



Universidade de Coimbra
Faculdade de Ciências e Tecnologia
Departamento de Engenharia Mecânica

Relatório de projeto

Desenvolvimento e Otimização de um Macaco Mecânico

Disciplina: Modelação de Sistemas Mecânicos

Área: Construção Mecânica

Autor/Número: Pedro Rebelo dos Santos/2021239642

Data: 26/6/2024

Supervisor: João Paulo da Silva Gil Nobre

Índice

RESUMO	3
Lista de Figuras	4
Lista de Tabelas	5
1. Descrição do problema de projeto.....	1
2. INTRODUÇÃO	2
3. Métodos e Procedimento	5
4. Resultados	8
5. Especificações	14
5.1. Descrição Geral.....	14
6. Desenhos de Engenharia	15
7. Conclusões	16
8. REFERÊNCIAS	17

RESUMO

Este relatório tem como objetivo a projeção de um macaco mecânico de acionamento manual modelado com o auxílio do programa *CAD Autodesk Inventor®*, com a função de elevação de viaturas, capacidade de carga mínima de duas toneladas, elevação de pelo menos 400 mm a partir de uma altura mínima de 180 mm, devendo o mesmo ser portátil, seguro, económico, leve e compacto.

Da pesquisa de mercado efetuada, constatei existirem diversos modelos de macacos mecânicos, tendo optado por estudar neste projeto um macaco tesoura pela simplicidade e relativo baixo custo para além da grande quantidade de informação disponível.

Este projeto exigiu a utilização de diversas ferramentas fornecidas pelo programa a ser utilizado. Foi possível explorar diversas opções de como modelar um macaco mecânico. Tendo sido analisado e ajustado ao longo da sua otimização graças às simulações criadas pelo *Stress Analysis* do *Autodesk Inventor*. Também foram elaborados desenhos técnicos que ilustram cada componente e a peça total.

O modelo final corresponde à melhor situação encontrada que conjugue todos os objetivos deste projeto.

Lista de Figuras

Figura 1 – Forças atuantes num macaco tesoura.	5
Figura 2 – Macaco tesoura numa posição fechada e aberta.	5
Figura 3 – Dimensionamento do macaco	6
Primeiro, decidi modelar a base do macaco baseado nos modelos que encontrei. Com base nas dimensões desses macacos, modeliei a base com 98 mm de largura e 150 mm de comprimento. Decidi colocar os furos a 27,5 mm do solo e a 40 mm entre si, o que faz determina a altura “a” e a distância “c”. Também considerei que “ <i>Fillets</i> ” pudessem suportar alguma da tensão das outras peças. A Figura 4 representa o modelo inicial que eu criei para a base do macaco.	8
Figura 5 - Base inicial.....	8
Figura 6 - Análise estática do macaco	9
Figura 7 - Tensão no apoio	10
Figura 8 - Peça de topo com chanfros	11
Figura 9 - Análise de Tensão à peça de topo com extrusão	11
Figura 10 - Peça de topo com maior largura e menor altura	12
Figura 11 - Peça de topo com menor largura e maior altura	12

Lista de Tabelas

Tabela 1 - Preços de Macacos Mecânicos3

1. Descrição do problema de projeto

O objetivo deste trabalho é desenvolver um projeto de um macaco mecânico de acionamento manual de baixa ou média complexidade com o auxílio do *software CAD Autodesk Inventor®* e das suas ferramentas *CAE*, como a Análise de Tensão (*Stress Analysis*) e o Gerador e Análise de Estruturas (*Frame Generator and Analysis*) também como as peças normalizadas fornecidas.

O macaco vai ser usado na elevação de viaturas. Por isso, para além de ser manual e portátil, deve ser desenhado de forma a ter uma altura mínima de 180 mm, uma altura de elevação de pelo menos 400 mm e que possa suportar uma carga de 2000 kg. Também é necessário definir os materiais que constituem o macaco de forma a que, com as suas propriedades, os requisitos referidos sejam obtidos.

2. INTRODUÇÃO

Para a disciplina “Modelação de Sistemas Mecânicos” foi pedido o desenvolvimento de um projeto individual que consistiu na modelação de um macaco mecânico com o intuito da elevação de veículos.

Primeiro, é necessário destacar o tipo de macaco a ser modelado. Para decidir qual escolher, analisei e pesquisei sobre os vários exemplos de macacos manuais fornecidos pelo professor. Depois, realizei uma pesquisa dos macacos mecânicos existentes no mercado e organizei-os em uma tabela, destacando sobre cada um vários aspetos relevantes.













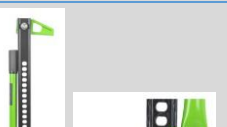







Apesar de ser expectável o crescimento da procura de macacos para carros, dado o crescente mercado de carros modernos, são cada vez menos os carros modernos que incorporam uma roda suplente para substituir um pneu furado. Em substituição, muitos carros modernos vêm agora equipados com um compressor e um líquido de reparação, que serve para vedar a fuga de ar de um pneu, destinando-se o compressor a enchê-lo de novo. Por isso, atualmente, o macaco será mais utilizado a nível profissional na manutenção de viaturas.

Existe disponível no mercado uma grande variedade de macacos para elevação de viaturas, com variadíssimas características e capacidades. Desde logo, podemos encontrar macacos de **acionamento manual, hidráulico ou elétrico**.

Os **macacos de acionamento manual**, chamados macacos mecânicos, são fáceis de utilizar (utilização manual com auxílio de uma manivela) e fáceis de arrumar (por exemplo, no porta-bagagens juntamente com as ferramentas de sinalização). No entanto, sua capacidade de elevação não é muito grande (usualmente ronda 1,5 toneladas, mas pode ir até às 2 toneladas).

Existem diversos fornecedores e prestadores de serviços relacionados com macacos mecânicos em diversos países: 8 na Turquia, 5 em França, 4 em Itália, 3 na Alemanha, 2 na Bélgica, 1 em Espanha, 1 na Grécia, 1 na República Checa, 1 na Áustria e 1 no Norte de Portugal (WORKPLANET, LDA.), sendo este último fabricante/produtor, os quais podem ser consultados no site da Europages ^[1].

Tabela 1 - Preços de Macacos Mecânicos

Capacidade de carga	0,6 T	1 T	1 T2	1,5 T	1,7 T
Tipo de macaco	macaco tesoura	macaco tesoura	macaco garrafa	macaco tesoura	macaco garrafa
Altura de elevação de [mm]	85	105	104	105	100
Altura de elevação até [mm]	330	350	385	380	385
Peso	2,3 Kg.	2,3 Kg.	1,84 Kg.	2,6 k.	3,92 kg.
Material	aço	aço	aço		aço
Marca	ENERGY	RIDEX	HEYNER	RIDEX	HEYNER
Tipo de veículos	Automóveis de passageiros	Automóveis de passageiros	Automóveis de passageiros	Automóveis de passageiros	Automóveis de passageiros
PREÇO	17,30 €	25,72 €	67,80 €	28,24 €	120,48 €
					
					
Capacidade de carga	2 T	2,5 T	3 T	5 T	10 T
Tipo de macaco	macaco tesoura	macaco tesoura	macaco vertical	macaco unha	macaco unha
Altura de elevação de [mm]	90	100	130		
Altura de elevação até [mm]	435	420	1045		
Peso	2,33 kg.	3,8 kg.	12,5 kg.	28,5 kg.	46,8 kg.
Material	aço	aço	aço 45		
Marca	CARMOTION	TSX Tool	JBM	Unicraft	Unicarft
Tipo de veículos	Automóveis de passageiros	Carros passag., todo terreno e carrinhas	Veículos todo terreno, camiões e tratores	veículos e máquinas pesadas	Maquinaria pesada
PREÇO	26,96 €	15,62 €	153,75 €	361,07 €	524,66 €
					
					

Já o **macaco hidráulico** tem uma capacidade média superior, sendo normalmente utilizado por profissionais. O manuseamento deste macaco é feito com esforço reduzido através de uma alavanca amovível, sendo que a sua maioria está equipada com uma válvula de segurança de sobrecarga. A única desvantagem é a velocidade de elevação ser relativamente lenta e a altura de elevação ser limitada. A sua utilização é mais adequada para cargas mais pesadas e uso frequente, devido à sua capacidade de elevação e facilidade de utilização. O seu preço, dependendo da capacidade, poderá atingir os €1400. ^[2]

O **macaco elétrico** permite normalmente uma carga até 5 toneladas, uma elevação rápida e poderá ser transportado em grande parte dos carros. A alimentação poderá ser feita através da tomada elétrica do veículo. É fácil de usar, sem esforço físico e com segurança. O seu preço poderá rondar entre € 40 a € 60 (carga até 3 toneladas), entre os 90€ e os € 160 (carga até 5 toneladas) ^[3]

3. Métodos e Procedimento

O meu primeiro passo para escolher o tipo de macaco mecânico a modelar consistiu na pesquisa de artigos científicos e relatórios sobre a análise da estrutura dos macacos e os cálculos dos seus parâmetros, também servindo para o meu enquadramento perante a matéria a estudar.

Durante a minha pesquisa, acabei por analisar a fundo vários artigos notáveis pelos seus cálculos complexos, dos quais houve três que se destacaram ^{[4] [5] [6]}.

Outros artigos incorporaram modelos que, de certa forma, inspiraram-me e deram-me um grande apoio a nível visual, dos quais notei 4 mais importantes ^{[7] [8] [9] [10]}.

Dos referidos artigos, as imagens que mais me auxiliaram, estão apresentadas como a **Figura 1** a nível de cálculo e a **Figura 2** a nível visual.

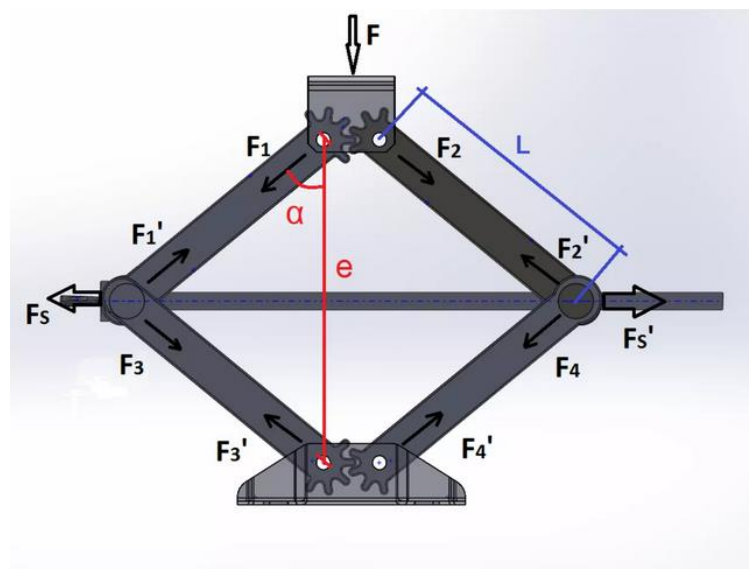


Figura 1 – Forças atuantes num macaco tesoura.

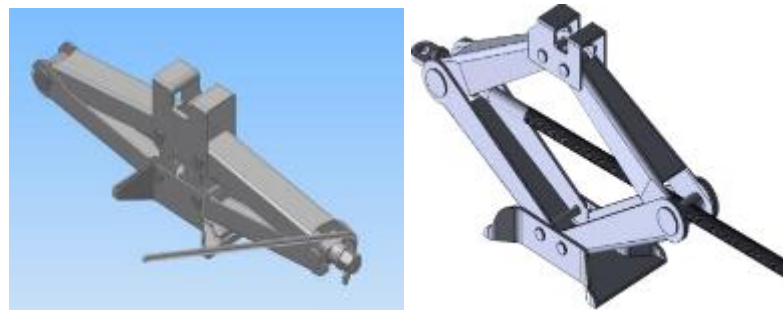


Figura 2 – Macaco tesoura numa posição fechada e aberta.

Antes de desenvolver o macaco mecânico, estabeleci algumas equações que ajudaram a determinar futuros valores. Para isso, pensei em como a carga limite no topo do macaco escolhido por mim iria-se propagar ao longo das peças numa situação real. Isto determinou as forças e as reações que cada peça sofreria, e as respetivas equações para o cálculo da tensão presente.

Na **Figura 3**, são detalhadas as dimensões e as constantes relevantes para a análise estática do macaco tesoura, onde **a** é a altura dos parafusos da base que sustentam os braços do macaco pelos furos de baixo, **b** é a distância entre os parafusos de cima dos braços inferiores e o fuso (que é igual à distância entre este e os parafusos inferiores dos braços superiores) e **c** representa a distância lateral entre os parafusos no topo do macaco e a força aplicada neste. A constante **l** representa o comprimento entre os dois furos de parafusos de cada braço, **α** é o ângulo entre cada braço e o solo e **W** é o peso mínimo que o macaco tem de suportar.

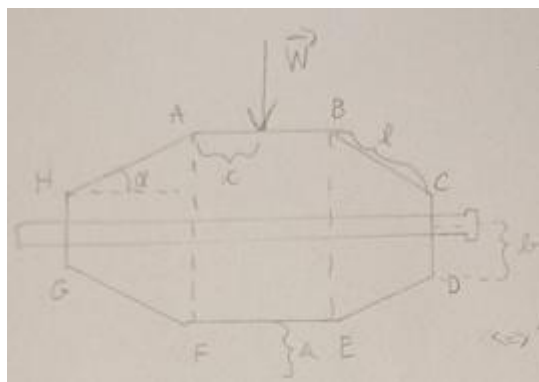


Figura 3 – Dimensionamento do macaco

Antes de começar a trabalhar no modelo, tive em conta a pesquisa que realizei, tomando especial atenção para os tipos de características que os modeladores usualmente implementam nos seus macacos. Para além disso, também pesquisei por sites e vários vídeos para ajudar-me a decidir quais dos recursos encontrados devia manter em mente durante a modelação.

Após a modelação, tomei como objetivo a otimização das secções mais críticas do modelo. Para isso, criei um estudo de análise à tensão, que, com a ajuda da simulação de forças e apoios, serviu para encontrar os pontos que sofriam maior **tensão**, recebiam maior **deformação** e tinham o menor **fator de segurança** (n). Depois, pensei em várias opções de otimização, as quais prossegui a testar, comparando os resultados de cada simulação, de forma a descobrir as escolhas mais eficientes.

No fim de obter uma simulação cujo menor nível do coeficiente de segurança fosse um valor aceitável, continuei por alterar, adicionar ou remover as peças no meu modelo de forma a minimizar o custo de produção e a maximizar a sua simplicidade sem baixar o coeficiente de segurança mínimo. Com um modelo satisfatório, avancei para o seu desenho técnico.

Também optei por utilizar o metal *Steel AISI 4142 380 QT* devido à alta resistência e alta tensão de cedência.

Como um macaco mecânico é uma peça simples que, em regra, tem relativamente pouco uso, eu decidi não recorrer a parametrização do modelo CAD. Sendo o mesmo verdade para a análise de fadiga, que é necessária apenas para casos com milhares de ciclos de tensões.

4. Resultados

Primeiro, decidi modelar a base do macaco baseado nos modelos que encontrei. Com base nas dimensões desses macacos, modeliei a base com 98 mm de largura e 150 mm de comprimento. Decidi colocar os furos a 27,5 mm do solo e a 40 mm entre si, o que faz determina a altura “a” e a distância “c”. Também considerei que “*Fillets*” pudessem suportar alguma da tensão das outras peças. A **Figura 4** representa o modelo inicial que eu criei para a base do macaco.

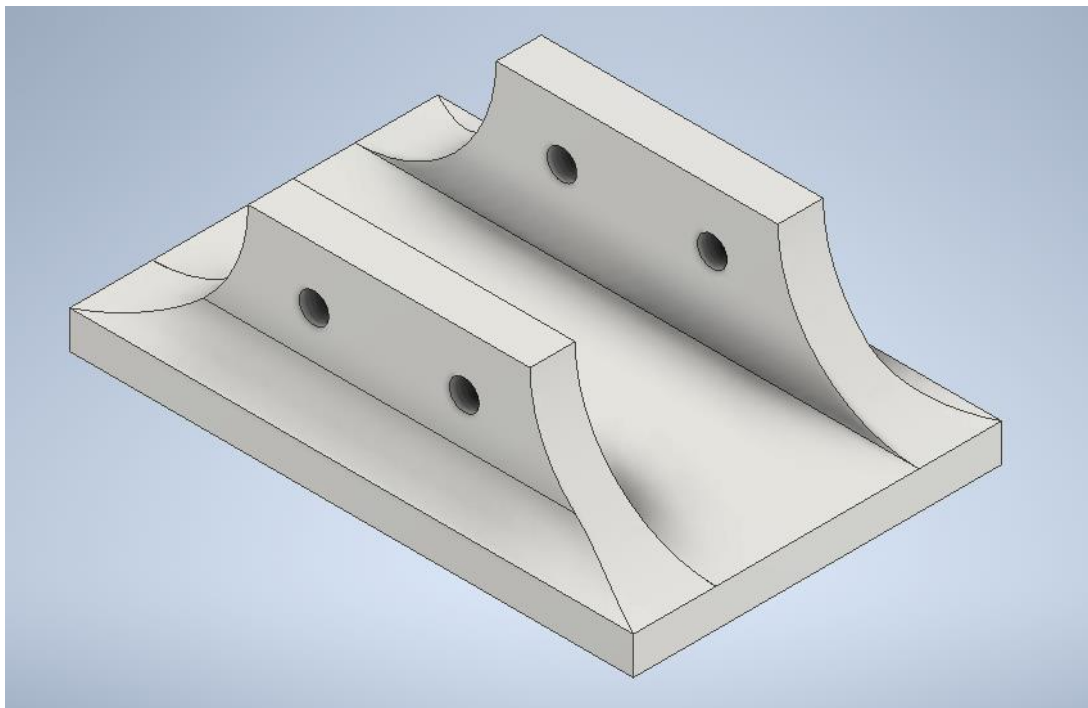


Figura 5 - Base inicial

Também modeliei os braços do macaco, a peça que os une com o fuso e o próprio fuso em si com as dimensões provisórias de 175x25x12 mm, 60x46x30 mm e com 650 mm de comprimento e 24 mm de diâmetro, respectivamente.

Também modeliei uma peça de suporte aos parafusos no topo do macaco.

No fim desenhei a peça de topo que modeliei inspirado nas peças de topo comumente usadas por outros modeladores.

Após acabar de modelar a peça, decidi realizar os cálculos para saber que dimensões seriam aceitáveis para a resistência à tensão, que pode ser visto na **Figura 6**.

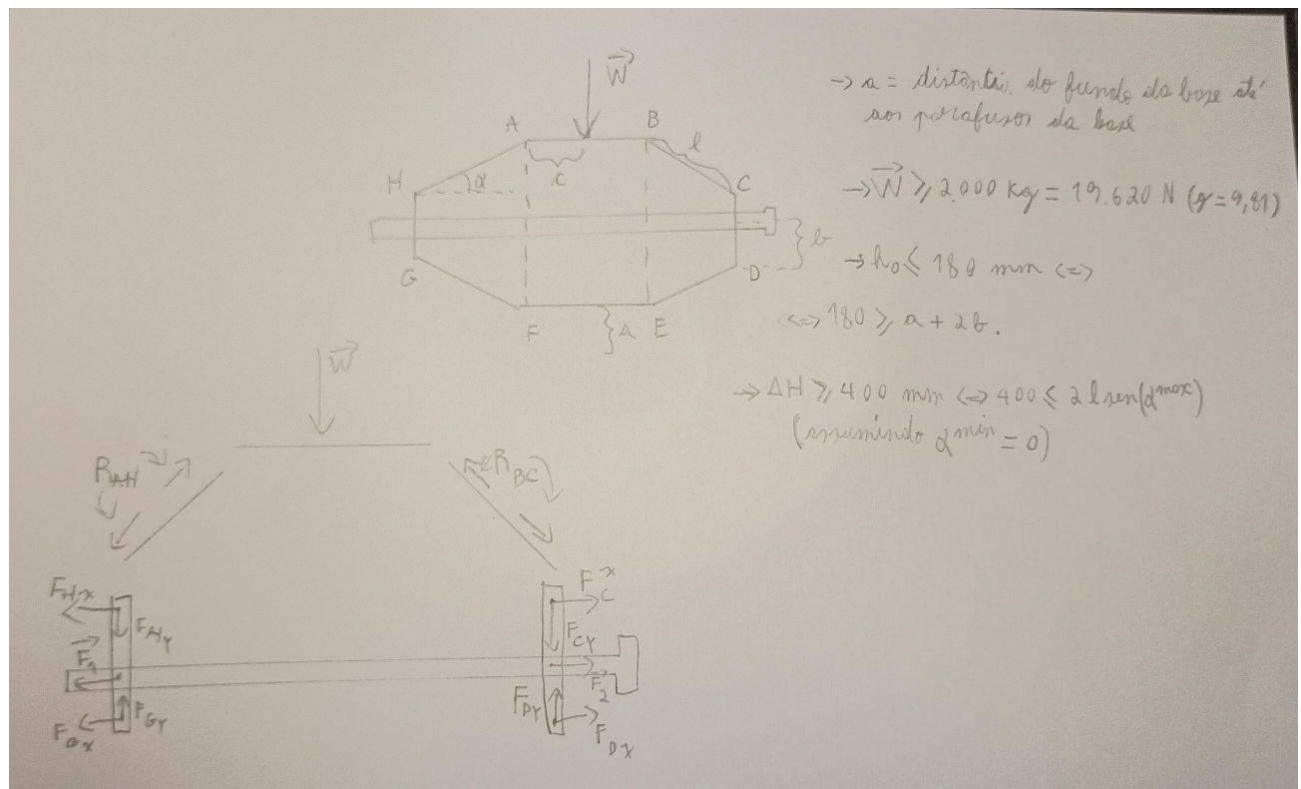


Figura 6 - Análise estática do macaco

Primeiro, substituí as constantes pelos valores provisório no meu modelo e rapidamente reparei que, embora a altura máxima com o macaco totalmente fechado era apenas de 120 mm, a diferença de alturas atingida pelo apoio entre o macaco totalmente fechado e este totalmente aberto não atingia os 400 mm. Isto foi um sinal claro que as dimensões verticais da base estavam num bom ponto, mas que o ΔH precisa de ser melhorado. Como o ΔH é dependente apenas de l e do ângulo de abertura, e como o ângulo tem de permanecer uma variável, para o ΔH ser suficiente em todas as situações, o l precisou de ser melhorado. Foi por isso que eu aumentei o seu comprimento entre furos para 275 mm.

Depois disso, avancei para o cálculo das forças exercidas em cada peça e a tensão resultante. Cada peça, quando pressionada pela carga, não só vai sofrer uma certa tensão de compressão, mas também vai exercer uma força de reação para a próxima peça. É, assim, possível calcular a tensão sofrida por todas as peças do macaco.

Na situação de força limite, de início, sabe-se que uma força exercida no topo do macaco é $2000 \text{ kg} \cdot 9,81 \text{ m/s}^2$, que iguala a 19.620 N. Como o macaco está num estado estático ao carregar um carro, a força sofrida pela base deste será a simétrica da do topo.

Os 19.620 N no topo vão ser separados por dois apoios, pelo que a tensão vai ser repartida por duas áreas. Na **Figura 7**, para além das contas anteriores, também comparei a tensão nos dois apoios com a tensão de cedência, cuja relação deixou-me chegar à conclusão que o fator de segurança é superior a 2,5, que é um resultado favorável.

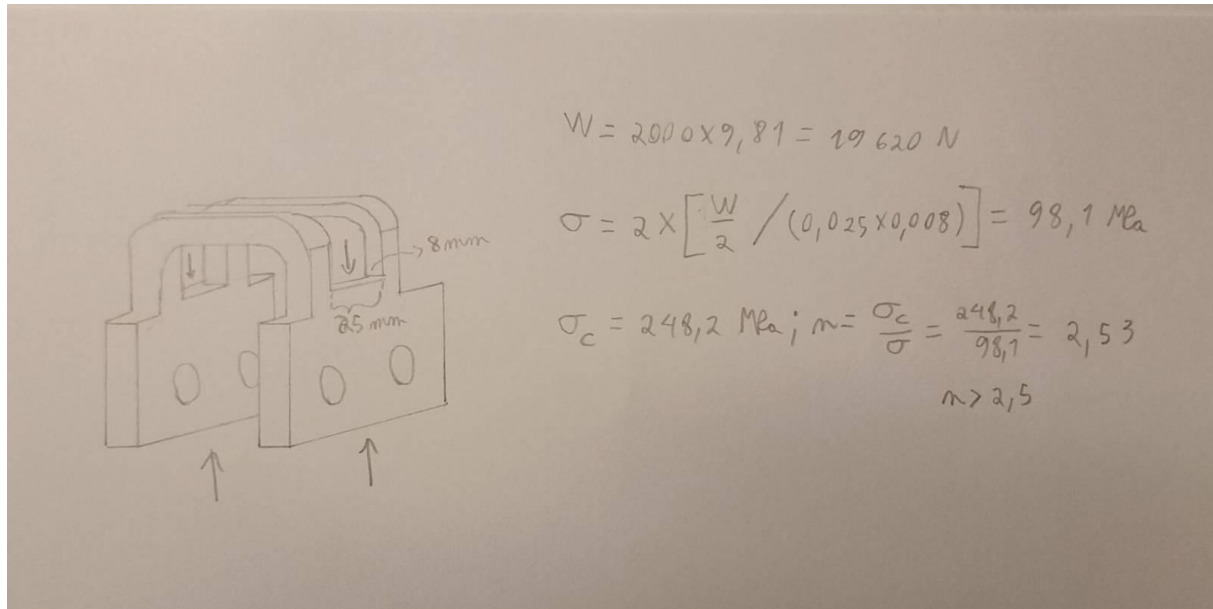


Figura 7 - Tensão no apoio

Os cálculos seguintes começam a ser dependentes do ângulo de abertura do macaco, pois a tensão chegou aos seus braços. Como o objetivo é calcular a segurança do macaco na situação mais extrema e perigosa, decidi assumir que o ângulo α será aproximadamente $19,5^\circ$, pois este é o ângulo que os braços do macaco fazem com o solo quando a altura deste é exatamente os 180 mm de limite.

Após acabar de realizar os cálculos, procedi à análise à tensão com o *Stress Analysis*. A primeira análise mostrou que a minha peça estava severamente mal otimizada, especialmente porque os dois apoios na peça de topo cediam facilmente à tensão. Por isso, decidi começar por focar-me na otimização do topo do macaco, já que este entra em contacto direto com os carros.

Eu realizei vários experimentos com o a peça de topo. Adicionei características que pensei que pudessem resistir à tensão. Estas características adicionadas incluem a extrusão do topo dos apoios de forma a formar uma maior área e o adicionamento de *fillets* e de chanfros (os quais podem ser vistos na **Figura 8 e 9**) para suportar diversas secções.

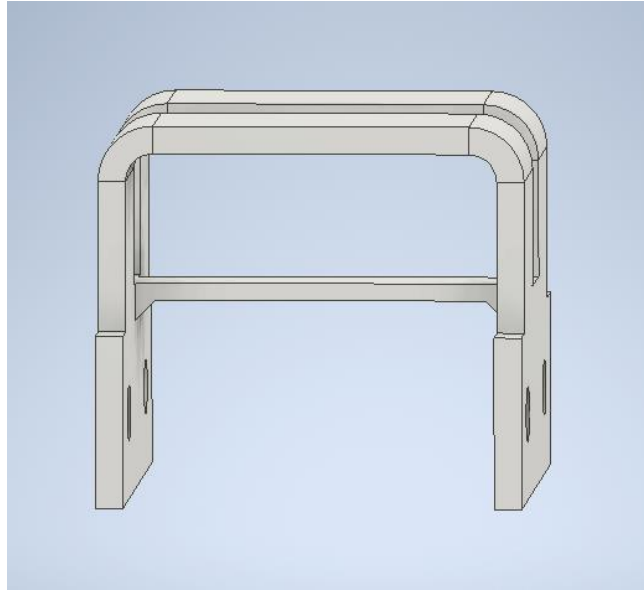


Figura 8 - Peça de topo com chanfros

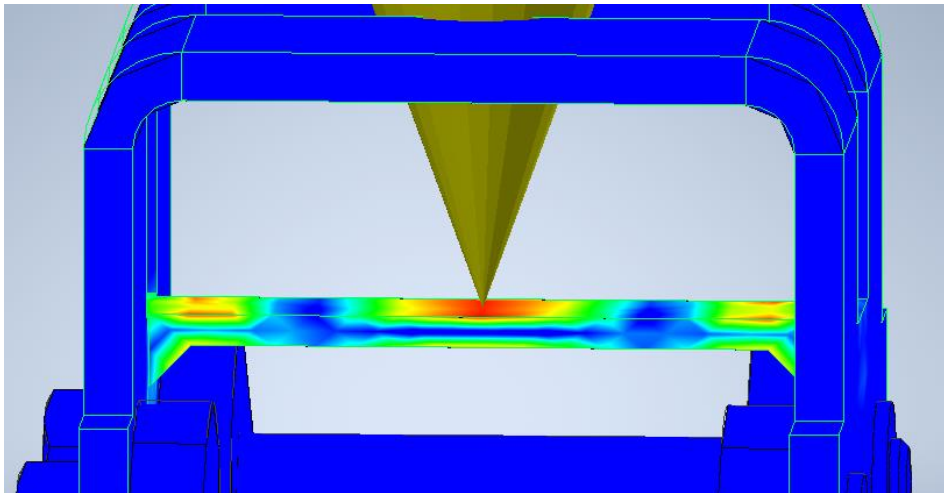


Figura 9 - Análise de Tensão à peça de topo com extrusão

No fim, determinei que a concentração de tensões que os chanfros e as *fillets* traziam para uma só área era muito mais prejudicial do que qualquer suporte que estes davam.

Logo de seguida, cheguei à conclusão que a maior área que a extrusão trouxe não compensava por esta ser fina demais. Por isso, mudei a peça de topo de volta a como estava originalmente, dupliquei a sua espessura e comecei a alterar as suas outras dimensões.

Após alguns experimentos, descobri que as mudanças à peça de topo mais efetivas eram o aumento da altura do apoio e o aumento da largura do apoio. No entanto, o afastamento dos apoios dos parafusos era muito mais efetivo do que o aumento da área que a maior largura trazia. Esta diferença é evidenciada nas **Figuras 10 e 11**.

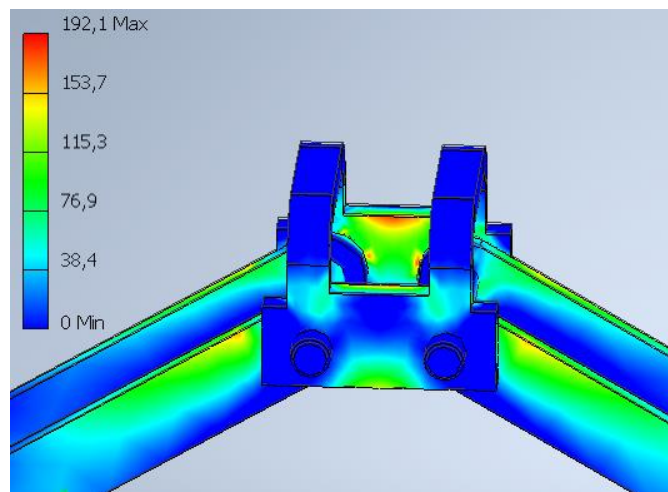


Figura 10 - Peça de topo com maior largura e menor altura

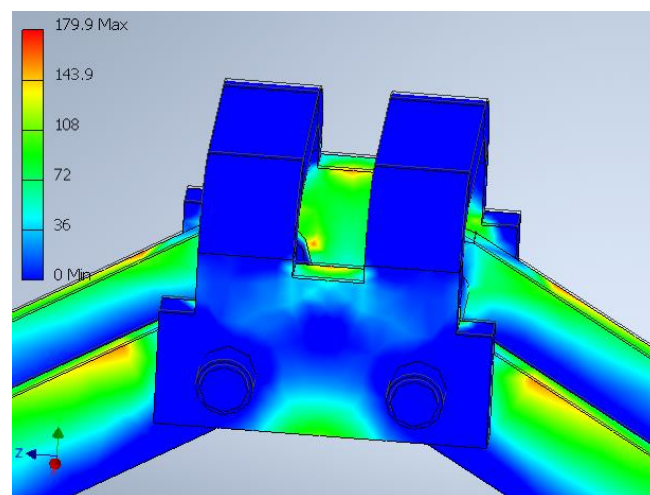


Figura 11 - Peça de topo com menor largura e maior altura

Após otimizar a peça de topo, as maiores tensões começaram a focar-se em outras áreas da peça. Como solução para esses problemas, que afetavam maioritariamente os braços e a peça lateral que une os braços com o fuso, eu aumentei a sua espessura e a sua altura, respetivamente.

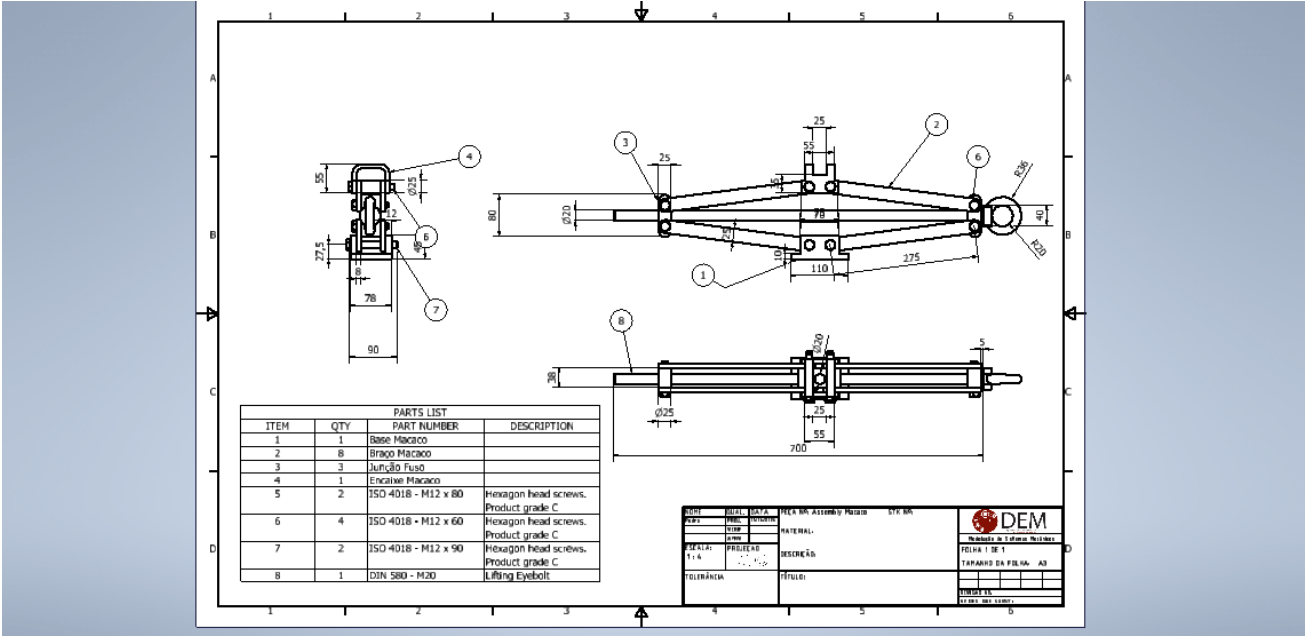
Depois de deixar as tensões que atuavam nas peças reduzidas e bem distribuídas, decidi tentar otimizar a facilidade e o custo da fabricação do macaco. A minha principal ideia para alcançar isso foi a diminuição ou remoção da peça de suporte aos parafusos no topo. O meu pensamento foi que, o custo de aumentar a peça de topo seria mais proveitoso do que manter a peça de suporte.

No entanto, ao removê-la, apercebi-me que ela estava a manter os braços seguros, diminuindo a sua deformação. Deformação esta que ia contra as outras peças e causava grandes concentrações de tensões. Mesmo com o adicionamento de arruelas, os braços do topo da peça continuaram a causar grandes tensões.

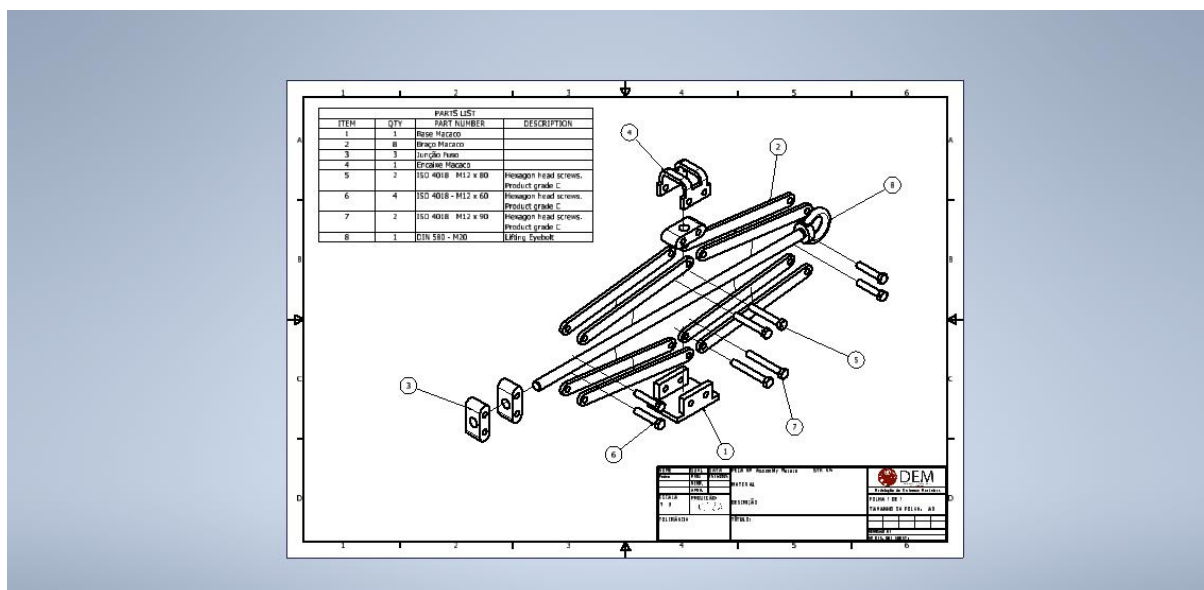
É por isso que, ao invés de arranjar uma outra peça para substituir a peça lateral, decidi que, ao utilizar uma terceira peça lateral para o topo, ter-se-ia de se produzir um tipo de peça diferente, poupando na produção de matrizes. Isto é viável devido à similaridade da peça de suporte do topo e da peça lateral do macaco.

5. Especificações

5.1. Descrição Geral



6. Desenhos de Engenharia



7. Conclusões

Este projeto demonstrou alguma complexidade na grande quantidade e diversidade de tarefas a realizar, já que incluiu vários tópicos relacionados à engenharia mecânica.

De qualquer forma, a utilização do *software CAD Autodesk Inventor®* forneceu uma enorme ajuda nos cálculos e simulações necessárias à otimização pretendida. A utilização desta ferramenta proporcionou uma maior aprendizagem sobre o seu funcionamento, pelo que a realização deste projeto foi bastante vantajosa.

8. REFERÊNCIAS

- [1] <https://www.europages.pt/empresas/macacos%20mec%C3%A2nicos.html>
- [2] <https://www.manutan.pt/pt/map/macaco-hidraulico-capacidade-de-carga-de-2-5-a-20-toneladas-manutan>
- [3] <https://www.auto-doc.pt/acessorios-auto/macaco>
- [4] <https://www.slideshare.net/slideshow/final-project-design-and-fem-analysis-of-scissor-jack/45726063>
- [5] <https://www.ijstr.org/final-print/july2016/Designing-And-Calculating-The-Stresses-Induced-In-Scissors-Jack-For-Three-Different-Materials.pdf>
- [6] https://www.researchgate.net/publication/344605391_Design_and_Kinematic_Analysis_of_the_Car_Jack
- [7] <https://grabcad.com/library/scissor-jack-21>
- [8] <https://www.irjweb.com/Design%20and%20Analysis%20of%20Scissor%20Jack%20for%20Light%20Motor%20Vehicle.pdf>
- [9] <https://donyango.carbonmade.com/projects/4388020>
- [10] <https://www.slideshare.net/slideshow/macaco-mecnico/50715903>