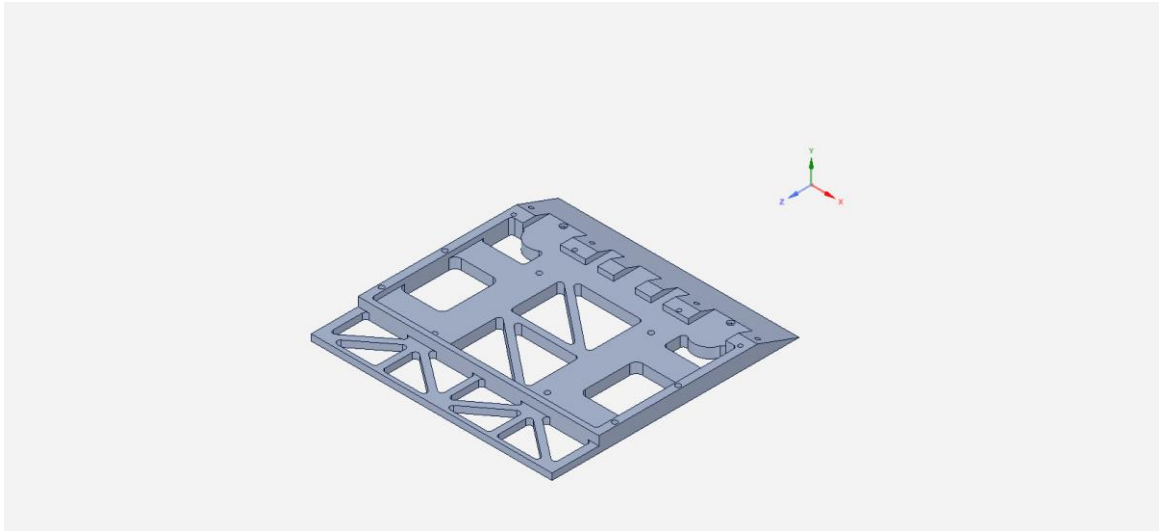


Figura 1.2: Vista isométrica do chassi do robô.

É importante observar que a estrutura atual do chassi já apresenta contornos que buscam uma redução de massa da estrutura, essa informação será necessária mais adiante quando definirmos a região que será otimizada.

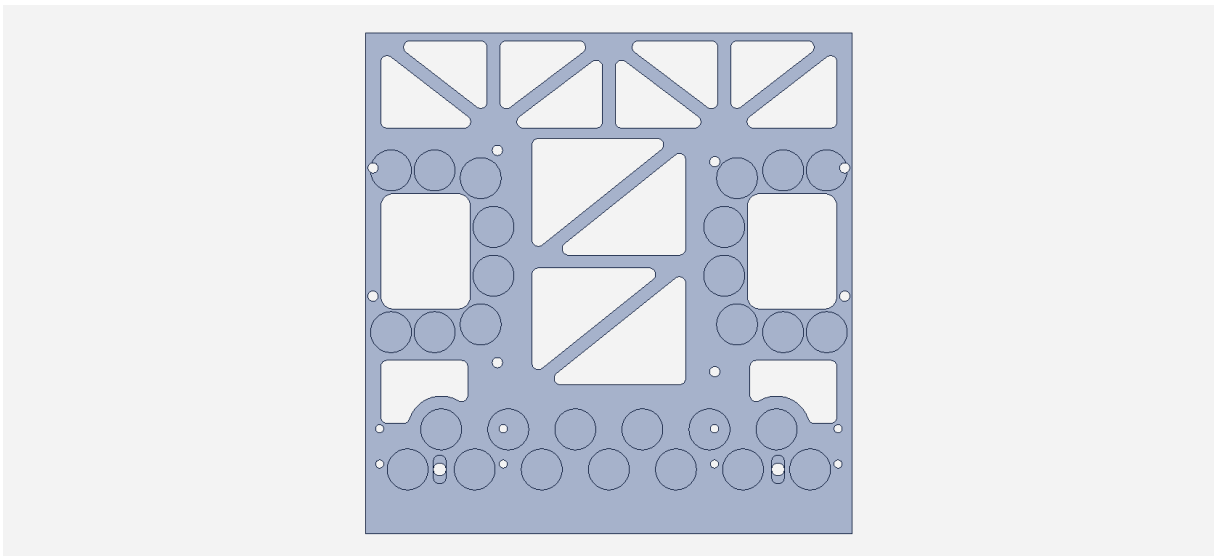


Figura 2.3: Vista inferior do chassi.

Na Figura 2.3, pode-se observar a disposição dos ímãs que estão representados pelos 29 círculos da figura. O objetivo do uso dos ímãs é criar uma

força entre o robô e o tatame que é metálico, para que o oponente não consiga levantar o robô e empurrá-lo para fora da área de batalha.

Na Figura 2.4 está destacada a área que consideraremos na otimização, essa área foi definida para que a princípio o resultado não alterasse a montagem do robô, ou seja, mesmo com a solução a ser apresentada nesse trabalho a equipe do Riobotz não precisará mudar a maneira de montar o robô.

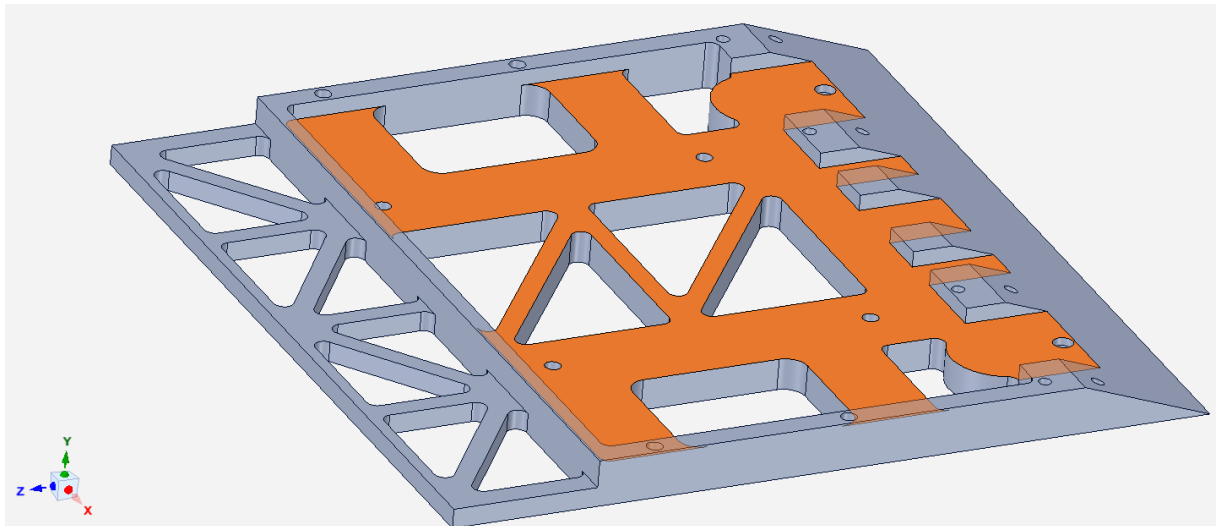


Figura 2.4: Área a ser otimizada.

Com a definição da região em que será concentrada o estudo, foi possível utilizar o ANSYS para otimizar a topologia. A partir da área através do seguinte raciocínio encontramos o volume da região a ser otimizada afim de encontrar a fração volumétrica. Complementando esse estudo, na Tabela 2-1 estão os parâmetros iniciais da peça original.

Desenho Inicial	
Massa total[kg]	0,408
Volume total [mm3]	142.700
Espessura da área otimizável [mm]	8
Área otimizável [mm2]	12.626

Tabela 2-1: Parâmetros da peça

Com os parâmetros acima, é possível determinar o volume da região otimizável, em busca de calcular a fração volumétrica da região.

$$V_o = A_o * E_o \quad (1-2)$$

Onde V_0 corresponde ao volume da região otimizável e A_0 e E_0 correspondem a área otimizável e espessura otimizável respectivamente.

$$V_0 = 12.626 * 8$$

$$V_0 = 101.008 \text{ mm}^3$$

Assim sendo, podemos determinar a fração volumétrica, que representa a fração de volume da região otimizável em relação ao volume da peça original.

$$F_v = \frac{V_0}{V_t} \quad (2-2)$$

$$F_v = \frac{101.008}{147.250}$$

$$F_v = 0,69$$

A fração volumétrica indica qual a máxima redução possível considerando a região escolhida, ou seja, considerando um caso em que seja possível retirar toda região otimizável a peça resultante teria uma redução de massa aproximadamente de 69%.

2.1. Carregamentos

A análise do problema considera a situação em que o robô está parado sobre o tatame, por isso as forças presentes no estudo são os pesos dos componentes, além da força gerada pelos ímãs na parte inferior do robô.

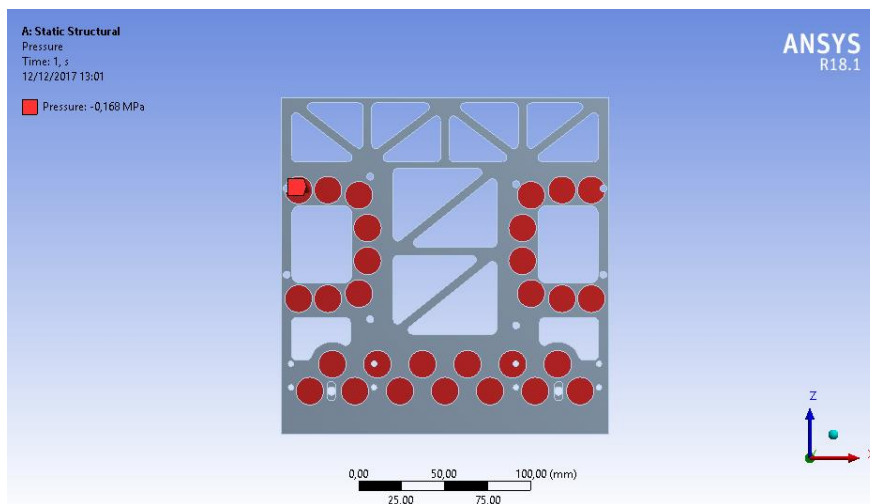


Figura 2.5: Pressão distribuída nos ímãs.

Para determinar a pressão gerada pelos imãs, não foi realizado nenhuma análise específica, uma vez que não consideramos de grande importância dado que a análise que será feita é linear elástica. Quando o robô é colocado sobre o tatame, a força feita pelos imãs é tal que uma pessoa tem muita dificuldade de retirá-lo sozinho da área de combate, por isso é utilizado uma alavanca para aumentar a distância entre os imãs e o tatame e assim diminuir a força entre eles. Usando deste fato, estimamos a força aplicada pelos imãs na mesma magnitude que um ser humano consegue aplicar com seus braços, que é na ordem de 1000N e assim foi calculada a pressão (P) exercida por eles.

$$P = \frac{F}{A} \quad (2-3)$$

$$P = \frac{1000}{29 * \frac{(8)^2}{4}}$$

$$P = 168.245 \text{ N/mm}^2$$

Pelas regras da competição, o robô para entrar na batalha pode possuir no máximo três quilos, considerando essa massa a força peso gerada por ela é da ordem de 30N que corresponde a aproximadamente 3% da força aplicada pelos imãs, com isso neste trabalho não será considerada a força devido a massa dos componentes.

2.2. Preparação para simulação

Após apresentar a situação inicial do problema, agora é necessário observar que a peça original não pode ir direto para simulação, pois ela apresenta regiões que já sofreram retirada de material para que houvesse uma redução do peso. Com isso essas regiões foram fechadas com preenchimento de material para que chegar em uma peça que será o objeto a ser analisado pelo software, esse novo layout está

representado na Figura 2-5. A parte de trás não foi modificada pois ela não está na região de interesse.

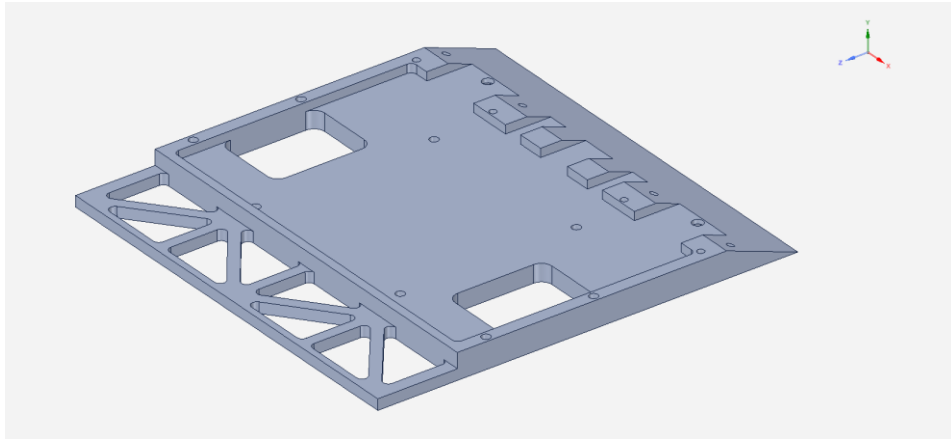


Figura 2.6: Vista isométrica da peça sem redução de massa.

Analisando a Figura 2.6, foi possível identificar uma simetria em relação ao eixo z, como podemos observar na Figura 2.7. Usar a simetria é importante uma vez que o software precisará de menos tempo para analisar a peça, além de poder ter um melhor refinamento da malha, que será melhor discutida no próximo capítulo.

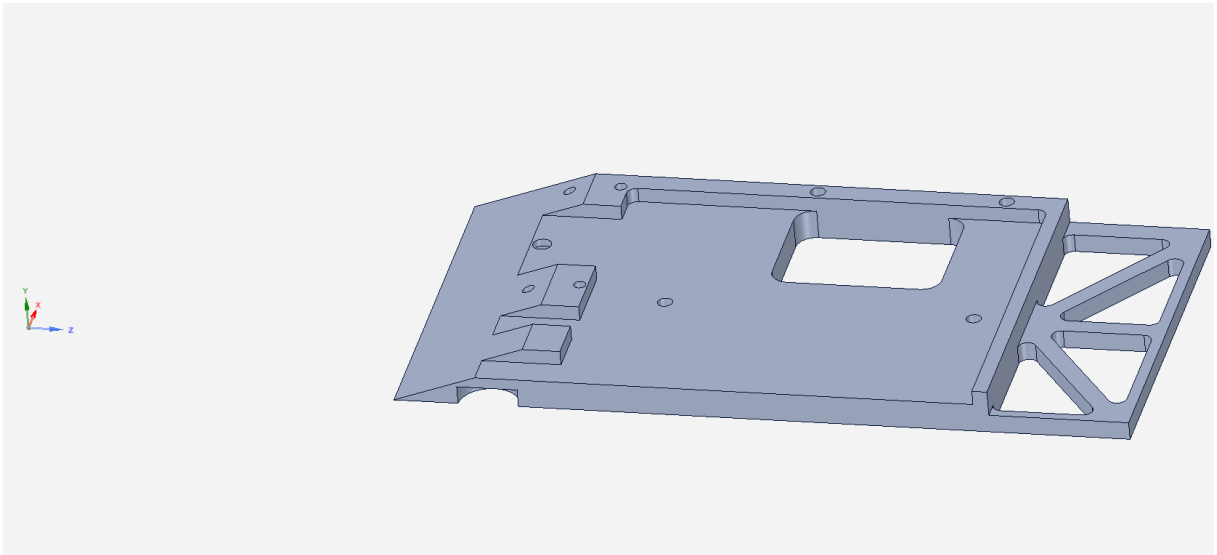


Figura 2.7: Peça simétrica sem redução de massa

3. Etapas do projeto

Atualmente programas de análise já tem módulos de otimização, entre eles o ANSYS criado nos anos 1970 hoje é mundialmente usado para simulações nas áreas fluídos, térmicas, fadiga, estruturais entre outros. Para melhor entender o projeto de otimização topológica, podemos dividi-los em etapas, análise estrutural inicial, otimização e pôr fim a validação.

Conforme foi mencionado no capítulo anterior, a Figura 2-2 representa a peça atual do chassi, com isso o objetivo do trabalho é propor uma solução que seja mais leve que a atual e que não apresente grande variação dos níveis de tensão e deformação. Para tal a peça representada pela Figura 2-2 foi submetida a análise linear elástica onde foram determinadas a tensão e deformação e os resultados serão discutidos mais à frente. As etapas discutidas a seguir mostrarão como foram realizadas as simulações dentro do software ANSYS obtido o resultado da peça otimizada.

Para começar o projeto utilizando o ANSYS, é utilizado o “Workbench” que funciona como um quadro para construir a matriz do projeto conforme Figura 3-1. Nesse quadro é possível ver as etapas do projeto e como cada etapa se relaciona com a próxima através das junções em azul. Este projeto será composto por três etapas, a análise estrutural, a otimização topológica e a validação dos resultados.

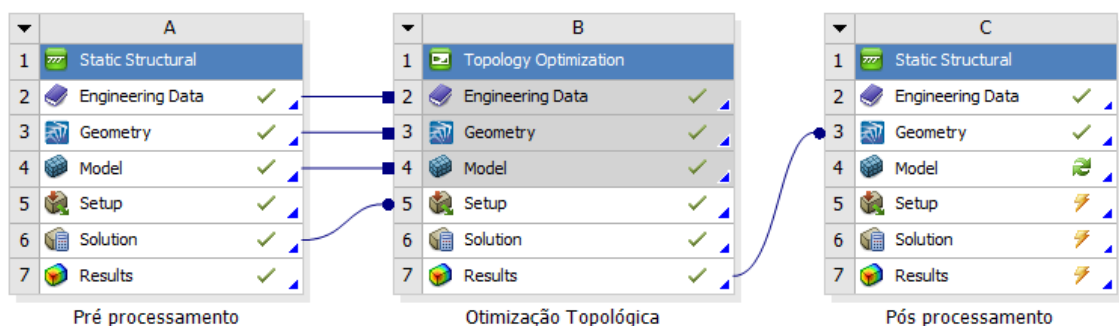


Figura 3.1: Visão do plano de trabalho do ANSYS.

3.1. Análise Estrutural

A análise estrutural inicial, é o primeiro passo para criação do projeto de otimização topológica. Nesta etapa da análise serão inseridos os parâmetros iniciais do projeto, como a peça a ser analisada, o tipo de material. Essa análise tem como objetivo estudar o comportamento e propriedades importantes do projeto como tensão e deformação, através do método de elementos finitos.

3.1.1. Engineering Data

A etapa começa definindo os materiais que serão utilizados através do campo “Engineering Data”. O software apresenta uma grande biblioteca de materiais, ou caso seja necessário é possível inserir um novo material com as propriedades desejadas. Para este projeto o material utilizado será uma liga de alumínio (6061-T6), as propriedades da liga estão dispostas na Figura 3.2.

A liga de alumínio 6061-T6 é a liga de alumínio de média resistência mais usada na prática [10], ela é uma boa escolha por apresentar características interessantes para o robô. Ela apresenta alta resistência mecânica, que representa o quanto um material é capaz de suportar quando um tipo de esforço lhe é exigido. Outra característica importante no que tange o projeto é ter uma conformação mecânica mais fácil.

	A	B	C
1	Property	Value	Unit
2	Material Field Variables	Table	
3	Density	2770	kg m ⁻³ ▼
4	Isotropic Secant Coefficient of Thermal Expansion		
6	Isotropic Elasticity		
12	Alternating Stress R-Ratio	Tabular	
16	Tensile Yield Strength	2,8E+08	Pa ▼
17	Compressive Yield Strength	2,8E+08	Pa ▼
18	Tensile Ultimate Strength	3,1E+08	Pa ▼
19	Compressive Ultimate Strength	0	Pa ▼
20	Isotropic Thermal Conductivity	Tabular	
23	Specific Heat	875	J kg ⁻¹ C ⁻¹ ▼
24	Isotropic Relative Permeability	1	
25	Isotropic Resistivity	Tabular	

Figura 3.2: Propriedades da liga de alumínio.

3.1.2. Geometry

Após definir o material da peça a ser utilizada, o próximo passo é inserir a peça que será analisada. No campo “Geometry” é possível criar ou editar uma peça através de um programa conectado ao ANSYS, o “Space Claim”, entretanto através do Space Claim é possível importar uma peça de outros softwares de desenho como o AutoCad e SolidWorks. Conforme mostrado no capítulo anterior, neste trabalho será utilizado nas simulações a versão simétrica do chassi vide Figura 2.6. Fazendo isso, estaremos concentrando o recurso computacional em uma região menor para assim poder realizar uma análise mais refinada sem necessariamente aumentar o tempo gasto para solucionar a análise.

3.1.3. Model

Após as definições iniciais serem inseridas, o próximo passo é realizar a análise linear elástica que é o objetivo da etapa inicial. O campo “Model” utiliza outro subprograma o “Mechanical” para analisar a peça definindo alguns parâmetros importantes para a análise de projeto. O software para realizar a análise, utiliza métodos dos elementos finitos para encontrar a solução.

No âmbito da engenharia de estruturas, o método de elementos finitos (MEF) tem como objetivo a determinação do estado de tensão e de deformação de um sólido de geometria arbitrária sujeito a ações exteriores [3].

A malha de elementos é a discretização do domínio representado por finitos elementos e nós. Na Figura 3.3 é possível observar um exemplo de malha utilizada na simulação do chassi, essa malha apresenta 357.062 nós e 234.975 elementos.

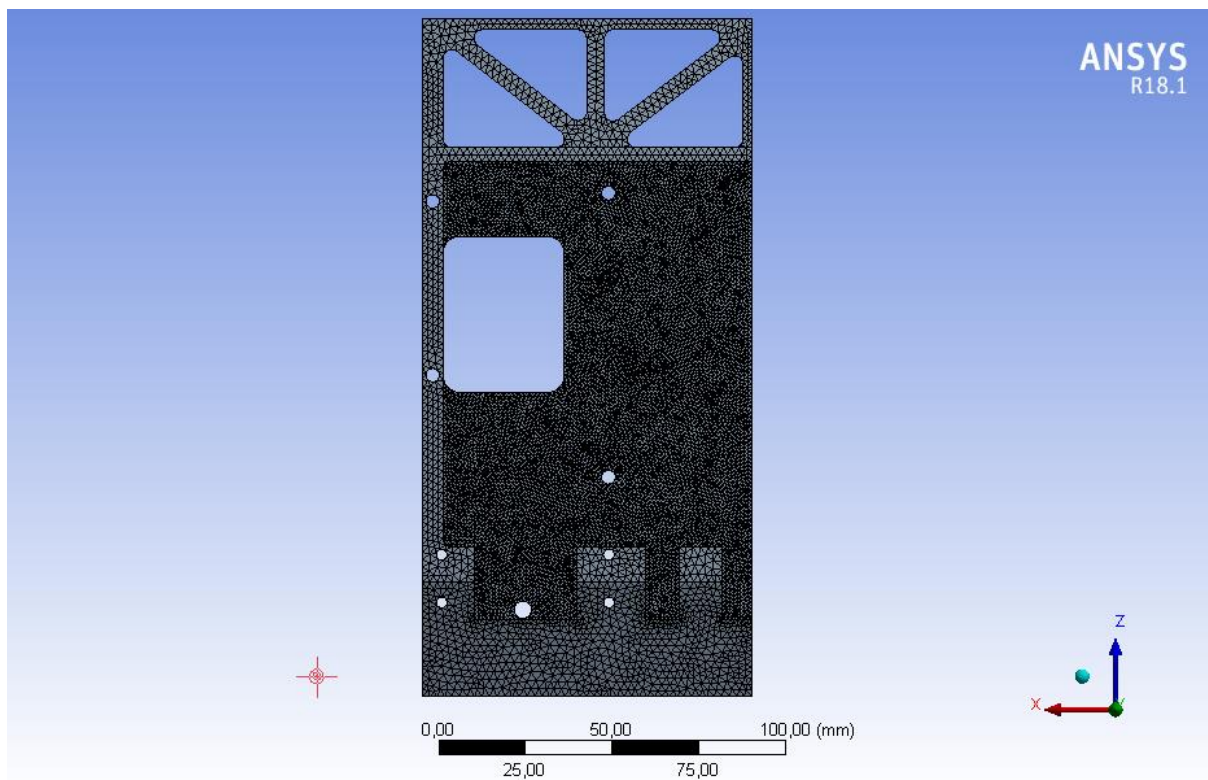


Figura 3.3: Malha utilizada na simulação.

O ANSYS apresenta uma biblioteca de elementos para criação da malha, cabe ao projetista ajustar a malha para melhor definir a malha que será alocada na peça que será analisada. Para realizar uma boa análise é importante que a malha seja capaz de reproduzir com qualidade os detalhes da peça [5], entretanto é preciso tomar cuidado pois sendo muito preciso pode acarretar em um tempo de análise elevado. Dado isso o projetista precisa mensurar o custo benefício em se analisar uma peça com uma riqueza de detalhes muito grande em relação a uma análise generalista sem tanta riqueza de detalhes, porém, uma análise rápida.

Para quantificar a qualidade da malha o software apresenta o “*Element Quality*”, que analisa os elementos e verifica o quão deformado o elemento está em relação ao elemento sem deformações como mostrado na Figura 3.4. Neste gráfico é possível observar a distribuição normal da qualidade do elemento representado em uma escala que varia de zero a um, onde quanto mais próximo de um mais próximo do elemento sem deformações o elemento analisado está. Em projetos é razoável utilizar como referência para o parâmetro média de elementos 0,80 [4] para considerar a qualidade da malha.

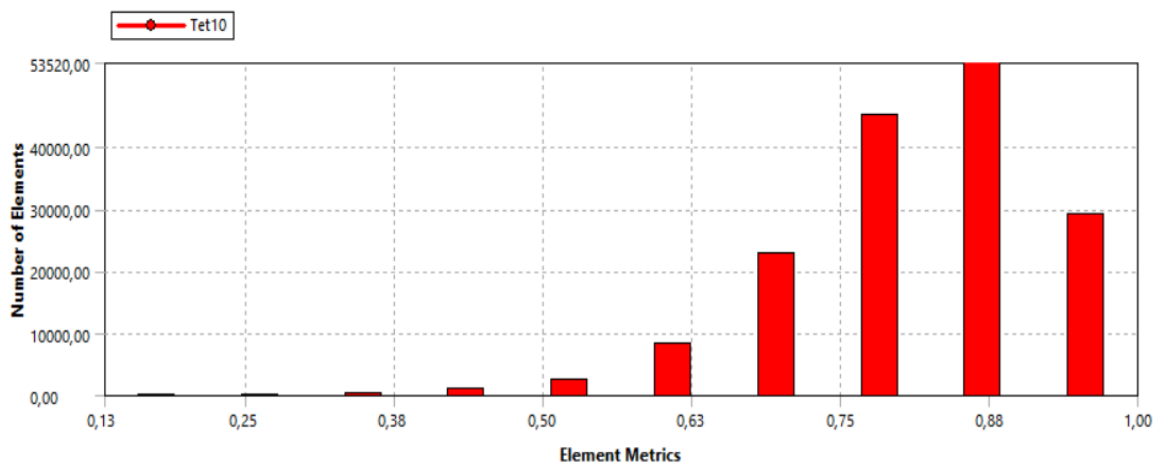


Figura 3.4: Distribuição da qualidade na malha utilizada.

Neste trabalho para obter um refinamento da malha, será analisado o tamanho dos elementos, ou seja, para aprimorar o refinamento da malha diminuimos o tamanho do elemento, fazendo isso estaremos indiretamente foi variado o número de nós e elementos presentes na peça o que gerou uma malha de melhor qualidade como mostrado acima.

3.1.4. Setup

Depois de definir a malha de elementos finitos que será utilizada, precisamos definir as condições de contorno do problema, pelo programa podemos inserir forças, pressões, pontos de apoio além de considerar situações dinâmicas. Na situação de projeto do chassi, a condição de contorno é representada pela Figura 4-4.

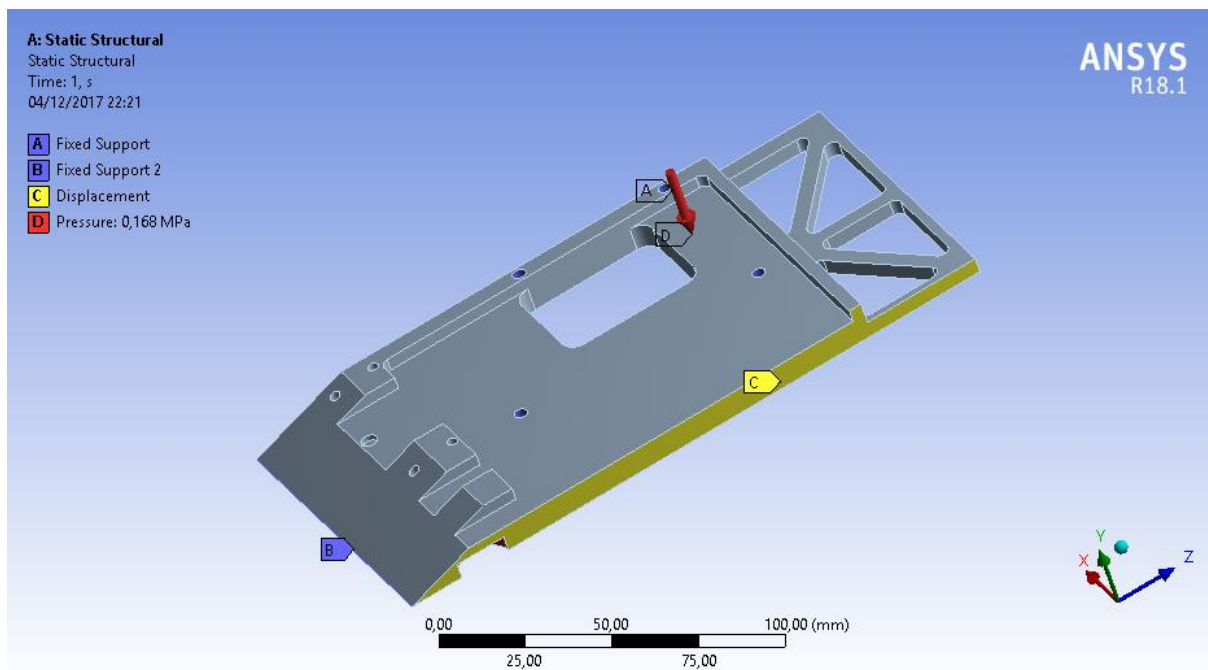


Figura 3.5: Condições de contorno do projeto.

Como o objeto de estudo é o chassi do robô, na Figura 4.4 não estão sendo representadas algumas peças do robô. Um desses itens são as rodas, que representam na análise estática um dos pontos de contato com o tablado. Com isso a condição de apoio está sendo transferida para o apoio do mancal que sustenta as rodas.

Outro ponto de contato é a parte da frente do chassi, como falado anteriormente objetivo do combate é empurrar o adversário para fora da área de combate e para isso a lâmina do robô necessita estar o mais próximo quanto possível em relação ao solo para conseguir passar por debaixo do outro robô e assim conseguir retirá-lo da arena.

O contraponto que impede que um robô seja colocado a fora da arena é a reação imposta pelo conjunto de ímãs. Neste trabalho simularemos a força imposta pelos ímãs através da distribuição de pressão pela área dos ímãs.

Para realizar a simulação considerando o modelo simétrico, é necessário considerar que no eixo de espelhamento a peça não possa se deslocar na direção ao eixo x, podendo apenas deslocar nos eixos y e z.

3.1.5. Solution e Results

Depois de definir todas as condições iniciais que serão utilizadas na simulação, o próximo passo é calcular as tensões e deformações presentes no modelo. É importante conhecer os resultados das tensões e deformações pois eles serão um dos balizadores para validar se o projeto otimizado atende dentro de uma tolerância as mesmas respostas da peça original. Para este projeto, estamos interessados em conhecer a deformação total e a tensão de von Mises.

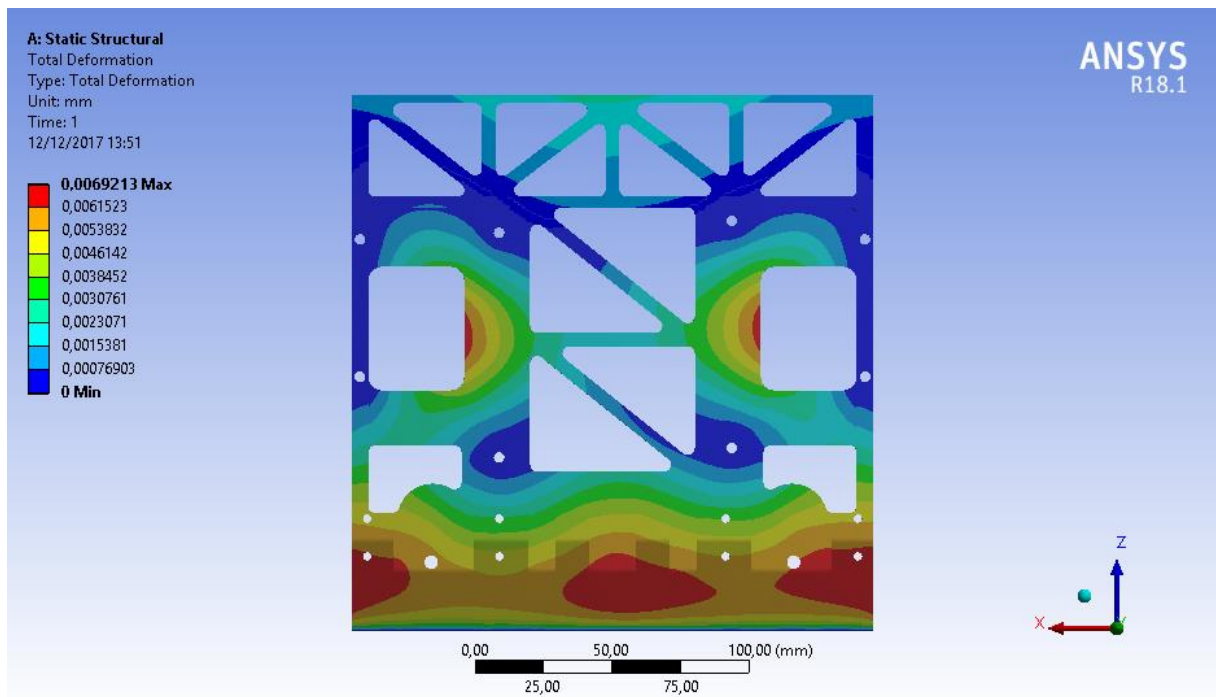


Figura 3.6: Deformação total na peça original.

Na Figura 3.6 está demonstrado a distribuição da deformação total na peça, essa deformação pode ser equacionada da seguinte maneira.

$$U = \sqrt{(u_x)^2 + (u_y)^2 + (u_z)^2} \quad (3-1)$$

Onde u_x , u_y e u_z representam a deformação nas direções x, y e z respectivamente.

Nota-se que as maiores deformações estão associadas a posições próximas a regiões onde tem imãs, na parte frontal e próximo as rodas.

Na Figura 3.7 apresenta a distribuição da tensão, onde apresenta seus picos próximos a regiões de suporte, ou seja, perto dos suportes das rodas e da parte frontal do chassi.

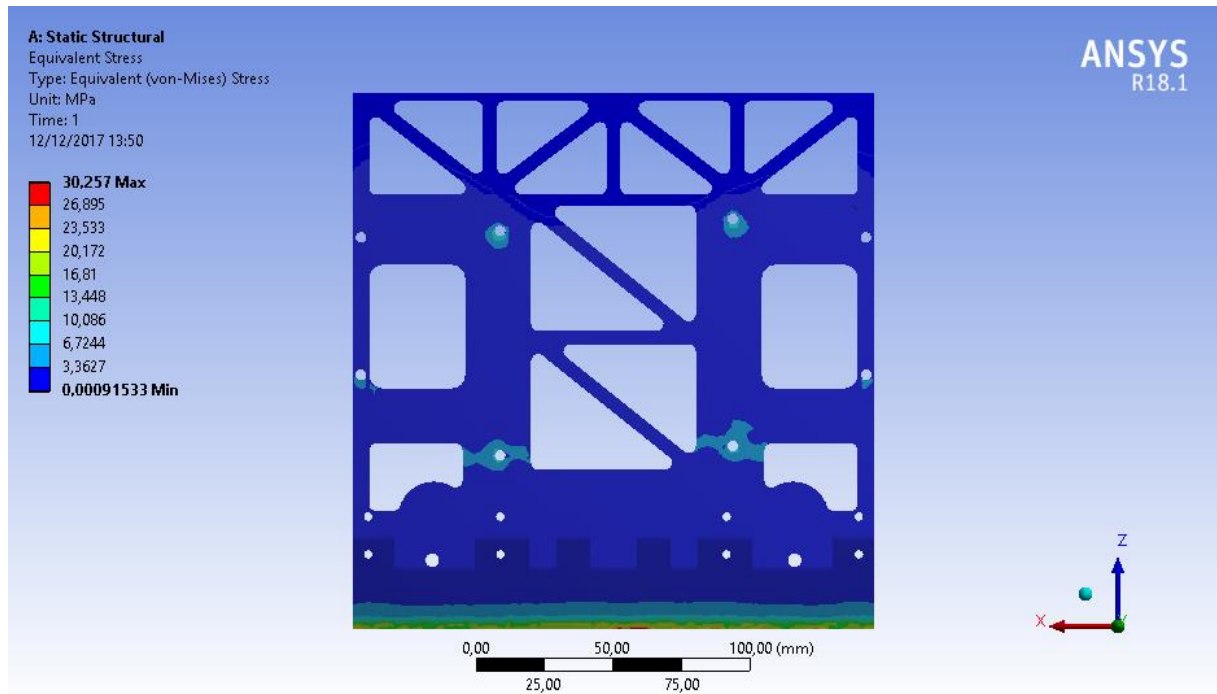


Figura 3.7: Tensão de von Mises na peça original.

Com isso é terminada a análise inicial do problema, lembrando que estes resultados serão utilizados mais à frente na etapa de validação, onde será realizada uma comparação entre estes resultados e o da peça otimizada.

3.2. Otimização topológica

A etapa de otimização topológica começa importando as informações dos itens “Engineering Data”, “Geometry”, “Model” e “Solution” provenientes da etapa anterior.

Os primeiros estudos envolvendo a otimização topológica começaram a ser realizados no final da década de 80[1], partindo da necessidade de realizar uma otimização mantendo inalterado o modelo de elementos finitos utilizados no processo de otimização [6].

A otimização topológica tem como objetivo buscar a melhor distribuição de material dentro da área ou domínio de projeto. Conforme dito anteriormente, uma das vantagens da otimização topológica, é a distribuição do material ser realizada sem

alterar a malha de elementos, com isso cada elemento assume uma representatividade binária 0 ou 1, onde 0 representa a não necessidade de material, ou seja, um buraco e 1 representa a total necessidade desse elemento.

Através do modelo de material SIMP (“Solid Isotropic Material with Penalization”) [7], [8] consiste em buscar uma forma de suavizar a grande discrepância gerada pelos elementos que variam entre 0 ou 1. Com isso o modelo prevê que cada elemento possa ter valores intermediários entre 0 e 1 seguindo a seguinte relação da função de distribuição de densidades [6]. A otimização busca calcular uma função custo:

$$c(x) = \mathbf{U}^T \mathbf{K} \mathbf{U} = \sum_{e=1}^N (x_e)^p u_e^T k_o u_e \quad (3-2)$$

Sujeito as seguintes condições:

$$\frac{V(x)}{V_o} = F_v \quad (3-3)$$

$$\mathbf{U} \mathbf{K} = \mathbf{F} \quad (3-4)$$

Onde os vetores **U** e **K** representam respectivamente a matriz de deslocamento, p é o termo de penalização usado pelo método SIMP para relaxar a solução para que o resultado volte a ser um contínuo.

Seguindo a realização do projeto, para realizar a otimização no ANSYS é necessário que sejam definidos alguns parâmetros.

O projetista pode optar por não querer realizar a otimização em toda a peça que está sendo analisada, por isso é definida a região de otimização e a região de exclusão. Como o próprio nome já diz a região de otimização, corresponde ao espaço onde o software irá buscar a melhor alocação de material mediante aos parâmetros definidos. A exceção dessa área corresponde a região de exclusão, ou seja, corresponde ao espaço onde o software manterá o formato inalterado, essa região normalmente é a região de contorno.

Nas figuras a seguir está demonstrado ambas as regiões, tanto para parte superior do chassi quanto para a inferior.

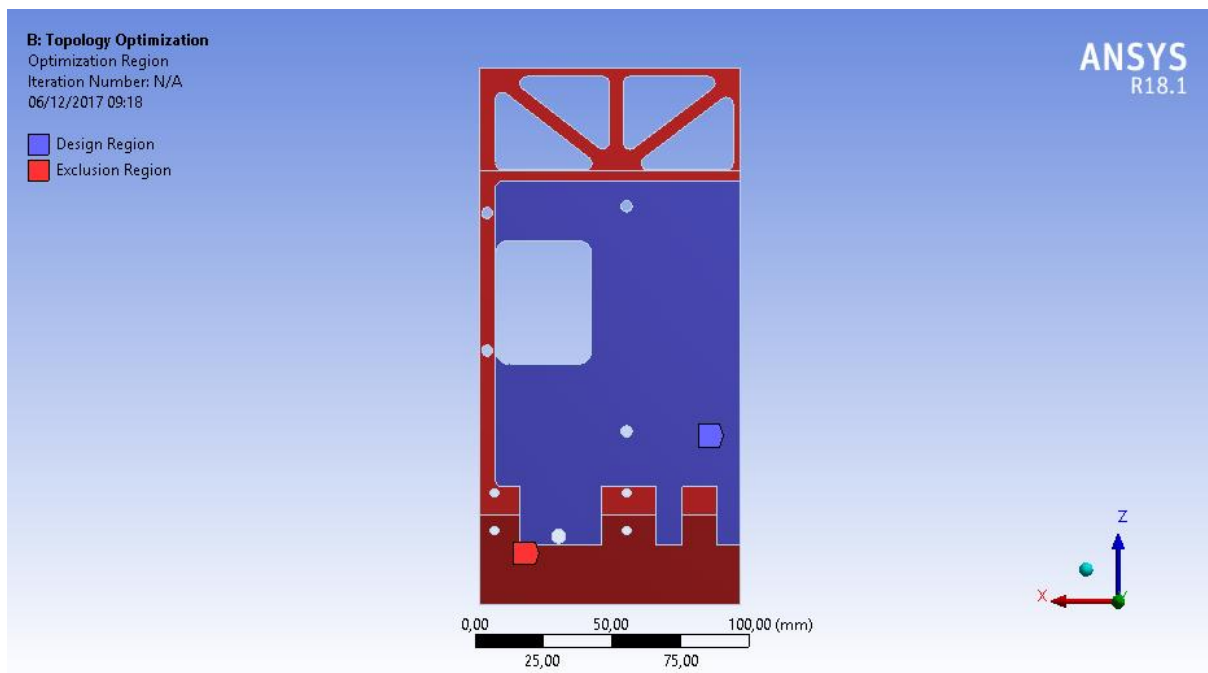


Figura 3.8: Região de otimização e exclusão vista superior.

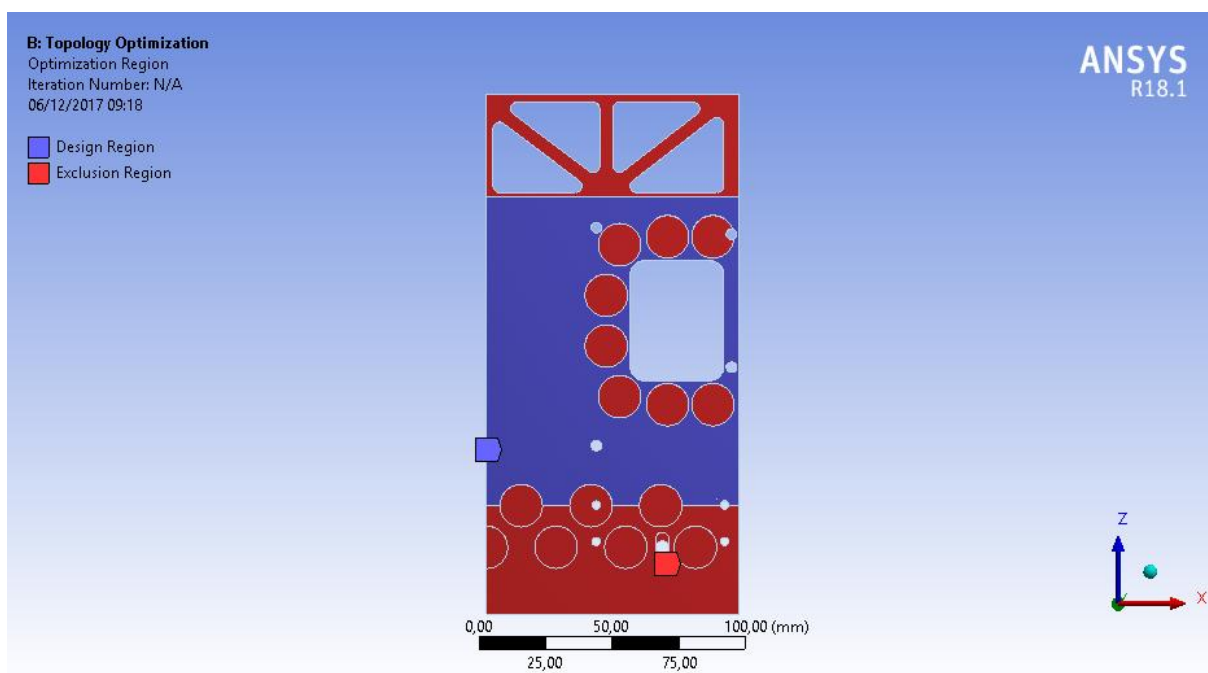


Figura 3.9: Região de otimização e exclusão vista inferior.

Outro parâmetro para ser ajustado é a fração volumétrica que será ajustado para que o programa limite o software a manter pelo menos 50% do volume inicial. A Figura 3.10 apresenta o resultado da otimização.

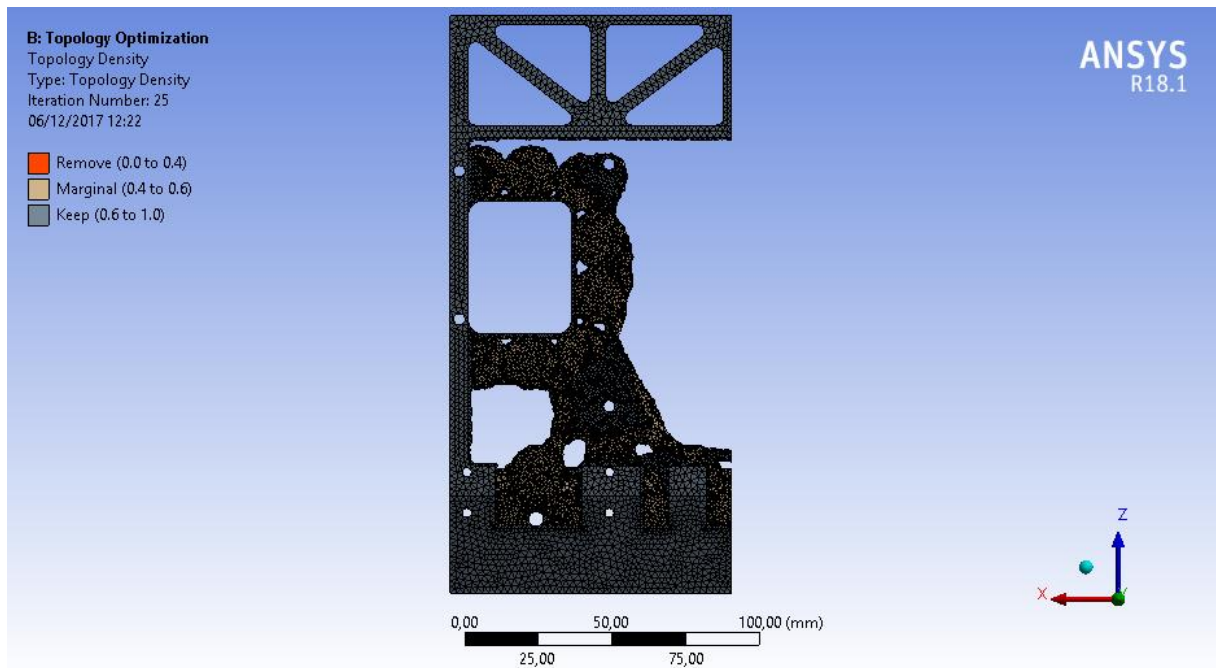


Figura 3.10: Resultado da otimização.

3.3. Pós processamento

Após realizar as etapas anteriores da análise da estrutura e a otimização, o resultado precisa passar por um processo de validação. O layout sugerido pelo programa muitas vezes pode representar o layout ótimo em relação a massa, porém pode ser de difícil fabricação. Por isso cabe ao projetista avaliar se o resultado é viável em todas os pontos, ou se é necessário algum tipo de intervenção.

No ANSYS podemos avaliar os resultados da otimização dentro do mesmo projeto, utilizando outro bloco de análise estática, dessa maneira o resultado do bloco da otimização passa ser parâmetro de entrada desse novo bloco. Assim repetindo o procedimento de colocar uma peça dentro programa como foi feito na primeira etapa, pode-se utilizar o Space Claim para fazer essa validação.

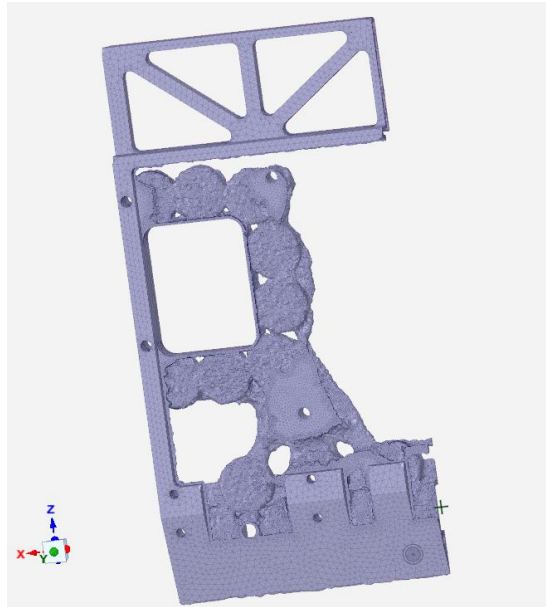


Figura 3.11: Peça sugerida pelo ANSYS.

O projeto busca encontrar uma solução que não apresenta variação na altura do chassi, para que este layout possa ser fabricado utilizando a técnica de corte com jato de água, como não é o tema do nosso estudo o processo de fabricação não será melhor debatido. Com isso uma das formas de obter o melhor design para peça é fazer a análise de um plano da peça, e por fim extrudar o resultado a fim de obter a peça otimizada.

Por possuir os detalhes mais importantes da peça que incluem a disposição da peça, a análise foi feita na face inferior da peça. Como é sabido, na avaliação da peça foi procurado não deixar cantos vivos, pois é um grande concentrador de tensão, ou seja, essas regiões tendem a ter um acúmulo da concentração o que pode levar a uma falha da estrutura.

Após a definição do layout ótimo, é necessário avaliar as tensões e deformações da peça otimizada afim de verificar que com a otimização não trouxe grandes perdas em relação as propriedades mecânicas.

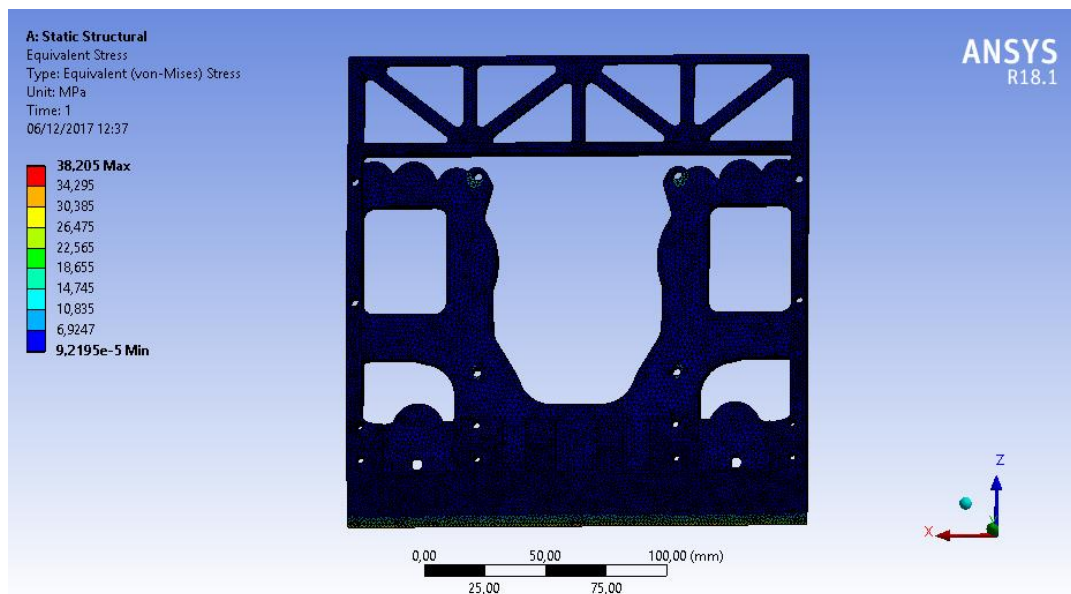


Figura 3.12: Validação da tensão.

Analizando a peça resultante, podemos ver que a tensão máxima é maior do que a peça original o que era esperado, é importante mencionar que mesmo com esse aumento da tensão a máxima tensão está abaixo do limite de escoamento do material mesmo considerando um fator de segurança. Em relação a deformação o resultado assim como a tensão apresentou um acréscimo em relação a peça inicial, porém a variação não representa grande mudança na deformação da peça conforme mostra a Figura 3.13.

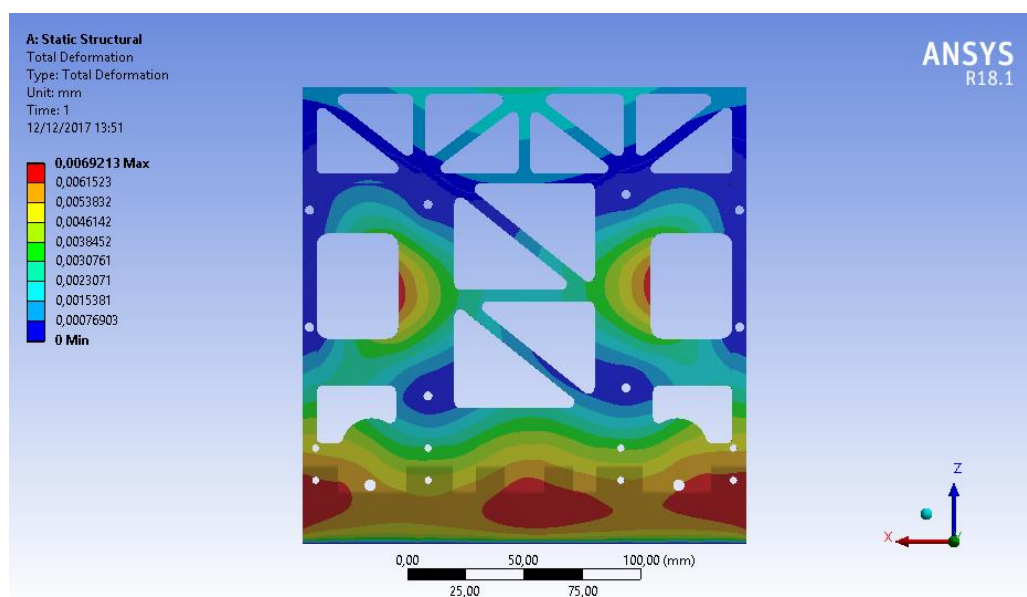


Figura 3.13: Validação da deformação.

Como resultado, a solução apresentada representa uma redução na massa do chassi de 18% aproximadamente, passando de 408 gramas para 340 gramas. Assim podemos calcular o novo volume da região que foi otimizada para estimar o ganho em massa, através da razão volumétrica como:

$$R = \frac{121.440}{147.250} = 82\% \quad (3-3)$$

Esse resultado representa uma redução de 18% na redução do volume considerando a otimização topológica.

3.4. Segundo modelo

Após concluir o projeto que foi apresentado anteriormente, agora buscaremos encontrar uma outra solução para o chassi. Para chegar nessa nova simulação partimos da configuração do plano inferior da peça conforme a Figura 2.6. Conforme mostra a Figura 3.14, a parte traseira que era vazada agora foi fechada para que a simulação chegue em uma nova sugestão de layout. O material utilizado é o mesmo, sendo assim o resultado de desenho que será utilizado nas simulações está na figura abaixo.

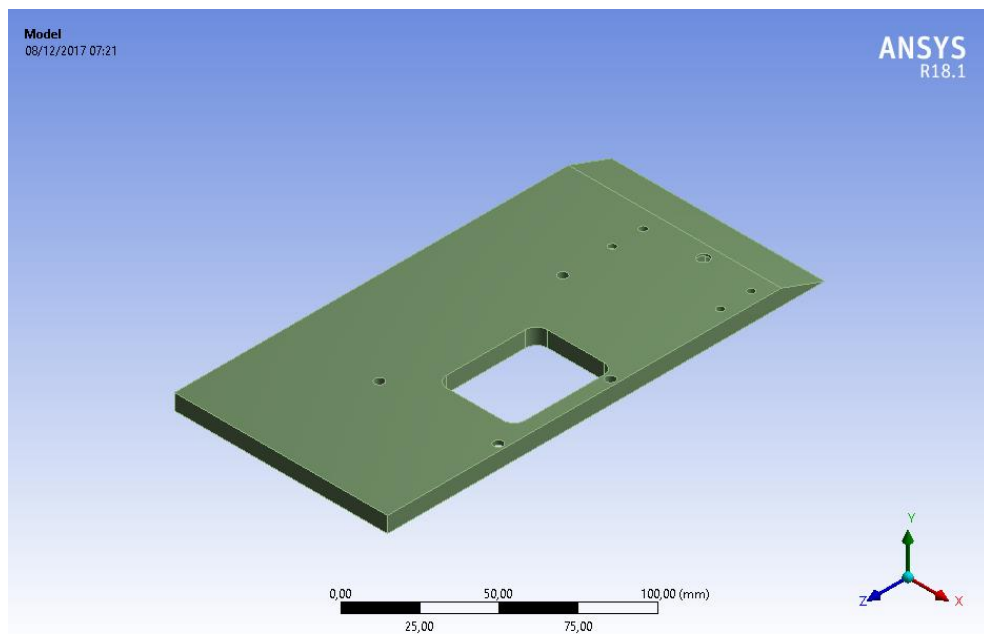


Figura 3.14: Geometria inicial.

Para essa nova simulação alteraremos as condições de contorno, ou seja, para essa nova simulação foi mantida a aplicação da pressão exercida pelos imãs, o

suporte tanto na parte frontal quanto nos apoios das rodas, porém agora consideramos a aplicação de uma pressão ortogonal a lateral e a traseira com a mesma magnitude da pressão exercida pelos ímãs.

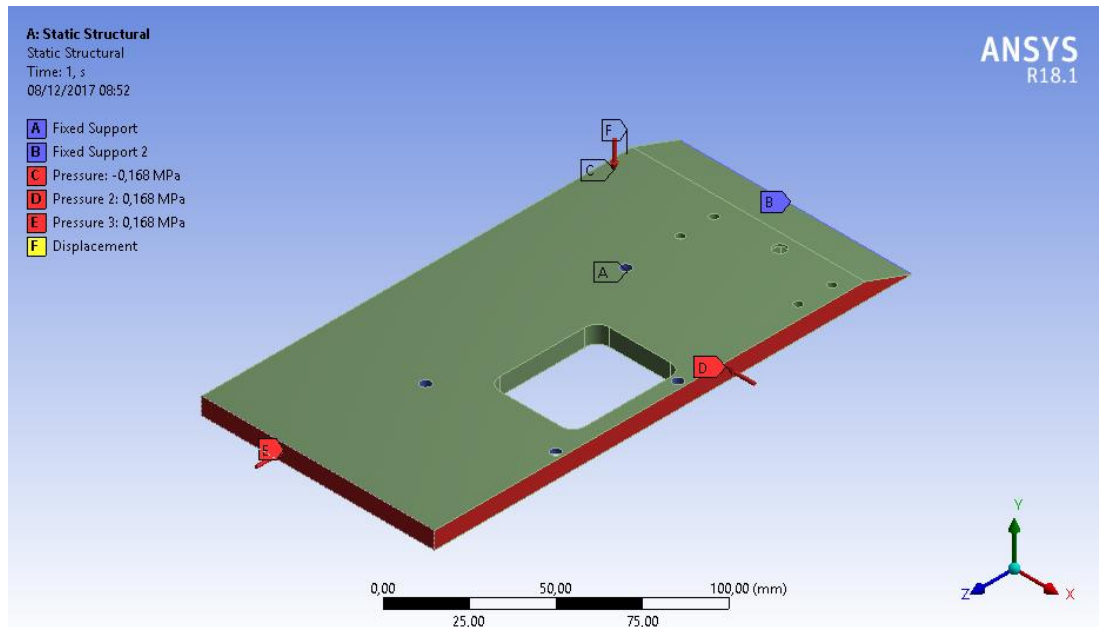


Figura 3.15: Condições de contorno da nova simulação.

As pressões laterais e traseiras mostradas na Figura 3.15, representam a carga devido ao contato com outro robô, onde em uma luta o robô pode ser atingido tanto lateralmente quanto receber uma carga traseira.

Com isso seguimos os passos mostrados nesse trabalho em busca de obter um layout ótimo. O resultado desse layout foi comparado com o resultado inicial de deformação conforme a Figura 3.5 e caso a variação fosse elevada, o processo mencionado acima era repetido, e a cada repetição era aumentado a espessura da chapa.

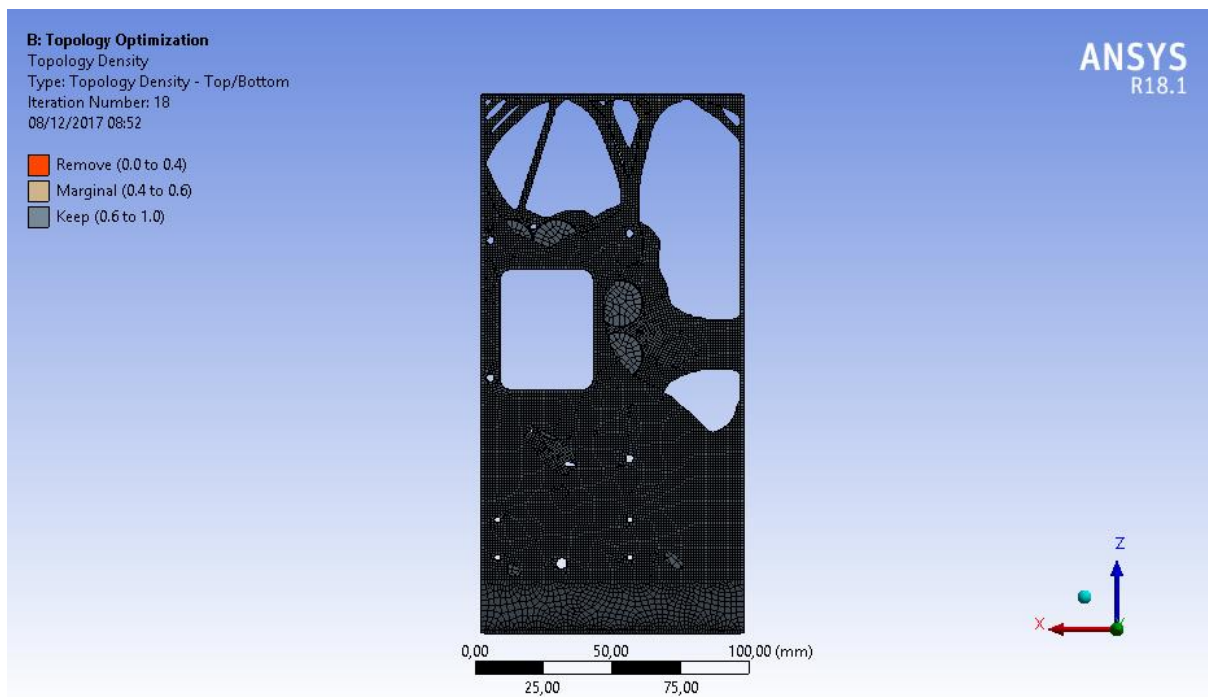


Figura 3.16: Layout sugerido na nova simulação.

Esse processo foi repetido diversas vezes até chegarmos a espessura de 7mm que melhor representou o layout conforme a Figura 3.16. Realizando a validação da peça essa configuração resultou nos seguintes resultados de tensão e deformação.

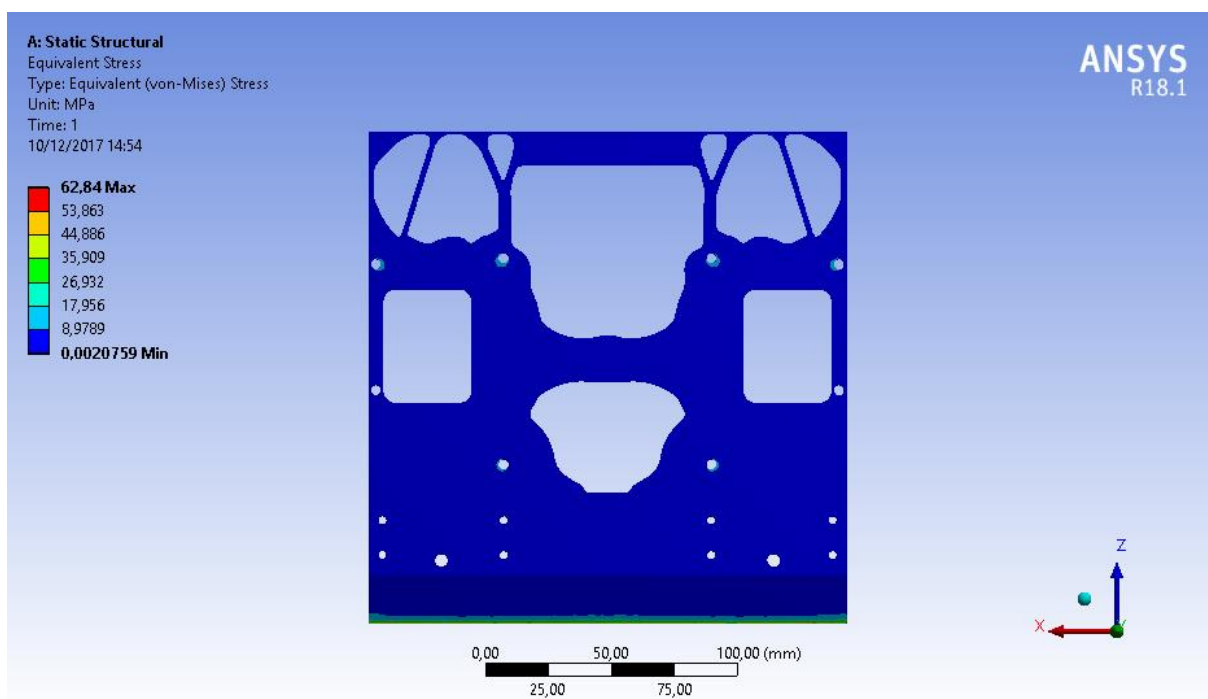


Figura 3.17: Distribuição da tensão no chassi.

Assim como na simulação do projeto anterior, as variações da tensão e deformação calculadas nessa simulação são maiores que a da peça original, porém ainda assim a tensão é muito menor do que o limite de escoamento e a deformação muito baixa na ordem de micrometro, sendo assim esse resultado do ponto de vista da tensão e deformação pode ser aceito.

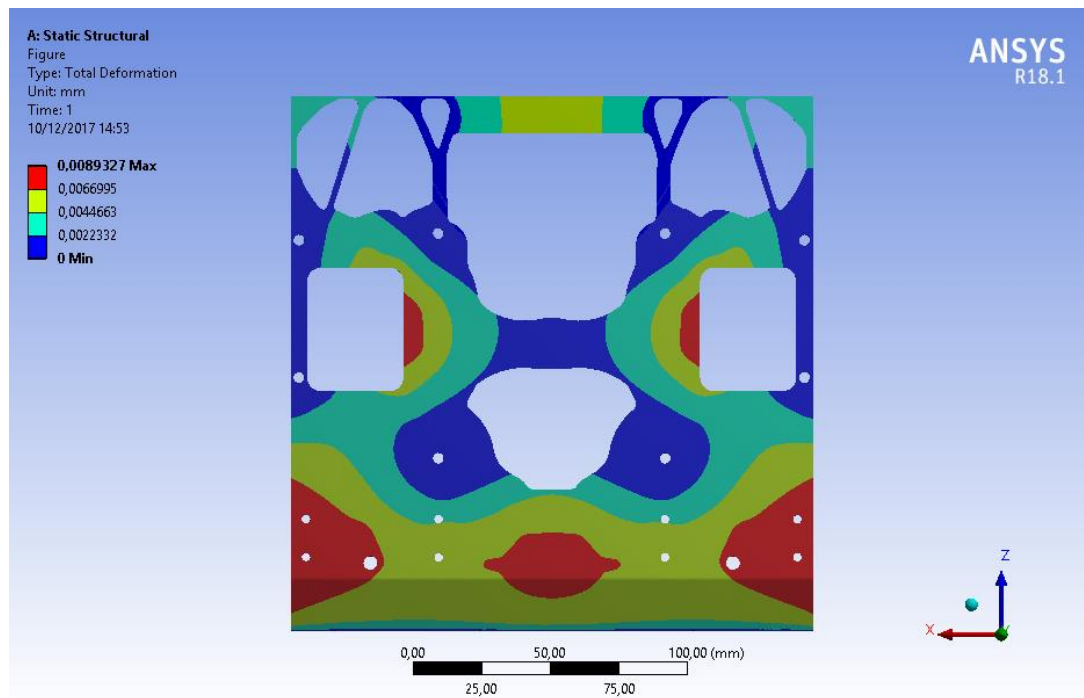


Figura 3.18: Deformação no chassi.

Em relação a massa, essa nova simulação representa uma redução ainda maior passando de 408 gramas para 343 gramas o que representa uma redução de massa de aproximadamente 16%. Calculando a razão volumétrica total como:

$$R = \frac{123.930}{147.250} = 16\% \quad (1-4)$$

4. Resultados Numéricos

Conforme mencionado anteriormente, os resultados apresentados na simulação do primeiro modelo mostram uma redução de 18% na massa do chassi. Agora podemos analisar comparativamente como é a deformação na nova peça em relação a peça original.

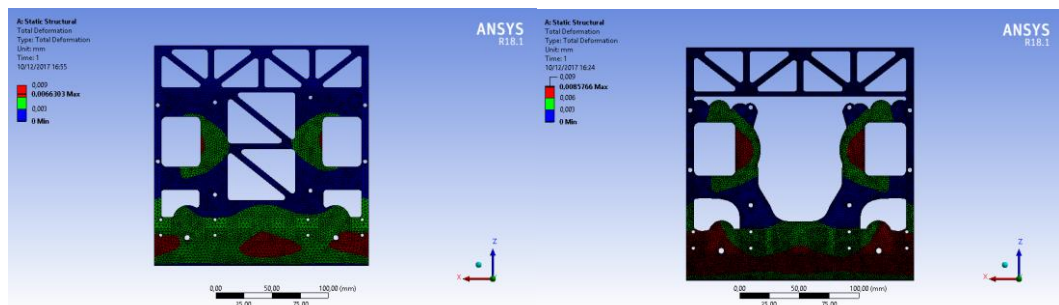


Figura 4.1: (a) Deformação na peça original. (b) Deformação na nova peça.

A redução da massa não trouxe grandes variações na deformação na peça, visto que a deformação passou de $6,9 \times 10^{-3} mm$ para $8,6 \times 10^{-3} mm$.

Ao fazer a mesma análise para a distribuição da tensão conforme mostra a Figura 4.2, verificamos um aumento expressivo da tensão. Entretanto mesmo com esse súbito aumento a tensão não se aproxima do limite de escoamento do material utilizada mesmo considerando uma margem de segurança.

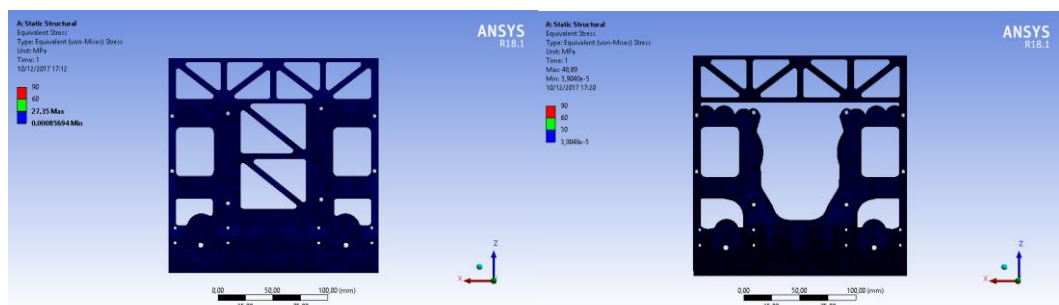


Figura 4.2: (a) Tensão na peça original. (b) Tensão na nova peça

Na Tabela 4.1 podemos ver um resumo dos resultados obtidos considerando ambos os modelos, onde podemos perceber que apesar da diferença de layout entre os modelos, ambas as soluções apresentaram resultados próximos em relação a deformação e redução de massa.

RESULTADOS SIMULADOS			
	Deformação [mm]	Tensão [MPa]	Massa [g]
Desenho Original	0,0069	30,3	408
Primeiro modelo	0,0086	38,2	340
Segundo modelo	0,0089	62,8	343

Tabela 4-1: Resultados simulados

5. Conclusão

Após a análise do projeto, é possível verificar a importância da utilização do método da otimização topológica aplicada a projetos. Os resultados do projeto mostraram ser satisfatórios, representando uma redução de massa de aproximadamente 18%. Esse resultado implica em uma oportunidade de aprimoramento de outros elementos do robô, como por exemplo um motor de potência superior, permitindo que o robô tenha mais força para poder empurrar seu oponente para fora da área de combate. O estudo buscou analisar o comportamento da peça sob a restrição da deformação que foi atendida em ambas as situações sem um grande aumento em relação a peça original.

Mesmo tendo realizado uma simulação considerando uma nova condição de contorno, onde acrescentamos a possibilidade de o robô sofrer impactos laterais, acredito que para dar prosseguimento a este trabalho, os próximos estudos podem utilizar novas condições de contorno, sendo que essas devem considerar uma dinâmica no movimento do robô.

Por fim, a realização do projeto através do ANSYS mostrou como vem se tornando cada vez mais acessível a utilização dos recursos computacionais para implementação de projetos envolvendo a otimização topológica, onde a cada versão os desenvolvedores do software buscam aprimorar e dar mais ferramentas para que os usuários possam implementar novos projetos.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] BENDSØE, Martin Philip; KIKUCHI, Noboru. **Generating optimal topologies in structural design using a homogenization method**, In **Computer Methods in Applied Mechanics and Engineering** . [S.l.: s.n.], 1988. 197-224 p. v. 71. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/0045782588900862>>. Acesso em: 21 set. 2017.
- [2] LIMA, Luiz. **Otimização topológica**. Disponível em: <<http://library.esss.com.br/otimizacao-topologica-tk>>. Acesso em: 10 jul. 2017.
- [3] AZEVEDO, A.F.M. **Método dos elementos finitos**. 2003. 248 f. - Faculdade de Engenharia, Universidade do Porto, Portugal, 2003.
- [4] GUILHERME, Jose. **MALHA - ANSYS: Tempo de análise e qualidade da malha**. Disponível em: <<http://ensur.com.br/ansys-tempo-de-analise-e-qualidade-de-malha/>>. Acesso em: 09 ago. 2017.
- [5] GUILHERME, Jose. **MALHA - ANSYS: Conceitos básicos de malha**. Disponível em: <<http://ensur.com.br/ansys-conceitos-basicos-de-malha/>>. Acesso em: 05 ago. 2017.
- [6] DE LIMA, Cícero Ribeiro. **Projeto de mecanismos flexíveis usando o método de otimização topológica** . 2002. 167 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica)- Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2002. Disponível em: <<http://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/3/3132/tde-08082003-111039/en.php>>. Acesso em: 10 out. 2017.
- [7] BENDSØE, Martin P. **Optimal shape design as a material distribution problem** . 4. ed. [S.l.]: Springer Berlin/Heidelberg, 1989. 193-202 p. v. 1. Disponível em:

<<https://scholar.google.com/citations?user=YM7mTkWAAAAJ&hl=pt-BR>>.
Acesso em: 07 out. 2017.

[8] BENDSØE, Martin P. **Optimal shape design as a material distribution problem** . 4. ed. [S.l.]: Springer Berlin/Heidelberg, 1989. 193-202 p. v. 1. Disponível em:
<<https://scholar.google.com/citations?user=YM7mTkWAAAAJ&hl=pt-BR>>.
Acesso em: 07 out. 2017.

[9] ZHOU, M.; ROZVANY, G.I.N. **The COC algorithm, Part II: Topological, geometrical and generalized shape optimization** . [S.l.: s.n.], 1991. 309-336 p. Disponível em: <https://cdn2.hubspot.net/hubfs/47251/CMAME_SIMP.pdf>.
Acesso em: 01 nov. 2017.

[10] MEGGIOLARO, Marco Antonio. **Tutorial em Robôs de Combate** . 2006. 1-190 p. v. 1. Disponível em:
<[http://www.robot.bmstu.ru/files/books/\[Robotic\]%20Tutorial%20RioBotz.pdf](http://www.robot.bmstu.ru/files/books/[Robotic]%20Tutorial%20RioBotz.pdf)>.
Acesso em: 04 out. 2017.