UNIVERSIDADE ESTADUAL DO MARANHÃO
CENTRO DE CIÊNCIAS TECNOLÓGICAS
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA MECÂNICA E PRODUÇÃO
ENGENHARIA HABILIDADE MECÂNICA

LEONARDO MOREIRA SERRA SEREJO

PROJETO DE UM ELEVADOR PORTÁTIL PARA SERVIÇOS DE REPARO EXTERNO PARA VEÍCULOS DE PASSEIO

SÃO LUÍS – MA
2016

LEONARDO MOREIRA SERRA SEREJO

PROJETO DE UM ELEVADOR PORTÁTIL PARA SERVIÇOS DE REPARO EXTERNO PARA VEÍCULOS DE PASSEIO

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao curso de Engenharia Mecânica da Universidade Estadual do Maranhão para o grau de bacharelado em Engenharia Mecânica.

Orientador: Me. Flavio Nunes Pereira.

SÃO LUÍS – MA

2016

Serejo, Leonardo Moreira Serra.

Projeto de um elevador portátil para serviços de reparo externo para veículos de passeio / Leonardo Moreira Serra Serejo. – São Luís, 2016.

49 f

TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Mecânica, Universidade Estadual do Maranhão, 2016.

Orientador: Prof. Me. Flávio Nunes Pereira.

1. Serviço “delivery”. 2. Elevador portátil. 3. Manutenção. 4. Projeto. I. Título.

CDU: 629.331.083

LEONARDO MOREIRA SERRA SEREJO

PROJETO DE UM ELEVADOR PORTÁTIL PARA SERVIÇOS DE REPARO EXTERNO PARA VEÍCULOS DE PASSEIO

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao curso de Engenharia Mecânica da Universidade Estadual do Maranhão para o grau de bacharelado em Engenharia Mecânica.

Aprovada em: / /

BANCA EXAMINADORA

_____

Prof. Me. Flávio Nunes Pereira (Orientador)
Mestre em Engenharia Mecânica
Universidade Estadual do Maranhão

_____

Prof. Me. José Ribamar Ferreira Barros Júnior
Mestre em Engenharia dos Materiais
Universidade Estadual do Maranhão

_____

Prof. Esp. Saulo José Agostini Oliveira
Especialista em Engenharia Mecânica
Faculdade Fama - Pitágoras

AGRADECIMENTOS

A Deus por permitir a minha chegada até aqui, me dando forças e direcionamento, me servindo de porto seguro nos momentos mais difíceis.

Aos meus pais, por todo apoio, motivação, amor e carinho, por nunca terem desistido de mim.

Ao meu filho Heitor, meu maior motivo.

À minha esposa, por todo o amor, incentivo e ajuda durante todo o decorrer do curso.

À minha irmã, por todo amor e incentivo durante todo o decorrer do curso.

Ao professor Flavio Nunes, pela orientação apoio e confiança.

Ao meu primo Fernando Antônio, por toda a ajuda e incentivo durante esta jornada na universidade.

"Que os vossos esforços desafiem as impossibilidades, lembrai-vos de que as grandes coisas do homem foram conquistadas do que parecia impossível."

Charles Chaplin

RESUMO

A constante mudança dos aspectos do mercado tem propiciado o surgimento de novos tipos de serviço. Dentro desse cenário surgem os serviços "delivery", onde o produto ou serviço é levado até o cliente. O setor automotivo tem crescido consideravelmente, necessitando de novas ferramentas para novos tipos de serviços. É nesse ponto que encontramos os elevadores tradicionais defasados, e é identificado a necessidade de um elevador portátil para veículos de passeio. Este trabalho consiste no projeto de um elevador portátil a ser utilizado nesse tipo de serviço de manutenção externa, garantindo segurança e praticidade. Para tanto, foi verificado primeiramente a configuração do elevador a ser desenvolvido, o sistema mecânico e a estrutura. Posteriormente foi feita a escolha dos materiais e então realizado os cálculos estruturais para verificação dos requisitos do projeto. Por fim, é realizado as análises em programas de modelagem com o objetivo de defini-lo como uma ferramenta confiável para utilização.

Palavras Chave: Serviço "delivery", Elevador Portátil, manutenção, Projeto.

ABSTRACT

The constant change in market aspects has led to the creation of new types of service. Within this scenario arise delivery services, where the product or service is taken to the customer. The automotive sector has grown considerably, requiring new tools for new types of services. It is at this point that we find the traditional elevators outdated, and the need for a portable lift for passenger vehicles is identified. This work consists of the design of a portable lift to be used in this type of external maintenance service, guaranteeing safety and practicality. For this, it was firstly analyzed the configuration of the elevator to be developed, the mechanical system and the structure. Subsequently the choice of materials was made and then the structural calculations were carried out to verify the project requirements. Finally, the analysis in modeling programs is performed with the objective of defining it as a reliable tool for use.

Key words: Delivery Services, Portable elevator , maintenance, Project.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Serviço de reparo externo de veículo de passeio 11
Figura 2 - Componentes cartesianas 14
Figura 3 - Tensão de cisalhamento em uma viga retangular 15
Figura 4 - Exemplo de torção em uma barra 16
Figura 5 - Eixo em um redutor com acionamento transversal 19
Figura 6 - Engrenagens de dente reto 20
Figura 7 - Engrenagens de dentes helicoidais 20
Figura 8 - Engrenagens cônicas de dentes retos 21
Figura 9 - Aspectos de uma engrenagem de dente reto 22
Figura 10 - Princípio de um parafuso 23
Figura 11 - Sentido da rosca em um parafuso 23
Figura 12 - Perfis de rosca em um parafuso de potência 24
Figura 13 - Modelo comercial de macaco hidráulico tipo jacaré 26
Figura 14 - Modelo comercial de macaco hidráulico tipo garrafa 26
Figura 15 - Modelo comercial de macaco mecânico tipo joelho 27
Figura 16 - Modelo comercial de macaco mecânico tipo sanfona 27
Figura 17 - Modelo comercial de macaco mecânico tipo sanfona com motor elétrico 27
Figura 18 - Carlift fabricação caseira 30
Figura 19 - Atuador mecânico linear 33
Figura 20 - Atuador mecânico linear 33
Figura 21 - Diagrama de corpo livre: sistema na altura inicial 34
Figura 22 - Diagrama de corpo livre: sistema na altura final 35
Figura 23 - Pino de fixação das pranchas de apoio 42

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Carga relativa à idade x sexo.....29
Quadro 2 - Vantagens e Desvantagens dos materiais.....31
Quadro 3 - Vantagens e Desvantagens das buchas dos mancais.....32
Quadro 4 - Simulação de esforços no software SOLIDWORKS 2016.....35
Quadro 5 - Informações de malha e dados para simulação de tensões.....39
Quadro 6 - Informações de malha - Detalhes.....40
Quadro 7- montagem certa com simulação-Análise estática 2-Deformação-Deformação1 41

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO .....

1.1 Aspectos Gerais 10

1.2 Justificativa 11

1.3 Objetivos 12

1.3.1 Objetivo geral 12

1.3.2 Objetivos específicos 12

2 REFERENCIAL TEÓRICO 12

2.1 Análise de Cargas e Tensões 12

2.1.1 Tensão 13

2.1.2 Torção 15

2.1.3 Deflexão 16

2.2 Eixos 17

2.3 Engrenagens 19

2.3.1 Tipos 20

2.3.2 Nomeclatura 21

2.4 Parafuso de Potência 22

2.5 Mancais deslizantes 25

2.6 Elevadores de veículos 25

2.6.1 Macaco hidráulico 25

Macaco garrafa 26

2.6.2 Macaco mecânico 26

Macaco joelho 26

Macaco sanfona (ou tijolinho) 27

Macaco elétrico 27

2.7 Planejamento Estratégico de desenvolvimento do produto 27

3 DESENVOLVIMENTO DO PRODUTO 28

3.1 Projeto Informacional 28

3.1.1 Configuração do Elevador portátil 28

3.2 Projeto Conceitual 30

3.2.1 Desenvolvimento da Estrutura 30
3.2.2 Escolha da Estrutura 30
3.2.3 Cálculo estrutural para definição do material 31
3.2.4 Escolha dos Mancais de deslizamento 31
3.2.5 Escolha do sistema de acionamento 32
3.3 Projeto Detalhado 33
3.3.1 Calculo dos esforços estruturais 33
3.3.2 Cálculo das tensões no atuador 36
3.3.3 Cálculo do fator de segurança 37
3.3.4 Verificação da resistência estrutural 38
3.3.5 Cálculo da resistência do pino do suporte 41
3.4 Problemas durante o desenvolvimento do projeto 42
4 CONCLUSÃO E TRABALHOS FUTUROS 43
4.1 Conclusão do Trabalho 43
4.2 Sugestões para Trabalhos Futuros 43
REFERÊNCIAS 45
ANEXOS 47

1 INTRODUÇÃO

1.1 Aspectos Gerais

Uma das ferramentas mais utilizadas dentro do segmento industrial e na área automotiva, sem dúvidas, é o dispositivo para elevação de cargas. Comumente é conhecido como "macaco", algo que já está bem difundido dentro deste segmento. Apesar de aparentemente atual, tem suas primeiras citações no texto de "As Mecânicas" (Le mecaniche) de Galileé, em uma versão traduzida para o francês publicada por Marin Mersenne (apud R.Q.Cobra, 1997) no século XVII.

Considerado um grande físico, matemático, astrônomo e filósofo italiano, Galileu Galilei (1564 - 1642) foi peça chave dentro do contexto da revolução científica, contribuindo de forma brilhante para o desenvolvimento de métodos científicos. Dentre suas invenções podemos destacar a balança hidrostática, um tipo de compasso geométrico, um termômetro, e também foi o precursor do relógio de pêndulo.

Porém, é na obra "A Mecânica" que Mersenne comenta sobre vários objetos que visam facilitar a vida das pessoas. Dentre eles está a faca (criada a partir da cunha), a grua (criada a partir do cabrestante), o relógio a engrenagens, e também comenta a respeito de um dispositivo de elevação mecânica desenvolvido por Galileu (a partir de rodas e uma árvore dentada).

Diante da dificuldade de uma carroça ou charrete tombada, o uso desse dispositivo de elevação era bastante prático, uma vez que a força aplicada era ampliada, ao ser transmitida para o veículo tombado. Segundo interpretação do escritor:

> Se multiplicas as rodas do dispositivo, ele se torna tão forte que poderá levantar uma casa toda inteira, mas em recompensa seu efeito será mais tardio.

Por volta de 1933, uma indústria resolveu usar o nome MONKEY para o equipamento que erguia carros e que facilitavam a troca de pneus. Este nome foi usado devido ao fato de na época estar em exibição o filme King Kong, onde o grande macaco usava sua força para virar carros, e, numa jogada de marketing, "macaco" virou sinônimo de máquinas que utilizam força.

Atualmente, os macacos para automóveis resumem-se aos tipos mecânicos, hidráulicos e pneumáticos. Porém, dentro do contexto de mudança da dinâmica dos serviços de reparo de automóveis e dentro do levantamento da necessidade de um equipamento que

pudesse ser utilizado para um novo tipo de serviço, temos o projeto de um elevador portátil, algo que vem se destacar no universo de ferramentas automotivas.

1.2 Justificativa

O mercado de franquias especializadas no segmento automotivo cresce em ritmo acelerado no país, movimentando cerca de R$ 4 bilhões em 2013 e com um faturamento crescente em 2014, onde o setor chegou a um nível de faturamento em 2015, segundo a ABF (Associação Brasileira de "Franchising"), de 8,8%, ultrapassando os R$ 11 bilhões.

A principal proposta desse segmento de mercado é oferecer serviços de manutenção automotiva "delivery", devido a crescente busca dos clientes por facilidade e comodidade, notadamente no cenário das grandes cidades e difíceis deslocamentos, passando este ônus para o prestador de serviço. Podemos observar na figura 1 um mecânico realizando um serviço de manutenção "delivery", ou seja, levando o serviço até o cliente.

Figura 1 - Serviço de reparo externo de veículo de passeio

Fonte: www.abf.com.br/redes-automotivas-investem-em-servicos-de-delivery-e-lojas-conceito Acesso em 06/04/2016

Dentro deste cenário de reparo de serviços automotivos no modelo "delivery", vem a necessidade de um sistema de elevação portátil para automóveis, que permita ser utilizado em ambientes externos, garantindo segurança, operacionalidade, facilidade no transporte, montagem e desmontagem, pois, na maioria das vezes são utilizados macacos de parafusos do tipo sanfona, macacos hidráulicos do tipo jacaré, ou até mesmo rampas, o que não garante um nivelamento preciso do veículo, afetando sua estabilidade e segurança.

A proposta deste trabalho é desenvolver um sistema de elevação a partir da utilização de dois parafusos de potência, por ser um instrumento que mesmo sendo criado

há muito tempo atrás (aproximadamente no ano de 1.600), ainda é muito utilizado nos dias de hoje.

1.3 Objetivos

1.3.1 Objetivo geral

Desenvolver um sistema de elevação portátil para serviços automotivos de natureza delivery, utilizando um motor elétrico para acionamento do sistema de elevação, dois fusos, e uma estrutura tubular, permitindo fácil manuseio em ambientes externos, fácil operação e que garanta confiança ao operador mantenedor.

1.3.2 Objetivos específicos

- ✓ Adquirir um vasto conhecimento sobre tipos de macacos de elevação automotiva existentes no mercado;
- ✓ Determinar a configuração do sistema de elevação que atenda as necessidades do projeto;
- ✓ Desenvolver o sistema mecânico;
- ✓ Determinar o sistema de acionamento;
- ✓ Modelar e realizar simulações com testes do produto final, a fim de defini-lo como um sistema de elevação confiável e adequado para os serviços delivery;

2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 Análise de Cargas e Tensões

A permanência no mercado de muitos produtos depende de como os projetistas ajustam as tensões máximas de um componente, de modo que ela seja sempre menor que a resistência. Segundo BUDYNAS (2011), o projetista deve permitir que a tensão máxima seja sempre inferior à resistência com uma margem suficiente, de modo que, apesar do fator incerteza, as falhas sejam raras, ou até mesmo, inexistentes.

Quando comparamos tensão e resistência, o senso comum nos leva a pensar na resistência como algo dependente da geometria do material e das condições de uso, quando na

verdade, são fatores distintos, que dentro de um projeto devem ser considerados como interdependentes.

A Resistência é uma propriedade de um material ou de um elemento mecânico, da qual dependerá do tratamento e do processamento do material. Vários processos de conformação mecânica e de tratamento térmico durante sua fabricação determinarão a sua resistência.

Por sua vez, a Tensão é uma propriedade de estado em um ponto específico de um corpo, na qual dependerá da carga, geometria, temperatura e do processo de fabricação. Porém, comumente, são levados em consideração apenas os aspectos da carga e geometria, dentro de um contexto básico de um curso de mecânica.

Dentro do contexto de um projeto de sistema mecânico, devemos compreender as forças antes da realização de análises amplas das tensões e deflexões de um componente mecânico. Para isso, devemos utilizar do recurso do sistema de diagrama de corpo livre, onde o sistema será qualquer parte isolada dentro do projeto - incluindo todo ele, se assim desejado - para que possa ser analisado de uma melhor maneira.

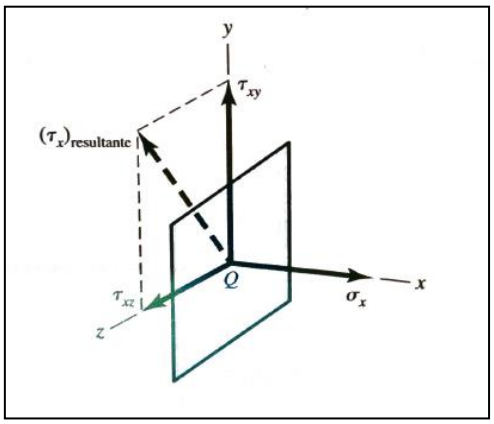
O que devemos fazer será supor todo o sistema em equilíbrio estático, para que tenhamos como referência o somatório das forças atuantes igual à zero, assim como também o somatório dos momentos.

Portanto, um diagrama de corpo livre é uma forma de subdividirmos um problema complicado em segmentos mais fáceis de serem trabalhados e analisados, para depois reunirmos todas as informações, e por fim chegarmos ao resultado final.

2.1.1 Tensão

Dentro do contexto de um diagrama de corpo livre, quando temos uma superfície interna isolada, conforme figura 2, a força e o momento resultantes atuantes nessa superfície manifestam-se como forças distribuídas ao longo de toda a área, gerando componentes nas direções normal e tangencial, tendo assim, respectivamente, tensão normal (σ) e tensão de cisalhamento tangencial (τ), sendo tensão dada em newtons por metro quadrado (N/m^2).

Figura 2 - Componentes cartesianas



Fonte: GERE(2010)

As componentes cartesianas de tensão são definidas em três superfícies ortogonais entre si em um ponto dentro do corpo. Deste ponto partirão *x*, *y* e *z*, de forma que cada superfície terá seu eixo ortogonal, formando uma tensão normal e uma tensão de cisalhamento.

A hipótese de uma distribuição uniforme de tensão é feita frequentemente em projeto. Isso se dá devido a existência de situações em que vigas são submetidas a flexões não uniformes, o que ocasionará uma distorção na seção transversal em estudo, que outrora era plana, passando a ter uma forma diferente depois da flexão. Esse empeno, devido às deformações de cisalhamento, modifica o comportamento da viga. Porém, ao se realizar uma análise mais cautelosa, identificamos que as tensões normais calculadas a partir da fórmula de flexão, não são significativamente alteradas em caso de flexão não uniforme. Assim, é possível, justificadamente, utilizar a teoria da flexão pura para calcular tensões normais em vigas submetidas a flexões não uniformes. Essa tensão é calculada pela seguinte equação:

$$\sigma = \frac{F}{A} \tag{1}$$

Deve-se levar em conta para projetos que, caso F seja negativo, a equação para flambagem de vigas de vigas deverá ser utilizada anteriormente para caso de falha por esse tipo de esforço.

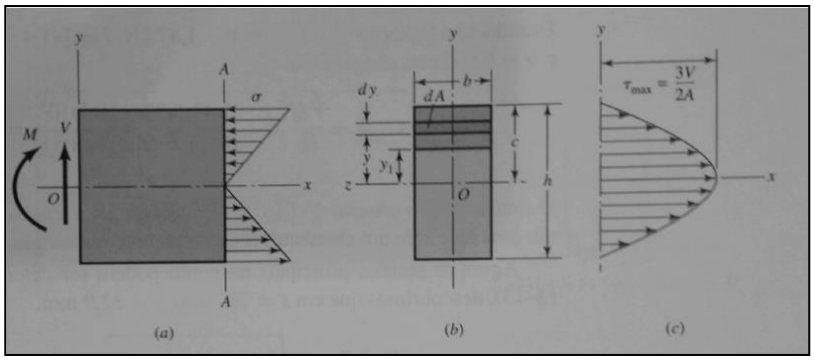
O uso da equação:

$$\tau = \frac{F}{A} \tag{2}$$

para um corpo em cisalhamento, também pressupõe uma distribuição de tensão uniforme. Porém, sabemos que na prática é muito difícil se obter essa situação.

A distribuição de tensões de cisalhamento também varia de acordo com a distância do centro da seção até a parte mais externa. Podemos observar melhor visualizando o trecho de uma seção transversal retangular de uma viga, submetida a uma força de cisalhamento V e ao momento fletor M, conforme a figura 3.

Figura 3 - Tensão de cisalhamento em uma viga retangular



Fonte: GERE(2010)

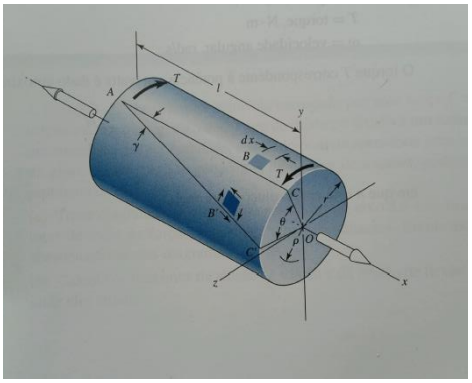
Com isso, notamos que ocorre uma tensão de cisalhamento máxima na linha neutra, onde y=0.

2.1.2 Torção

A torção se refere ao giro de uma barra retilínea quando carregada por um momento (ou torques) que tendem a produzir rotação ao redor do eixo longitudinal da barra GOODNO (2010). Quando temos esse efeito rotativo em relação ao eixo longitudinal, dizemos que a barra está em torção.

Podemos representar a deformação através das setas desenhadas ao longo da seção transversal de uma barra, ao ser aplicado um torque. Conforme a figura 4, podemos observar os vetores:

Figura 4 - Exemplo de torção em uma barra



Fonte: BUDYNAS(2011)

Onde temos:

T = torque

l = comprimento

G = Módulo de rigidez

J = segundo momento polar de área

O ângulo de torção, em radianos, para uma barra de seção redonda maciça é:

$$\theta = \frac{Tl}{GJ} \tag{3}$$

Quando uma barra está submetida à torção, ocorre o desenvolvimento de tensões de cisalhamento ao longo de sua seção transversal, a qual é proporcional ao raio r e é dada por:

$$\tau = \frac{Tr}{J} \tag{4}$$

Podemos observar que quanto mais distante do cento da seção transversal, maior será a tensão de cisalhamento na barra. Já em barras que não são maciças, onde temos seção redonda vazada, temos que levar em consideração o momento polar de inércia, concluindo que quanto maior a diferença entre o raio interno e o raio externo, menor será a tensão de cisalhamento na torção da barra, quando comparado a um mesmo ponto.

2.1.3 Deflexão

Segundo BUDYNAS (2011) todos os corpos reais sofrem deformação, sob carga, elástica ou plasticamente. Um corpo, sob estado de carregamento, pode ser consideravelmente insensível, onde o classificamos como rígido, uma vez que sua rigidez e deformação não

afetam a análise de projeto. A partir do momento em que a sua deformação não é mais desprezível, ele passa a ser considerado flexível, e sua análise passa a ser totalmente diferente.

Essa análise de deflexões aparece em situações de projetos de muitas maneiras. Podemos citar o exemplo de uma transmissão, onde as engrenagens são sustentadas por um eixo de transmissão, onde a deflexão do mesmo implicará no engrenamento perfeito, ou não, dos elementos que compõem a transmissão. Daí temos que, dentro de um projeto, o tamanho de um componente de sustentação de carga é geralmente determinado com base nas deflexões, em vez de priorizarmos os limites de tensão.

A elasticidade, propriedade inerente ao material, deverá ser analisada, uma vez que será ela que possibilitará o material retornar ao seu estado original após ter sido deformado. A deformação estará relacionada linearmente com a força, desde que o material não ultrapasse o seu limite elástico, entrando em seu comportamento plástico.

Quando tratamos de elementos que se assemelham a colunas, devemos levar em consideração os esforços de compressão que poderão ocasionar a flambagem, que nada mais é do que a deflexão do elemento após sofrer um carregamento compressivo, podendo ser central ou excêntrico, o que o levaria a envergar até sofrer a fratura. Assim, devemos separar todos os elementos dentro de um projeto que sofrerão compressão, para que sejam analisados de forma diferente, com critérios mais apurados. A carga crítica a qual um elemento colunar poderá ser submetido é determinado pela equação:

$$P_{cr} = \frac{\pi^2 EI}{l^2} \tag{5}$$

Uma falha em uma coluna é sempre repentina, inesperada e total, por isso, fatal. Não ocorre aviso prévio para que seja contornada a situação em tempo hábil, por isso deve ser levado como fator critico dentro do projeto.

2.2 Eixos

O *eixo* é um elemento rotativo, geralmente possui seção transversal circular, e é utilizado para transmitir potência ou movimento. Ele serve de eixo de rotação para engrenagens, volantes, manivelas, polias, e outros elementos similares, determinando a geometria do seu movimento.

De acordo com Nívia Gordo(2009), em livro de Cursos Profissionalizantes de Mecânica:

> Eixos são elementos mecânicos utilizados para articular um ou mais elementos de máquinas. Quando móveis, os eixos transmitem potência por meio do movimento de rotação. Os eixos e árvores são fabricados em aço ou ligas de aço, pois os materiais metálicos apresentam melhores propriedades mecânicas do que os outros materiais. Por isso, são mais adequados para a fabricação de elementos de transmissão

Quanto à seção transversal, podemos classificar os eixos em maciços, vazados, cônicos, ranhurados ou flexíveis.

Dentro de um projeto de máquina, o próprio projeto de eixo terá várias dependências de outros elementos como engrenagens, polias, mancais e outros elementos, os quais terão suas dimensões, espaçamentos e esforços previamente analisados. Os detalhes de um eixo que são examinados dentro de um projeto compreendem os seguites quisitos:

- Seleção do Material;
- Disposição Geométrica;
- Tensão e Resistência;
- Deflexão e Rigidez;

Para procedimentos de dimensionamento de eixos, é necessário somente saber que a tensão em um ponto específico do eixo pode ser utilizado para que seja feita a análise de tensão no eixo ao redor daquele ponto, sem necessariamente analisar toda a geometria do eixo.

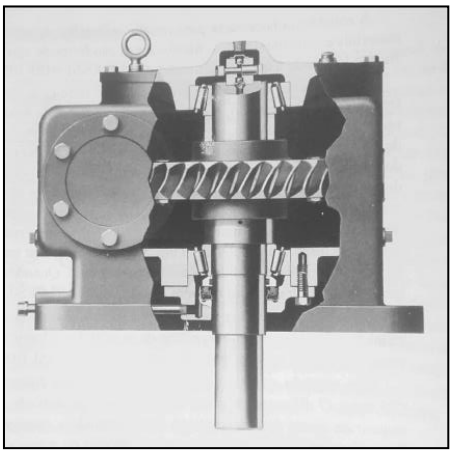
As análises de deflexão não podem ser feitas até que seja definida toda a geometria do eixo, pois ela depende diretamente da geometria, diferentemente da análise de tensões, a qual dependerá somente da geometria local do ponto analisado.

A deflexão do eixo será afetada por sua rigidez, uma vez que esta dependerá do módulo de elasticidade, o que é essencialmente constante para todos os aços. Por isso a rigidez não é controlada por escolha do material, mas sim pela definição geométrica do eixo. Já a resistência para suportar às tensões de carregamento influenciam a escolha do material e seus tratamentos. Porém, nem sempre a utilização de tratamentos térmicos garantirão enrijecimento significativo. Por isso é necessário pesar o custo do material quanto ao tipo e ao diâmetro utilizado, visando preço e quantidade de material gasto.

A geometria de um eixo geralmente é a de um cilindro escalonado, porém deve-se definir todas as acomodações e medidas para que se dê corretamente a análise de forças de

corpo livre, a fim de se obter os diagramas de cisalhamento e momento. O uso de ressaltos é um excelente meio de se localizar onde estarão dispostos os elementos nos equipamentos do eixo, como podemos verificar na figura 5.

Figura 5 - Eixo em um redutor com acionamento transversal



Fonte: BUDYNAS(2011)

A maioria dos eixos serve para transmitir torque a partir de uma engrenagem de entrada ou polia para uma engrenagem de saída ou polia, por isso eles devem ser dimensionados para suportar os esforços necessários. Deve ser levado em conta também a forma de transmissão do torque do eixo para a engrenagem, e este se dá por meio de elementos de transferência, tais como:

- Chavetas;
- Estrias;
- Parafusos de fixação;
- Pinos;
- Ajustes cônicos;

Além da função de transmissão de torque, muitos desses dispositivos são dimensionados intencionalmente para falharem em condições limites de operação, evitando danos e custos maiores aos equipamentos.

2.3 Engrenagens

São elementos rígidos utilizados na transmissão entre eixos, onde são dimensionados dentes com os mesmos padrões, para que haja o engrenamento entre os elementos, e assim, ser gerado o movimento de transmissão de potência. Quando duas

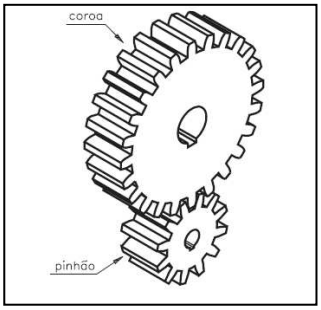
engrenagens estão em contato, chamamos a menor de pinhão e a maior de coroa. Essa nomeclatura não está relacionada à função de cada uma, mas sim quanto ao tamanho de cada.

Existem vários tipos de engrenagem, que são escolhidas de acordo com sua função.

2.3.1 Tipos

Engrenagem cilíndrica de dente reto: Possui seus dentes paralelos ao eixo de rotação, conforme figura 6, e são utilizadas para transmitir movimento de um eixo a outro, sendo que ambos são paralelos entre si. É o tipo mais simples de engrenagem, e por isso, o mais utilizados em máquinas dos mais diversos tipos.

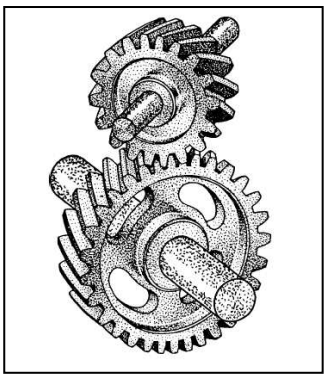
Figura 6 - Engrenagens de dente reto



Fonte: http://essel.com.br/cursos/material/01/ElementosMaquinas/32elem.pdf Acesso em 15/08/2016

Engrenagens Helicoidais: Possuem dentes inclinados em relação ao eixo de rotação da engrenagem, podendo ser utilizadas quando se deseja redução de ruídos, pois o seu engrazamento é mais suave e progressivo. Podem ser utilizadas para transmissão entre eixos paralelos e não paralelos, como podemos observar na figura 7.

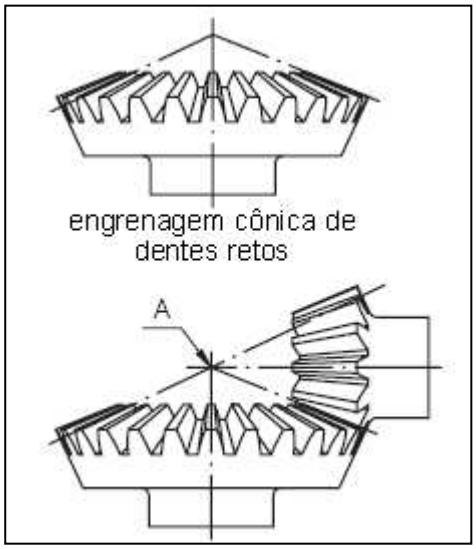
Figura 7 - Engrenagens de dentes helicoidais



Fonte: http://essel.com.br/cursos/material/01/ElementosMaquinas/32elem.pdf Acesso em 15/08/2016

Engrenagens cônicas: Possuem uma forma cônica, com seus dentes sendo formados em sua superfície, de acordo com a figura 8, com a finalidade de transmitir movimento entre eixos concorrentes. Seus dentes podem ser retos ou em espirais, formando um arco.

Figura 8 - Engrenagens cônicas de dentes retos



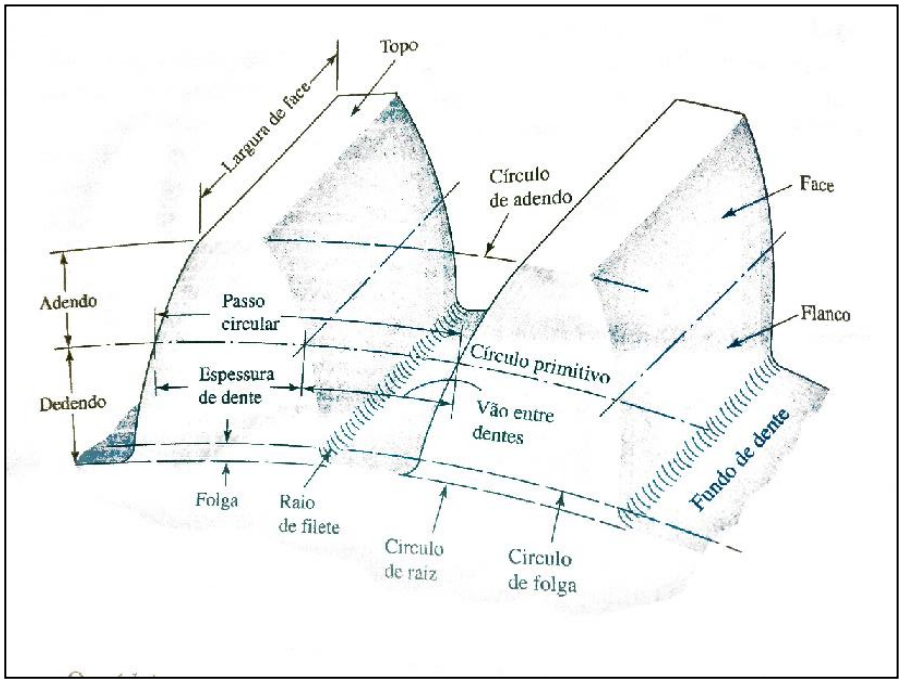
Fonte: http://essel.com.br/cursos/material/01/ElementosMaquinas/32elem.pdf Acesso em 15/08/2016

O par coroa-pinhão sem-fim representa o quarto tipo básico de engrenagens. Podemos observar que o pinhão com rosca sem fim se assemelha bastante a um parafuso. A rotação do sistema está totalmente interligada, sendo determinada pelo sentido de rotação do parafuso, ou eixo com rosca sem fim.

2.3.2 Nomeclatura

Como todo elemento, as engrenagens possuem suas particularidades e nomeclaturas que facilitam o trabalho e análise. A terminologia de dentes retos de engrenagens retas é ilustrada na figura 9:

Figura 9 - Aspectos de uma engrenagem de dente reto



Fonte: BUDYNAS(2011)

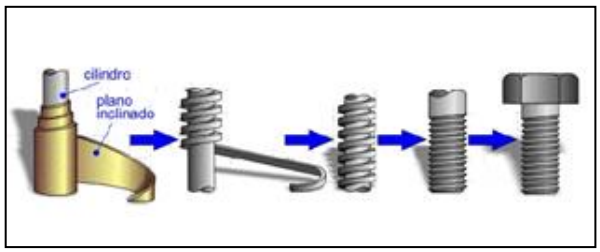
O *círculo primitivo* ou *de passo* é um círculo teórico do qual se origina o *diâmetro primitivo*, sobre qual todos os cálculos geralmente se baseiam. O *passo circular p* é a medida da distância de um ponto no dente, coincidente ao círculo primitivo, para o ponto correspondente no dente adjacente.

O *passo diametral P* é a razão entre o número de dentes da engrenagem e o diâmetro primitivo. No sistema inglês ou americano é chamado de *Diametral Pich*, cuja medida é dada em números de dentes por polegada. Já no sistema métrico, nos baseamos na variável *módulo, m*, a qual é definida pela razão entre o diâmetro primitivo e o número de dentes da engrenagem.

2.4 Parafuso de Potência

Parafuso é um componente que deriva diretamente do plano inclinado e sempre trabalha associado a um outro componente com furo roscado.

Figura 10 - Princípio de um parafuso



Fonte: http://tecmecanico.blogspot.com.br/2011/09/parafusos-porcas-arruelas-e-calculo-de.html Acesso em 22/08/16

Pode ser definido como um plano inclinado que envolve um cilindro, ou em termos técnicos, um sulco helicoidal fabricado na superfície de um cilindro. Podemos observar melhor na figura 10, onde temos o sulco helicoidal disposto ao longo do cilindro. Todo parafuso pode ter dois sentidos de rosca; a rosca direita ou rosca esquerda. Explicando de uma maneira simples, a rosca direita tem seu filete enrolado no sentido dos ponteiros de um relógio; já a rosca esquerda seu filete é enrolado no sentido contrario (figura 11). A mais comumente usada é a rosca direita, que faz o parafuso avançar quando fazemos girar uma porca ou um furo no sentido dos ponteiros do relógio.

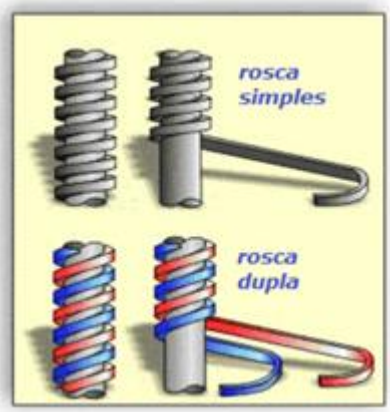
Figura 11 - Sentido da rosca em um parafuso

Fonte: http://tecmecanico.blogspot.com.br/2011/09/parafusos-porcas-arruelas-e-calculo-de.html Acesso em 22/08/16

Podemos encontrar também parafusos tipo rosca simples ou rosca múltipla. Nos parafusos de rosca simples temos apenas um fio de rosca ao longo do cilindro (corpo do parafuso). Já em parafusos de rosca múltipla, temos dois ou mais fios de rosca sobre o mesmo cilindro, dando lugar a parafusos rosca dupla ou rosca tripla, conforme o numero de fios de rosca fabricados, conforme figura 12. A mais utilizada é a simples, reservando as

roscas múltiplas para mecanismos que oferecem pouca resistência ao movimento e aos que desejam obter um avanço mais rápido com um numero de voltas mínimo (mecanismo de aperto).

Figura 12 - Perfis de rosca em um parafuso de potência



Fonte: http://tecmecanico.blogspot.com.br/2011/09/parafusos-porcas-arruelas-e-calculo-de.html Acesso em 22/08/16

São encontrados vários tipos de perfis de rosca, como Witworth, métrica, redonda, quadrada, trapezoidal e dente de serra, sendo que as mais comuns para o uso em sistemas parafuso - porca são Witworth e a métrica. Outra parte importante de se conhecer na rosca é o "passo", que nada mais é a distância existente entre duas cristas consecutivas. Se o parafuso é de rosca simples corresponde ao avanço sobre a porca com uma volta completa. Se for de rosca dupla o avanço será igual ao dobro do passo.

É importante saber que segundo o perfil da rosca, se define o tipo dela. Os mais comuns para aplicação são a Witworth e a métrica. Estes tipos de roscas estão normalizados, o que significa dizer que todos os seus parâmetros já estão predefinidas em normas da ABNT, ISO, entres outras. Nesse projeto utilizaremos o parafuso de potência, também conhecido como parafuso de avanço como atuador. São utilizados para converter movimentos rotacionais para movimentos lineares em atuadores, macacos e outros dispositivos.

Eles são capazes de produzir grande vantagem mecânica, portanto podem levantar e mover grandes cargas, devido o formato de sua rosca. As principais roscas utilizadas neste tipo de parafuso são:

- Rosca quadrada
- Acme (rosca trapezoidal);

2.5 Mancais deslizantes

São dispositivos utilizados para suportar cargas, apoiar adequadamente os eixos e componentes gerais de uma transmissão. Dois são os tipos mais comuns de mancais: mancais de deslizamento (escorregamento) e mancais de rolamento (anti-fricção).

O funcionamento de um mancal de deslizamento depende da formação de uma película de lubrificante (contato eixo e mancal), a qual somente será formada a partir do movimento relativo de escorregamento entre as partes. Essa condição gera coeficientes de atrito sensivelmente mais elevados e um elevado consumo de lubrificante. Atualmente existem mancais com buchas deslizantes que funcionam a seco, o que reduz a necessidade de lubrificação em rotinas de manutenção, gerando economia para o mantenedor.

2.6 Elevadores de veículos

São dispositivos que tem a finalidade de elevar automóveis para realização de algum serviço de manutenção, onde geralmente envolve algo de simples execução. Embora até quem nunca dirigiu já tenha ouvido falar do famoso macaco mecânico, ele não é a única opção do motorista. Quem dirige pode contar com muitos acessórios para armazenagem e movimentação do automóvel, dentre eles, outros tipos de macacos para carro. Alguns modelos existentes no mercado estão listados a seguir:

2.6.1 Macaco hidráulico

Velho conhecido dos motoristas, o macaco hidráulico é utilizado quando o pneu fura no meio da rua. Essa ferramenta tem como função elevar o veículo de forma simples para que a troca de pneus seja realizada com segurança. Existem dois tipos de macacos hidráulicos no mercado:

Macaco jacaré: Esse modelo consegue elevar automóveis de até 2 toneladas em sentido lateral. Além disso, contém rodas para acompanhar o deslocamento do veículo em casos de inclinação. Esse tipo de macaco hidráulico simplifica ainda mais o seu manuseio, pois com ele você consegue trocar os pneus do seu carro sem grandes esforços e de forma bem rápida.

Figura 13 - Modelo comercial de macaco hidráulico tipo jacaré

Fonte: http://www.bovenau.com.br/?pg=produto&cod=7; Acesso: 22/06/16.

Macaco garrafa: Esse modelo de macaco hidráulico é capaz de suportar veículos mais pesados (de até 15 toneladas). Apesar de sua grande resistência, o macaco garrafa é compacto, o que facilita bastante sua armazenagem. Para utilizá-lo corretamente, é preciso que ele proporcione estabilidade ao veículo. Dessa forma, é necessário que ele esteja nivelado com o solo.

Figura 14 - Modelo comercial de macaco hidráulico tipo garrafa

Fonte: http://www.bovenau.com.br/?pg=produto&cod=1; Acesso: 22/06/16

2.6.2 Macaco mecânico

Outro famoso tipo de macaco para carros é o mecânico. Ele apresenta dois modelos que servem de alavanca para elevar o veículo sem grandes mistérios. Muitos mecânicos e motoristas temem usar essas ferramentas por medo de danificar a lataria, mas no próprio automóvel há indicações de onde utilizá-los.

Outra dica simples é trocar os pneus com macaco mecânico em uma superfície plana que não ofereça risco de derrapagem.

Macaco joelho: Esse modelo de macaco mecânico é composto por uma manivela e uma alavanca simples. Com um sulco de apoio, a ferramenta eleva o veículo com facilidade.

Figura 15 - Modelo comercial de macaco mecânico tipo joelho

Fonte: http://diariodonordeste.globo.com/materia.asp?codigo=1003563; Acesso: 22/06/16

Macaco sanfona (ou tijolinho): Esse modelo de macaco mecânico eleva o carro lateralmente ao fazer pressão para cima. É constituído por um sistema de movimentação de alavancas e uma base mais plana da ferramenta.

Figura 16 - Modelo comercial de macaco mecânico tipo sanfona

Fonte: http://diariodonordeste.globo.com/materia.asp?codigo=1003563; Acesso: 22/06/16

Macaco elétrico: Para quem gosta de praticidade e não pode perder tempo, esse é o tipo de macaco ideal. Em questão de segundos, sem esforço algum do motorista, o macaco elétrico levanta a roda do automóvel. Esse acessório pode ser instalado direto na bateria do carro ou no acendedor de cigarros do automóvel.

Figura 17 - Modelo comercial de macaco mecânico tipo sanfona com motor elétrico

Disponível em: http://www.carrosblog.net/troca-de-pneu/index.html Acesso em 22/06/2016

2.7 Planejamento Estratégico de desenvolvimento do produto

O planejamento estratégico para o desenvolvimento de um novo produto a ser lançado no mercado é algo que utiliza-se de ferramentas para que se tenha a maior efetividade

e aceitação deste por parte dos consumidores. Algumas fases devem ser seguidas para que a maior quantidade de problemas e erros sejam solucionados antes de sua fabricação e lançamento. Quando tratamos de desenvolvimento de produto falamos basicamente de: Projeto informacional, projeto conceitual e projeto detalhado.

O projeto informacional vai reunir o conjunto de requisitos e especificações a respeito do produto. Consiste no conjunto de informações elaboradas durante o projeto que devem refletir as características que o produto e seu sistema deverão ter para atender às necessidades dos clientes finais e da organização fabricante.

Segundo ROZENFELD(2006) o Projeto Conceitual é a validação de uma idéia, ou seja, é a confirmação de que a melhor solução está sendo proposta para atender a determinado requerimento ou necessidade nas diversas áreas de uma planta industrial. É, portanto, a fase inicial do processo de projeto de um produto ou instalação. É através dele que são concebidas as maneiras de solução para um determinado problema ou necessidade. Podemos destacar cinco fases observadas na elaboração de um projeto conceitual: a Clarificação, a Concepção, a Análise, a Validação e a Definição. Outros recursos são utilizados após essas fases, finalizando o processo de conceito e partindo para o projeto detalhado.

No projeto detalhado, são definidas as formas, dimensões, propriedades das partes e a especificação das tolerâncias dos parâmetros do produto. Essa é a etapa que decide sobre a aprovação final do projeto antes de sua fabricação/construção. Neste estágio, resultados da análise financeira são fundamentais.

3 DESENVOLVIMENTO DO PRODUTO

3.1 Projeto Informacional

3.1.1 Configuração do Elevador portátil

Esta etapa é o primeiro passo para o projeto do Elevador Portátil, onde consiste a apresentação dos problemas e das necessidades básicas, na definição dos requisitos de projeto e na especificação do produto.

Este projeto tem como o objetivo desenvolver um Elevador Portátil que seja funcional, e tenha capacidade de elevar um veículo de passeio a uma altura máxima H de "0,6" metros e com um peso que seja aceitável para os padrões de um homem adulto. De

acordo com a NBR 17, temos um limite de massa a ser cumprido, para que ele possa ser um equipamento ergonômico. De acordo com o quadro 1, temos:

Quadro 1 - Carga relativa à idade x sexo

CARGAS PARA LEVANTAMENTO (EM Kg)				
	Adultos Jovens		Adolescentes Aprendizes	
	Homem	Mulher	Homem	Mulher
Raramente	50	20	20	15
Frequentemente	18	12	11-16	7-11

Fonte: Grandjean, 1980

A comunidade Européia determinou, por consenso, 25 kg. Porém, a ACGIH (American Conference of Governmental Industrial Hygienists), entidade que determina os limites de tolerância toma como aceitável 32 kg.

Então, para nosso projeto, teremos um limite de massa de 30Kg.

O desenvolvimento do elevador é baseado em alguns atributos como:

- Funcionamento: O Elevador deve ser de fácil manuseio e de fácil manutenção;
- Ergonomia: Leve o suficiente para o mecânico poder carregá-la do veículo transportador para o local de manutenção;
- Estética: O Elevador deve ser pintado, rodas novas, suporte de veículo emborrachado;
- Econômico: Utilizar material a baixo custo, que atenda às necessidades de operação e segurança, de baixo custo de manutenção, e possibilidade de itens existentes no mercado;

O elevador a ser desenvolvido deve ser seguro e confiável, e demonstrar que foi desenvolvida por um profissional, ter baixo custo, racionalizando o recurso e aproveitando materiais disponíveis no mercado, deve ter robustez e durabilidade.

Figura 18 - Carlift fabricação caseira

Disponível em: www.alibaba.com Acesso: 22/08/2016

A partir da figura18, é possível destacar os subsistemas do Carlift, o qual terá a mesma aplicação no Elevador Portátil para serviços de reparo externo. De um modo geral pode ser dividido em:

1. Estrutura: Estrutura tubular de material rígido;
2. Mancais de deslizamento: Necessários para junção das partes estruturais;
3. Acionamento: Responsável por iniciar o movimento de elevação;
4. Suporte: Base para apoio do veículo durante a operação do equipamento;
5. Rodas: Necessária para o deslizamento do equipamento;

3.2 Projeto Conceitual

3.2.1 Desenvolvimento da Estrutura

A estrutura que permite a elevação do carro será uma montagem de quatro elementos, que, quando acionados por um motor elétrico de corrente contínua de 12 V, transmitirá torque através de uma caixa de redução que acionará o parafuso de potência, realizando a elevação do veículo. As suas dimensões largas permitem estabilidade ao veículo elevado, mesmo sendo feita em um ambiente externo. A regulagem dos apoios permitem a utilização por diversas larguras de veículos de passeio.

3.2.2 Escolha da Estrutura

Para a escolha da estrutura do elevador, foram pesquisados materiais habitualmente utilizados e que tem fácil aquisição no mercado, e é de se esperar as seguintes características como:

- Alta resistência mecânica;
- Fácil soldagem;
- Fácil montagem;
- De fácil aquisição;
- Baixo custo.

No Quadro 2 resume-se as vantagens e desvantagens dos materiais que foram analisados, e suas propriedades.

Quadro 2 - Vantagens e Desvantagens dos materiais

Material	σ_r MPa	σ_e MPa	Vantagens	Desvantagens
Aço SAE 1020	380	210	Boa resistência mecânica, custo baixo	Peso específico maior, dificultando a ergonomia
Aço AISI 1045	570	310	Alta resistência mecânica, custo médio	Peso específico maior, dificultando a ergonomia
Alumínio liga 6351T6	290	255	Alta resistência mecânica, baixo peso.	Custo alto

Fonte: BUDYNAS (2011)

O material escolhido foi o aço AISI 1045, visto que possui maior coeficiente desejadas e é encontrado em quantidade no mercado, em preço mais acessível.

3.2.3 Cálculo estrutural para definição do material

Para definição da escolha do material, foram levantados os esforços sofridos pelo elevador, através de um diagrama de corpo livre. Para isso foi utilizado o programa de modelagem SolidWorks® 2016.

Com a definição dos esforços, definimos que o material ideal seria o AÇO AISI 1045, devido à relação custo benefício. A estrutura seria fabricada com tubos mecânicos quadrados de medida 40mm X 40mm X 2mm, facilmente encontrado no mercado, com as medidas conforme ANEXO I.

3.2.4 Escolha dos Mancais de deslizamento

Como elemento de conexão entre as partes do elevador portátil, o mancal tem vital importância na construção do projeto. Fatores como atrito, desgaste excessivo,

resistência mecânica e custo são fundamentais para sua escolha. No quadro 3 podemos destacar alguns materiais mais usados e suas vantagens e desvantagens.

Quadro 3 - Vantagens e Desvantagens das buchas dos mancais

Material	Vantagens	Desvantagens
Bucha Nylon	Boa resistência ao desgaste, baixo custo	Resistência mecânica moderada
Bucha metálica	Boa resistência ao desgaste, baixo custo	Atrito elevado e ruído excessivo
Rolamento de rolos	Alta resistência mecânica	Custo alto, não operam a seco
Bucha de deslizamento antiatrito	Alta resistência mecânica e alta resistência ao desgaste, sem necessidade de lubrificação	Custo médio

Fonte: Autor

O material escolhido para a fabricação das buchas nas junções será a bucha de deslizamento antiatrito da fabricante GGB, levando em consideração a relaço custo X benefício propiciado.

3.2.5 Escolha do sistema de acionamento

Para definirmos o sistema de acionamento do elevador portátil, precisamos definir alguns pré requisitos, como a necessidade de ele operar na condição de autotravamento e retroacionamento. O primeiro termo se refere à condição de, no momento em que uma carga for elevada, a força contrária à de elevação não faça o parafuso de potência ser acionado, fazendo com que a carga desça.

Já a condição de retroacionamento está relacionada com a condição de ele retornar à posição inicial com o movimento reverso de rotação do atuador. Dentro do projeto, a escolha do sistema de acionamento abrangeu duas possibilidades:

- Fabricação de um fuso (parafuso de potência), incluindo um tubo com uma porca interna para acionamento do sistema, incluindo fabricação caseira através da usinagem, com ferramentas especiais, materiais de difícil obtenção e alto custo;

- Aquisição de um atuador mecânico linear, disponível no mercado convencional, com valores compreendidos entre R$ 500,00 a 1000,00. (Figura 19)

Figura 19 - Atuador mecânico linear

Fonte: http://produto.mercadolivre.com.br/MLB-808792308-atuador-linear-lai1-300mm-melhor-preco-do-brasil-_JM Acesso em 12/09/16

Levando em consideração os fatores custo e potência, foi escolhido utilizar o atuador mecânico disponibilizado em mercado convencional, da fabricante Duff Norton, pois atendeu aos requisitos de projeto, figura 20.

Figura 20 - Atuador mecânico linear

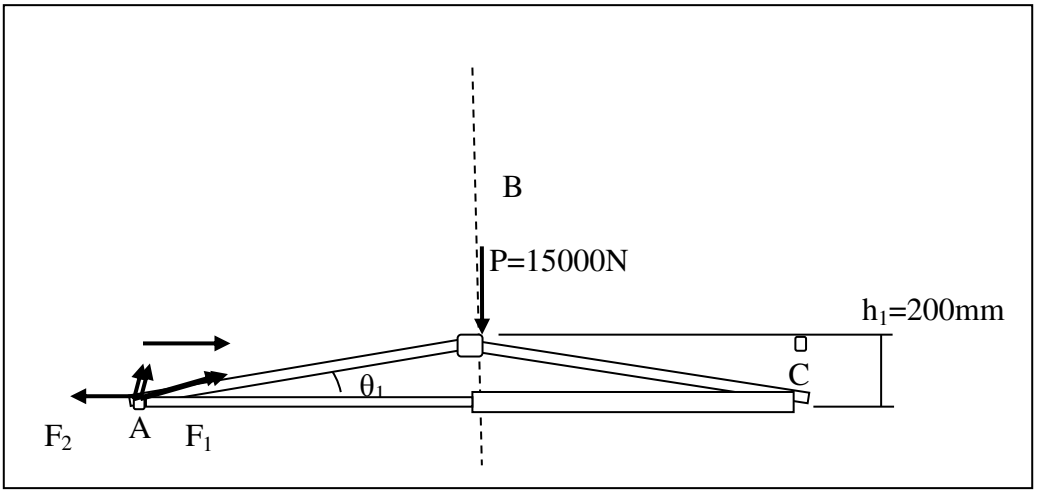
Fonte: http://www.tecnongroup.com/actuadores-mecanicos/?lang=pt Acesso em 12/09/16

3.3 Projeto Detalhado

3.3.1 Calculo dos esforços estruturais

Utilizando o recurso do diagrama de corpo livre, destacamos os esforços sofridos pelo elevador, ao suportar uma carga de 30.000N (peso de um veículo de passeio, para uma massa de 3.000 kg, considerando g= 9,81m/s^2):

Figura 21 - Diagrama de corpo livre: sistema na altura inicial



Fonte: Autor.

Dados:

AC = 880

H = 700mm (projeto para elevação de 600mm, como margem de 100mm)

h_1= 200mm

θ_1 **= 14º**

De acordo com Resolução N º 479 do CONTRAN, a altura mínima permitida para circulação deve ser maior ou igual a 100 mm. Porém, para o sistema de elevação adotaremos uma medida do vão entre o solo e o veículo de 200mm, considerando esta a medida em que os pneus deixam de ter contato com o solo, havendo o maior esforço por parte do elevador. Tem-se então uma faixa de trabalho entre 200 a 700mm. O elevador em estudo sofre uma carga em cada apoio de P = 15000N, toda a análise será feita a partir deste valor, o qual será divido por 2, sendo metade em cada barra.

Abaixo temos a equação de equilíbrio para a estrutura:

$$\Sigma Fy = 0;\ -\frac{P}{2} + F1 \sin\theta \Rightarrow \frac{7500}{\sin 14º} = F_1 \Rightarrow F_1 = 30.000N \quad (6)$$

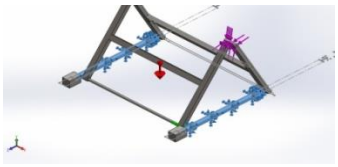
Encontramos a força na barra, qual será a força axial máxima de compressão:

$$\Sigma Fx = 0;\ F_2 = F_1.\cos 14º \Rightarrow F_2 = 29.109N \quad (7)$$

Encontro força necessária no atuador, para que inicie o movimento de elevação do veículo. Segundo a fórmula acima, as barras sofrem a maior carga de compressão quando o ângulo θ for menor, ou seja, no momento inicial de elevação.

A partir de cálculos realizados no software SOLIDWORKS® 2016, encontramos os seguintes esforços, para quando o sistema atinge sua altura máxima:

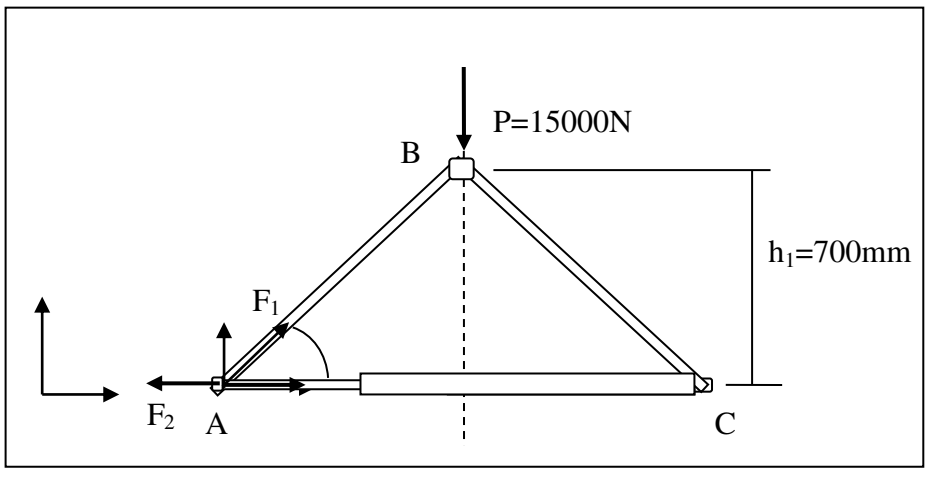
Quadro 4 - Simulação de esforços no software SOLIDWORKS 2016

<table>
<tr><th colspan="3">Analisado com o SOLIDWORKS 2016 - Simulation</th></tr>
<tr><th>Nome do acessório de fixação</th><th>Imagem de acessório de fixação</th><th>Detalhes de acessório de fixação</th></tr>
<tr><td>Fixo-1</td><td>  </td><td>Entidades: 6 face(s)
Tipo: Geometriafixa</td></tr>
<tr><td colspan="3">Forças resultantes
<table>
<tr><th>Componentes</th><th>X</th><th>Y</th><th>Z</th><th>Resultante</th></tr>
<tr><td>Força de reação(N)</td><td>-0.312903</td><td>738.678</td><td>158.149</td><td>755.418</td></tr>
<tr><td>Momento de reação(N.m)</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td></tr>
</table></td></tr>
</table>

Fonte: SOLIDWORKS®2016.

O digrama de corpo livre nos direciona para encontrar as forças atuantes nas barras, em uma vista lateral. A estrutura deverá suportar as tensões geradas pelas cargas durante a operação do equipamento, levando em consideração, em primeiro lugar, a possibilidade de flambagem, tendo em vista as cargas de compressão.

Figura 22 - Diagrama de corpo livre: sistema na altura final.



Fonte: Autor.

3.3.2 Cálculo das tensões no atuador

O atuador irá sofrer esforços ao longo do eixo x, esforços de tração e compressão. Robert L. Norton (2004, p. 213) diz que:

> Os pontos mais prováveis de falha são os elos por flambagem, os furos nos mancais onde são inseridos os pinos, os pinos de conexão por cisalhamento, os dentes das engrenagens por flexão e o parafuso por tração. Há dois conjuntos de elos, um conjunto de cada lado. Considere que os dois lados compartilham o carregamento igualmente. Um macaco é tipicamente usado por poucos ciclos durante sua vida útil, e portanto uma analise estática é apropriada.

Para esse componente, serão calculadas as tenções e momentos necessários para realização do funcionamento do equipamento, em seguida escolhido o modelo do atuador que atenderá os requisitos do projeto.

Foi escolhido um suposto parafuso de potência, onde faremos a comparação com o atuador mecânico que poderá ser utilizado. Esse parafuso terá um diâmetro nominal da rosca d = 20mm, diâmetro médio d_m = 18,5mm, e um diâmetro interno de d_i = 17mm e passo p = 4mm. Para tal peça escolheremos o aço AISI 1045, que tem como σ_r = 570Mpa, σ_e= 310 MPa.

A resistência é dada:

$$\sigma_{eq} = \sqrt{\sigma_r^2 + \tau_T^2} < \sigma_{ADM} \tag{8}$$

Onde:

σ_{eq}= Tensão equivalente;

σ_r = Tensão de ruptura;

τ_T = Tensão de torção;

σ_{ADM} = Tensão admissível

A tensão de ruptura no parafuso é calculada pela expressão:

$$\sigma_r = \frac{4 * F_2}{\pi * d_i^2} \tag{9}$$

Onde:

F_2 = é a força axial máxima atuante no fuso;

d_i = diâmetro interno do fuso;

Então temos:

$$\sigma_r = \frac{4 * 29109}{\pi * 17^2} = 128{,}25 \text{ MPa} \quad (10)$$

A tensão de torção é calculada por:

$$\tau_T = \frac{16 * M}{\pi * d_i^3} \quad (11)$$

Onde:

$$M = \frac{F_t * d_m}{2} * \left(\frac{l + \pi f d_m}{\pi d_m - f l}\right) \quad (12)$$

Sendo:

f = Coeficiente de atrito. Para aços, temos valores de coeficiente compreendidos entre 0,12 e 0,15. Utilizaremos o valor de $f = 0{,}15$.

$l = 2mm$

Com isso temos o valor do momento torsor:

$$M = \frac{29109 * 18{,}5}{2} * \left(\frac{2 + \pi * 0{,}15 * 0{,}0185}{\pi 18{,}5 - 0{,}15 * 2}\right) \quad (13)$$

M = 49,81 N.m

Logo,

$$\tau_T = \frac{16*49{,}81}{\pi*17^3} \quad (14)$$

τ_T = 52 MPa

Finalmente chegamos à:

$$\sigma_{eq} = \sqrt{\sigma_r^2 + \tau_T^2} \quad (15)$$

σ_{eq} = 138,4 MPa

3.3.3 Cálculo do fator de segurança

Para determinar o coeficiente de segurança em função das circunstâncias apresentadas, deverá ser utilizada a expressão a seguir:

$$FS = a \,.\, b \,.\, c \,.\, d \quad (16)$$

- Valores para a (fator do tipo de material):

a = 2 para materiais comuns

a = 1,5 para aços de qualidade e aço liga

- Valores para b (fator do tipo de solicitação):

b = 1 para carga constante

b = 2 para carga intermitente

b = 3 para carga alternada

- Valores para c (fator do tipo de carga):

c = 1 para carga gradual

c = 1,5 para choques leves

c = 2 para choques bruscos

- Valores para d (fator que prevê possíveis falhas de fabricação)

d = 1 a 1,5 para aços

d = 1,5 a 2 para fofo

Considerando os seguintes valores para os critérios de segurança: a=1,5; b=1; c=1 e d=1,5; temos:

FS = 1,5 x 1 x 1 x 1,5 = 2,25 (17)

Trazendo os resultados anteriores, temos:

$$\sigma_{ADM} = \frac{\sigma_e}{FS} \quad (18)$$

$$\sigma_{ADM} = \frac{310}{2{,}25} \Rightarrow \sigma_{ADM} = 138\,\text{MPa} \leq 138{,}4\,\text{MPa} = \sigma\text{eq.}$$

Apesar da tensão equivalente ter superado em 0,4MPa a tensão admissível, consideramos que está dentro da faixa aceitável para o projeto, sem comprometer a segurança e funcionalidade.

3.3.4 Verificação da resistência estrutural

Para finalização dos esforços e tensões, foi feita a modelagem no CAD, utilizando-se o critério de tensões de Von Mises. Nos termos das tensões principais σ_1, σ_2, σ_3, a tensão de Von Mises é expressa como:

$$\sigma_{vonMises} = \{[(\sigma_1 - \sigma_2)^2 + (\sigma_2 - \sigma_3)^2 + (\sigma_1 - \sigma_3)^2] / 2\}^{1/2} \quad (19)$$

A partir dessa teoria temos que um material dúctil começa a escoar em um local onde a tensão de Von Mises se torna igual ao limite de tensão. Na maioria dos casos, o limite de escoamento é usado como limite de tensão. Porém, o software SOLIDWORKS 2016 permite usar a tração máxima ou definir seu próprio limite de tensão.

$$\sigma_{vonMises} >= \sigma_{limite}$$

O limite de escoamento é uma propriedade dependente da temperatura. O valor especificado do limite de escoamento deve levar em consideração a temperatura do componente. O fator de segurança em um local é calculado por:

$$\text{Fator de segurança (FS)} = \sigma_{limite} / \sigma_{vonMises}$$

no caso de cisalhamento puro, a tensão do critério de Von Mises é expressa como: $\sigma_{máx} = \sigma_{escoamento} / \sqrt{3} = 0{,}5777\ \sigma_{escoamento}$.

Isso significa que, na a ocorrência de escoamento, a tensão máxima de cisalhamento no cisalhamento puro é $\sqrt{3}$ vezes menor do que a tensão de escoamento no caso de tensão simples.

Para critérios de simulação, foi utilizado o software SOLIDWORKS 2016:

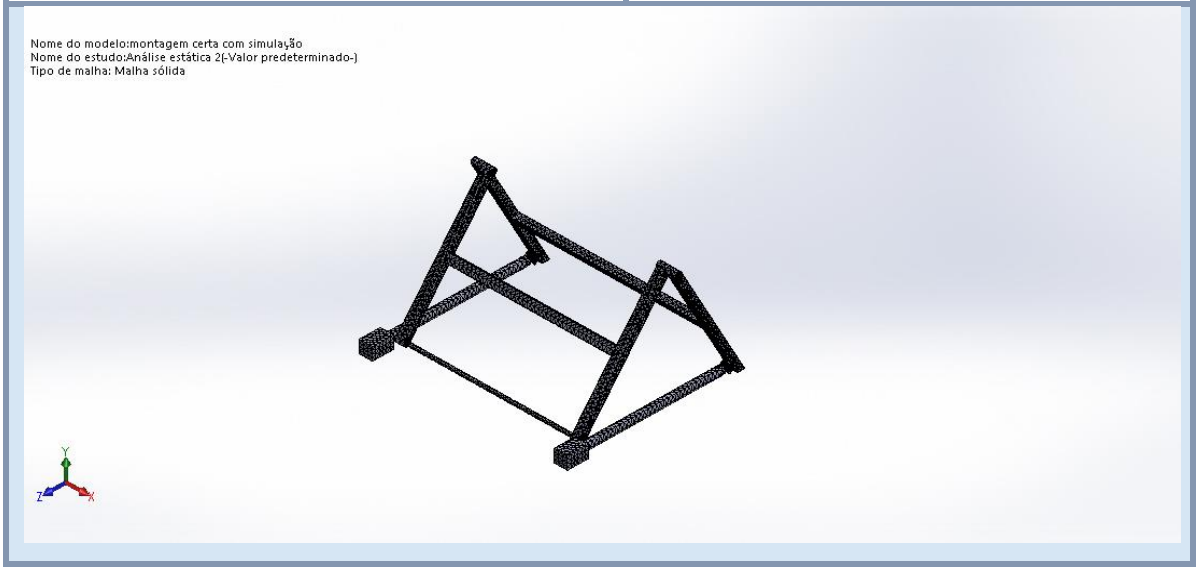
Quadro 5 - Informações de malha e dados para simulação de tensões.

Tipo de malha	Malhasólida
Gerador de malhas usado:	Malhapadrão
Transição automática:	Desativada
Incluir loops de malha automáticos:	Desativada
Pontos Jacobianos	4 Pontos
Tamanho do elemento	24.5618 mm
Tolerância	1.22809 mm
Qualidade da malha	Alta

Fonte: SOLIDWORKS®2016

Quadro 6 - Informações de malha - Detalhes

Total de nós	32605
Total de elementos	16835
Proporção máxima	63.787
% de elementos com Proporção< 3	30.7
% de elementos com Proporção< 10	47.1
Tempo de conclusão da malha (hh;mm;ss):	00:00:11

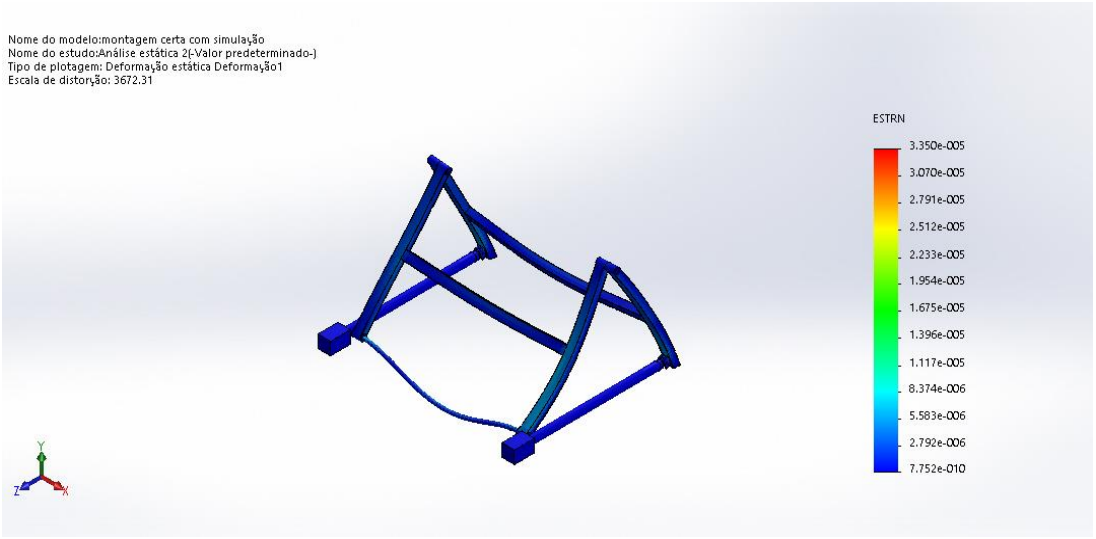


Fonte: SOLIDWORKS®2016

Após a aplicação dos esforços temos o seguinte resultado, de acordo com o quadro 7:

Quadro 7- montagem certa com simulação-Análise estática 2-Deformação-Deformação1

Nome	Tipo	Mín.	Máx.
Deformação1	ESTRN : Deformação equivalente	7.75156e-010 Elemento: 358	3.34956e-005 Elemento: 3769



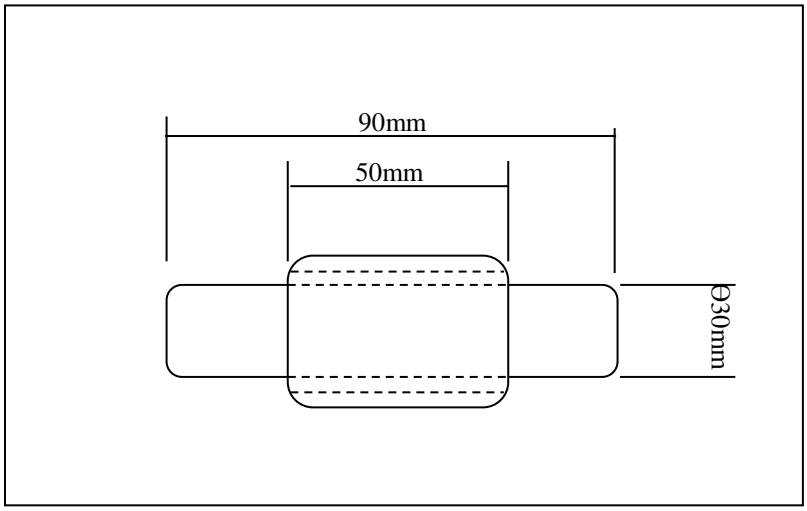
Fonte: SOLIDWORKS®2016

Vemos nitidamente, após aumentado o grau de deformação, os pontos de maior deflexão nas barras do elevador. Apesar da aparência surreal, vemos que todas as áreas encontram-se dentro da zona de conforto de um projeto, pois não há risco de colapso estrutural.

3.3.5 Cálculo da resistência do pino do suporte

Os eixos que farão a conexão do elevador com as duas pranchas de apoio sofrerão cisalhamento duplo. Para isso é necessário a verificação da resistência de ambos os eixos. Para isso tomaremos a seguinte situação: pino de aço SAE 1020, furo de encaixe na estrutura do elevador com 50mm de comprimento.

Figura 23 - Pino de fixação das pranchas de apoio



Fonte: Autor

V = força de cisalhamento = P/2

A_b= área de contato;

Para o cálculo da tensão temos:

$$\tau_{pino} = \frac{V}{A_b} \quad (18)$$

Onde:

$$A_b = \frac{2\pi d^2}{4} \quad (19)$$

$$A_b = \frac{2\pi 30^2}{4}$$

$$\tau_{pino} = \frac{7500}{\frac{2\pi 30^2}{4}}$$

τ_{pino}= 5,3 MPa

Logo, o pino suportará o esforço requerido, pois é menor que a tensão admissível, utilizando o fator de segurança de 2,25.

3.4 Problemas durante o desenvolvimento do projeto

Pode-se destacar como dificuldades encontradas o aspecto financeiro do projeto, onde somente com recursos próprios, não foi possível avançar mais uma etapa e partir para a fabricação do elevador. O fato do seu funcionamento ser unicamente através de um atuador

dificultaria a fabricação, por não haver tal item no mercado local, elevando os custos com transporte.

4 CONCLUSÃO E TRABALHOS FUTUROS

4.1 Conclusão do Trabalho

O projeto atingiu os resultados esperados dentro de um ambiente didático, possibilitando a aplicação de técnicas aprendidas ao longo do curso e a adesão de novos conhecimentos decorrente do desenvolvimento do projeto.

O desenvolvimento de um novo produto a partir de uma necessidade, que, a princípio se fez simples, foi apresentando pontos sensíveis e complexos, podendo ser solucionados de acordo com o conhecimento adquirido no curso, destacando-se a disciplina de Projeto do Produto e da Fábrica, pois a idealização e inovação devem ser direcionadas através de ferramentas de estudos desenvolvidas nessa disciplina que irão otimizar a relação produto x cliente.

Durante todo o projeto, pôde-se observar a importância deste novo produto dentro do processo de manutenção veicular em ambiente externo, uma vez que são utilizadas apenas ferramentas tradicionais, sem requinte de sofisticação, o que gera imprecisão e desperdício de tempo no processo. Já utilizando o elevador, o profissional mantenedor contará com mais segurança, gastará menos tempo, e terá um serviço mais ergonômico.

Por fim, pode-se concluir a importância do uso das ferramentas de modelagem quando há a impossibilidade da fabricação, pois podemos simular a realidade e reduzir custos com protótipos, realizando a construção do elevador já tendo dirimido vários pontos e dificuldades encontradas durante as fases de um projeto, desde o projeto informacional até a fase do lançamento do produto.

4.2 Sugestões para Trabalhos Futuros

O elevador atingiu todos os resultados esperados, e observou-se a possibilidade de atualizações que podem ser feitos a partir produto desenvolvido. Estes trabalhos podem ser citados como:

- Estudo da possibilidade de um novo produto que possa ser utilizado em pisos irregulares;

- Desenvolvimento de um acionamento por controle remoto, sem que o mantenedor precise conectar alguma fiação;
- Desenvolvimento de uma estrutura tubular mais leve, buscando uma melhoria contínua do produto através do uso de novos materiais;

REFERÊNCIAS

ALMEIDA. Julio Cézar de. **Mancais de deslizamento.** Disponível em: http://help.solidworks.com/2016/portuguesebrazilian/SolidWorks/cworks/r_Maximum_von_Mises_Stress_Criterion.htm. Acesso em: 15 set. 2016.

BRASIL, Cristina Índio do. **Mercado automotivo ganha a primeira franquia móvel no Brasil que oferece serviço de troca de óleo e filtro de ar delivery.**2015. Disponível em: http://www.cdlpoa.com.br/cdlnews/2015/02/1896112_23022015.html. Acesso em: 06 abr. 2016.

BUDYNAS, Richard G.; NISBETT, J. Keith. **Elementos de Máquinas de Shigley**: Projeto de Engenharia Mecânica, 8ª Ed., Bookman, Porto Alegre, 2011.

COBRA, R. Q. **Resumos bibliográficos**, 1997. Disponível em http://www.cobra.pages.nom.br/fm-mersenne.html. Acesso em: 15 set. 20116

BRASIL, Conselho Nacional de Trânsito, Resolução Nº 479 de 20 de março de 2014, Distrito Federal, 2014

FREIRE, J. M. **Fundamentos de Tecnologia** – Introdução às Máquinas Ferramentas. Vol2. Editora Interciência, Rio de Janeiro,1989.

GERE, James M.; GOODNO, Barry J. **Mecânica dos Materiais**: Tradução da 7ª edição norte-americana, Cengage Learning, São Paulo, 2009.

GORDON, Nivia; FERREIRA, Joel. **Profissionalizante de Mecânica:** Elementos de Máquinas, 1ª Ed., Fundação Roberto Marinho, 2009.

LORDES, Francisco et. all. **Noções Básicas de Elementos de Máquinas**. Senai / CST,Vitória,1996.

NORTON, R. L. **Projeto de máquinas**: Uma Abordagem Integrada, 2ª Ed., Bookman, 2004

NSK. Catálogo Nº P1102a 2013.NSK Brasil Ltda, Brasil, 2013.

PARKER. ComLtda. Parker Automation. Tecnologia. Jacareí, 2003. 60p

PROTEC, **Manual do Projetista de Máquinas**, São Paulo, 1984.

ROZENFELD, Henrique; FORCELLINI, Fernando A.; AMARAL, Daniel C.; TOLEDO, José C.; SILVA, Sérgio L.; ALLIPRANDINI, Dário H.; SCALICE, Régis K.. **Gestão de desenvolvimento de produtos**: uma referência para a melhoria do processo. Saraiva, São Paulo, 2006.

WITE, H. **Máquinas Ferramenta**; Tradução Mário Ferreira de Brito. São Paulo: Hermus, 1998.

_____. **Atuadores Mecânicos.** Disponível em: http://www.tecnongroup.com/actuadores-mecanicos/?lang=pt. Acesso em: 04 out. 2016.

_____.**Catálogo: fichas técnicas, especificações, equipamentos e fotos de carros.** Disponível em: http://www.carrosnaweb.com.br/catalogo.asp?curpage=65&proced=0&anoini=2000&anofim=2017&valini=&valfim=100000000&Ordem=66&porte=0&config=1&cilini=&cilfim=&fabricante=&combustivel=0&cambio=0&tracao=&varnome=&aspiracao=&eq01=&eq02=&eq04=&eq09=&eq10=&eq11=&eq12=&eq13=&eq14=&eq15=&eq16=&eq18=&eq19=&eq20=&eq21=&eq22=&eq24=&eq25=&eq26=&eq27=&eq28=&eq29=&eq30=&eq31=&eq33=&eq34=&eq77=&eq35=&eq37=&eq39=&eq40=&eq41=&eq38=&eq42=&eq43=&eq44=&eq46=&eq49=&eq53=&eq100=&eq60=&eq86=&eq65=&eq68=&eq69=&eq75=&eq78=&eq79=&eq80=&eq81=&passageiros=0&acionamentocomando=&alimentacao=&portamalas=&seguromax=&potenciamin=&potenciamax=&torquemin=&torquemax=&suspensaodianteira=&suspensaotraseira=&freiosdianteiros=&freiostraseiros=&direcao=&portas=&cilindrosquantidade=&cilindrosdisposicao=&valvulascilindro=&tucho=&embreagem=&variadorfase=&tanque=&marchas=&cx=&pesomax=&pesopotmin=&pesopotmax=&pesotorqmin=&pesotorqmax= .Acesso em 15 set. 2016

_____. **ElectromechanicalActuator**. Design Guide. Disponível em: http://www.tecnongroup.com/e_pdfs/DUFF_NORTON/COMPLETE%20CATALOG.pdf. Acesso em: 15 set. 2016.

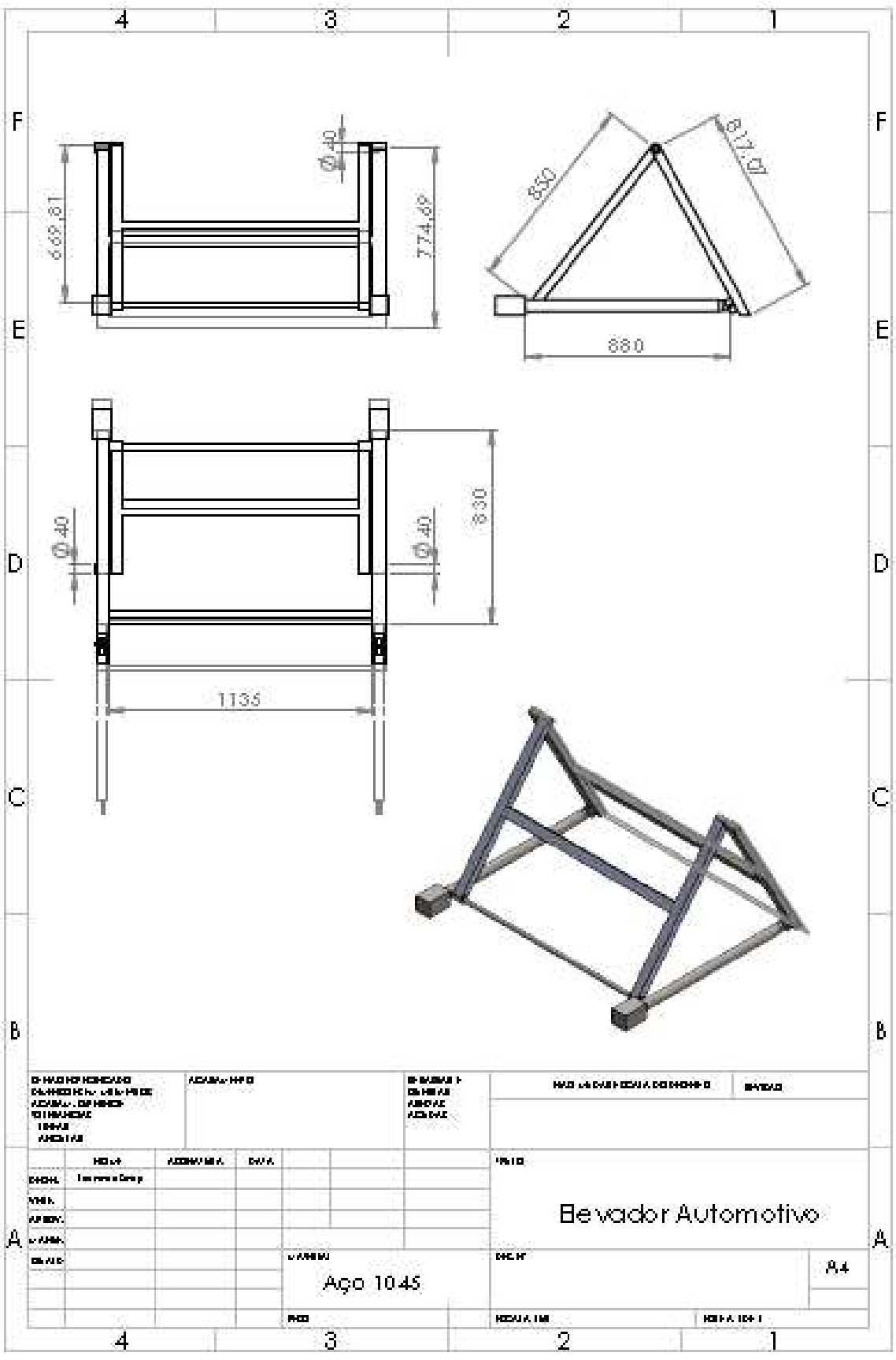
_____. **Macacos para carro: conheça os diferentes tipos e suas vantagens.** Disponível em:http://www.carrosblog.net/troca-de-pneu/index.html. Acesso em: 03 out. 2016.

_____. **Mancais e Buchas de Deslizamento Antiatrito.** Disponível em: https://www.ggbearings.com/pt/produtos/mancais-de-deslizamento. Acesso em: 23 set. 2016

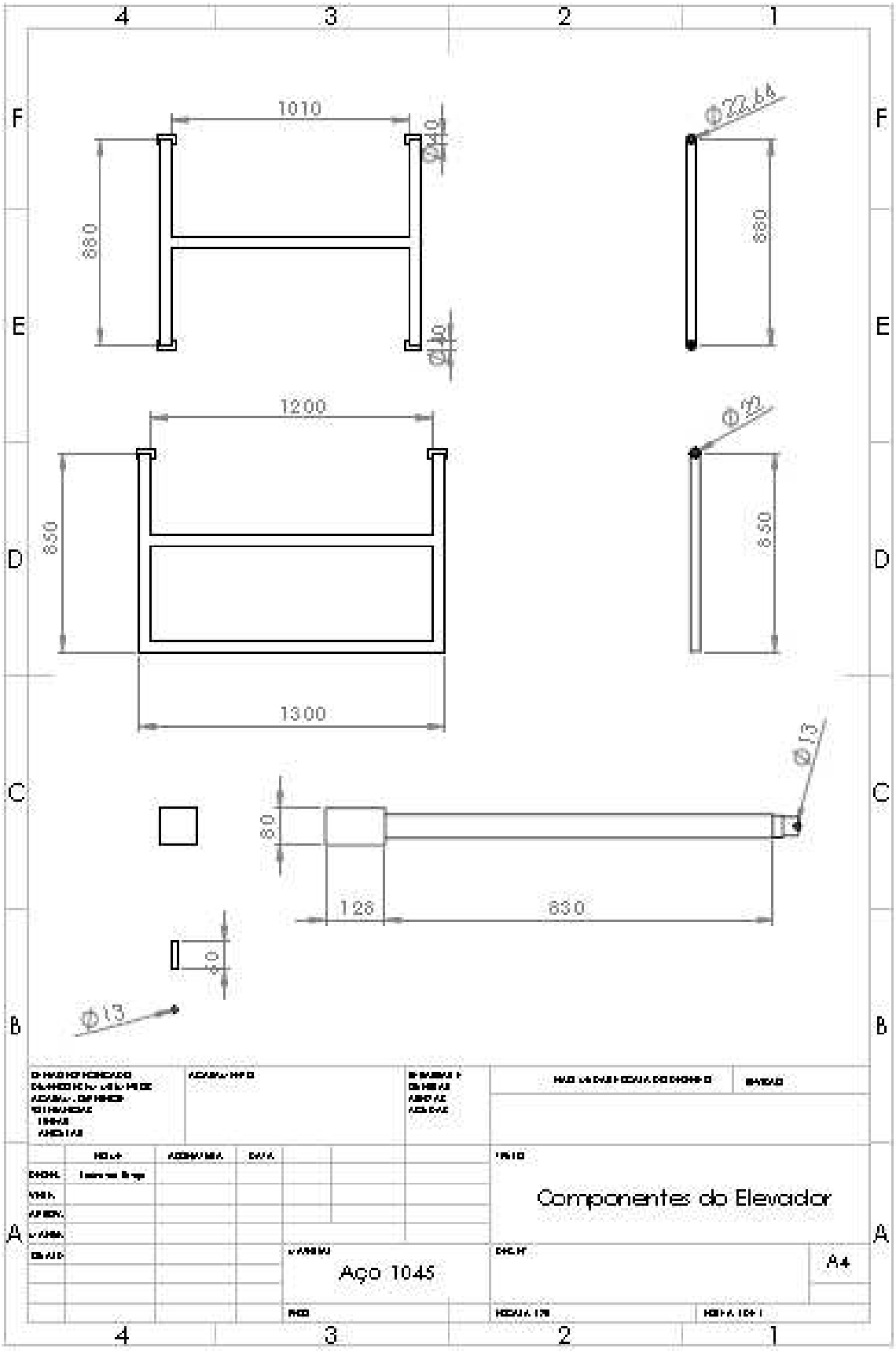
_____. **Parafusos, porcas, arruelas e cálculo de roscas.** Disponível em: http://tecmecanico.blogspot.com.br/2011/09/parafusos-porcas-arruelas-e-calculo-de.html. Acesso em: 11 out. 2016

ANEXOS

ANEXO A


Ø40
669.81
774.69
850
Ø17.07
880
Ø40
Ø40
830
1135
Elevador Automotivo
Aço 1045
A4

ANEXO B


1010
Ø40
880
Ø22,64
1200
Ø22
850
1300
Ø13
80
128
830
60
Ø13
Componentes do Elevador
Aço 1045
A4