



## Desenvolvimento de uma Empilhadeira Adaptada para um Trator Developing a Forklift Adapted to a Tractor

Tiago Sinigaglia<sup>1</sup>

Cristiano Ziegler<sup>2</sup>

Luan Marcel Förster<sup>3</sup>

**Resumo:** A adaptação de sistemas mecânicos em equipamentos já existentes é uma possibilidade na engenharia e visa praticidade e economia de custos. O objetivo é projetar um equipamento que facilite a elevação e o transporte de cargas em diversos setores da indústria e principalmente da agricultura. Sendo assim no decorrer deste trabalho é possível compreender como pode ser desenvolvida uma empilhadeira acoplada em um trator. Esta empilhadeira pode suportar 2.000 quilos em carga distribuída sobre os garfos, a uma altura de até 3 metros. Uma vantagem desse tipo de equipamento é que ele é acoplado a um trator eliminando a necessidade de compra de uma empilhadeira automotriz. Na apresentação e análise dos resultados é realizado o dimensionamento do garfo e da torre, neste tópico são apresentados cálculos de esforços, momento de inércia, análise da carga e momento fletor gerado pela carga. É realizado o desenho de todo o equipamento utilizando a ferramenta computacional *SolidWorks*, indicando os componentes projetados e também estudando as simulações de carga estática para análise da estrutura. Neste trabalho foi concluído que há a possibilidade de projetar um equipamento de elevação e transporte de carga que seja acoplável a um trator.

**Palavras-chave:** Empilhadeira; Trator; Dimensionamento.

<sup>1</sup> UFESM – Universidade Federal de Santa Maria

<sup>2</sup> FAHOR – Faculdade Horizontina

<sup>3</sup> FAHOR – Faculdade Horizontina

**Abstract:** The adaptation of mechanical systems at existing equipment are a possibility in engineering and its visa praticity and economy of costs. The goal is to design a device that facilitates lifting and carrying loads in various sectors of industry and especially agriculture. So in this paper is to understand how one can be developed in a coupled tractor forklift. This forklift can withstand 2,000 pounds distributed load on the forks, at a height of up to 3 meters. One advantage of this type of equipment is that it is coupled to a tractor eliminating the need to purchase an automotive truck that has. In the presentation and analysis of results sizing the fork and the tower is done, this topic calculations efforts, moment of inertia, load analysis, bending moment generated by the load are presented. The design is performed on all equipment in the software SolidWorks indicating the projected components and also studied the load simulations static for analysis of the structure. In this work it was concluded that there is the possibility of designing equipment for lifting and transporting cargo that is attachable to a tractor.

**Keywords:** Forklift; Tractor; Sizing.

---

## 1. Introdução

As empilhadeiras surgiram com a necessidade de mobilidade e elevação de cargas, aliada a falta de mão de obra em tempos de guerra. Hoje se tornou um equipamento essencial para este tipo de trabalho, tanto em grandes e pequenas empresas, como em diversos outros segmentos. O conceito admitido para empilhadeiras é que estes são equipamentos utilizados para carregar os mais diferentes tipos de materiais sobre os garfos, que servem de apoio para carga, esta pode ser movimentada na horizontal, através do movimento da máquina, e na vertical através de um sistema hidráulico.

Tratores são usados para muitas tarefas além de arrastar equipamentos. Uma dessas tarefas é a de levantamento de caixas de produtos do campo, para coloca-las em outro espaço ou em um caminhão. Existem equipamentos de elevação adaptados em um trator para esses fins de elevação.

Um dos dispositivos existentes é concha frontal, o motor de trator fornece a energia para acionar o sistema hidráulico. Estes dispositivos podem funcionar bem, mas tem vários inconvenientes. Eles são normalmente montados individualmente, personalizados para cada trator. Eles também são caros e complicados de montar e remover do trator.

A maioria dos tratores vem com o engate de três pontos, empregando um par de braços inferiores e, um braço de estabilização superior. Os braços são articuladamente montados no trator, de modo que podem ser regulados para acoplar diversos tipos de equipamentos.

Assim, uma excelente opção para elevar cargas com tratores é a empilhadeira acoplada no engate de três pontos, que é mais barato, simples de montar e desmontar do trator. Além disso, é importante o desenvolvimento desse projeto em virtude de que uma empilhadeira acoplada a um trator elimina a necessidade de compra de uma empilhadeira automotriz, apenas deve-se acoplar o mecanismo de elevação ao trator. O custo desse mecanismo é inferior ao de toda a empilhadeira automotriz.

Como pré-requisito para o presente trabalho, é necessário que a empilhadeira tenha capacidade para suportar 2.000 quilos de carga distribuída e elevar esta carga até uma altura de três metros. Podendo transportar cargas em *big bags* e *palets*. Neste trabalho fez-se um estudo para verificar qual a maneira mais adequada para efetuar o acoplamento ao trator e foi realizados cálculos, para o dimensionamento dos garfos, estrutura da torre, solda, cabo de aço, polia e pistão. Também foi analisado qual rolamento a ser utilizado, tipo de cabo de aço e tipo de aço utilizado na estrutura.

## 2. Revisão Bibliográfica

### 2.1 Empilhadeiras

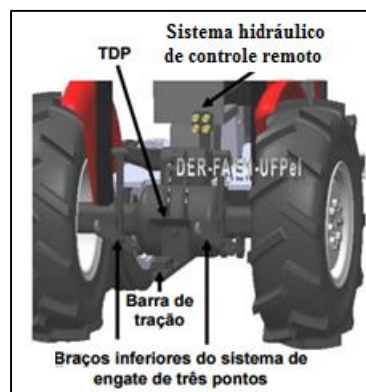
As empilhadeiras são equipamentos utilizados para transportar matérias para a linha de produção, sucatas e produtos finais para as áreas de armazenamento ou para caminhões de transporte, através de garfos que são inseridos embaixo da carga (PANTAZOPOULOS *et al.*, 2014). Estes garfos são chamados de forquilhas.

Existem diversos tipos de empilhadeiras para as diversas finalidades. Os tipos mais comuns são as empilhadeiras elétricas e as empilhadeiras à combustão, onde essas são capazes de transportar cargas pesadas e possuem uma grande variedade de tamanhos. Cada tipo de empilhadeira está relacionada às necessidades do projeto.

Para entender melhor como uma empilhadeira funciona pode-se observar o conjunto de componentes que fazem parte de seu sistema. Os principais componentes do sistema de elevação de uma empilhadeira são: polia; corrente ou cabo de elevação; mastro ou torre de elevação; plataforma de carregamento; sistema hidráulico; garfo ou forquilha. É importante mencionar que neste trabalho serão projetados somente os componentes do sistema de elevação.

### 2.2 Tratores

Pode-se definir trator agrícola como uma máquina dotada de fonte de potência própria e meios de locomoção (rodas/esteiras) utilizada, principalmente, como sistema de tração e transporte de outros equipamentos, no sentido de realizar as diversas operações dentro da propriedade rural (MACHADO *et al.*, 2010). Os meios de aproveitamento da potência nos tratores consistem no sistema hidráulico (SH), barra de tração e tomada de potência (TDP), conforme a Figura 1.



**Figura 1:** Meios de aproveitamento de potência. Fonte: MACHADO *et al.*, 2010

O SH é usado para movimentar verticalmente máquinas e implementos, ativar o levante de 3 pontos, controle de ondulação e comando remoto.

O levante de 3 pontos é usado para o acoplamento de implementos ao trator, é constituído de: 1º ponto (braço esquerdo); 2º ponto (braço direito); 3º ponto (braço superior); braços intermediários (movimentam o 1º e 2º ponto). O levante de três pontos possui as funções de: levantar máquinas e implementos; baixar máquinas e implementos; controle de profundidade de máquinas e implementos (penetração no solo).

Conforme Filho e Santos (2001) a TDP é o órgão responsável pela transformação do movimento do motor para uma árvore de engrenagens, cuja extremidade externa está localizada na parte traseira do trator, local onde são acoplados sistemas mecânicos rotativos.

### 3. Métodos e Técnicas Utilizados

O projeto é iniciado com uma pesquisa bibliográfica, com intuito de aprimorar o conhecimento sobre empilhadeiras e tratores, sendo isso essencial para conseguir projetar uma torre de elevação da empilhadeira que será acoplada em um trator.

Após realizar a pesquisa bibliográfica parte-se para a etapa de desenvolver a apresentação e análise dos resultados. Foram utilizadas diversas equações no decorrer do trabalho para alcançar o objetivo proposto, para o dimensionamento dos garfos, da torre de elevação, cabo de aço e SH.

A primeira a ser utilizada foi a de Momento Fletor Gerado Pela Carga, onde  $F$  é a Carga Aplicada e  $D$  é a distância.

$$Mm = F * D \quad (1)$$

A segunda fórmula a ser utilizada é a do Momento de Inércia, onde:  $Dal$  é Distância da aba até o centro da parede  $L$ ;  $Re$  é o Raio da espessura;  $E$  é a Espessura e  $Li$  é a Largura interna.

$$J = [Dal*(Re)^3/3]+[2*E*(Dal)^3/3]+[Li*(Re)^3/3] \quad (2)$$

O valor encontrado no momento de inércia é necessário para poder calcular Tensão Máxima, onde  $Mm$  é o momento máximo e  $Ym$  é a altura das abas do perfil.

$$\sigma_m = (Mm*Ym)/J \quad (3)$$

Com a Equação 4 é calculado o Momento Fletor Máximo com a carga distribuída, onde  $q$  é a carga distribuída e  $L$  é o comprimento em que a carga está distribuída.

$$Mm = (q*L^2)/2 \quad (4)$$

A Equação 5 define o Coeficiente de Segurança, sendo  $\sigma E$  o limite de elasticidade, limite de escoamento e limite de resistência a tração, e  $\sigma T$  a tensão máxima.

$$S = \sigma E / \sigma T \quad (5)$$

O Esforço Solicitante ( $Sd$ ), é apresentado pela equação 6, onde  $Ft$  é a força de tração:

$$Sd = 1,5 * Ft \quad (6)$$

Para cálculo com metal base usa-se a equação 7. Onde  $Rd$  é a resistência,  $Am$  é a área do metal base e  $fy$  é a resistência do metal.

$$Rd = 0,9 Am(0,6 fy) \quad (7)$$

Para o cálculo com metal da solda usa-se a Equação 8. Onde  $Rd$  é a resistência,  $Am$  é a área do metal base e  $fw$  é a resistência da solda.

$$Rd = 0,75 Aw(0,6 fw) \quad (8)$$

A Carga de Ruptura necessária para dimensionar o cabo de aço pode ser calculada pela equação 9, onde  $P$  é massa da carga e  $Cs$  é o coeficiente de segurança.

$$Crup = P * Cs \quad (9)$$

Através da Equação 10 é possível encontrar a área do pistão  $A$  para elevar a uma determinada carga  $F$ , em uma determinada pressão  $P$ :

$$F = P * A \quad (10)$$

Encontra-se o valor do diâmetro ( $D$ ) do êmbolo do pistão através da Equação 11.

$$A = (\pi * D^2) / 4 \quad (11)$$

Para calcular o comprimento da haste do cilindro é dada a Equação 12. Onde  $Dc$  é distância do cabo e  $Dh$  é a distância percorrida pela haste.

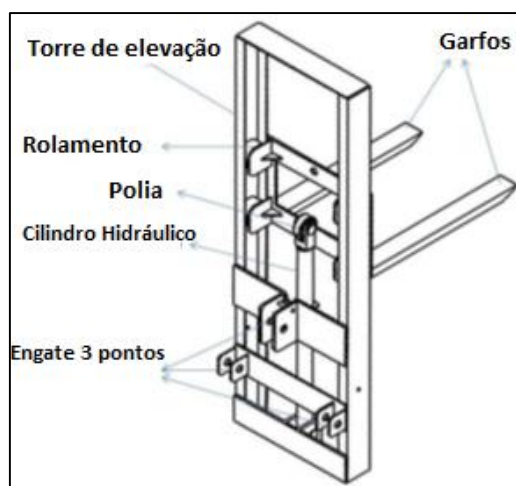
$$Dc/2 = Dh \quad (12)$$

Além de cálculos foram criados desenhos no *software SolidWorks* (versão 2013) e as simulações de carga estática, neste mesmo *software*.

#### 4. Resultados e Discussões

Como empilhadeira é um equipamento de elevação e transporte de cargas, para o desenvolvimento da mesma se torna necessário tomar em consideração alguns fatores decisivos, tais como: avaliar o que se deseja transportar; qual é a carga máxima que o objeto a ser transportado; o tamanho do objeto, ou seja, as dimensões da carga e como ela vai ser apoiada sobre os garfos e a que altura a carga deve ser elevada.

Pode ser observado na Figura 2 a estrutura completa da empilhadeira que é a concepção objetivada. Para isso, se torna necessário a aplicação de diversos cálculos que estão apresentados a seguir, para realizar o dimensionamento dos garfos, da torre, dos rolamentos, da polia, do cilindro hidráulico e o cabo de aço que será utilizado para suspender os garfos.



**Figura 2:** Desenho do equipamento completo

#### 4.1 Acoplamento do Equipamento no Trator

O primeiro passo para garantir o funcionamento do equipamento é definir qual a melhor maneira para a empilhadeira ser acoplada ao trator, neste momento deve ser levado em consideração que o equipamento não ficará permanente no trator. Para facilitar o acoplamento e desacoplamento do equipamento ao trator serão utilizados os braços do levante hidráulico do trator, e no equipamento terá três pontos de engate.

#### 4.2 Dimensionamento dos Garfos e da Torre

O aço a ser escolhido para a fabricação dos componentes da empilhadeira é o ASTM A36 (ASTM, 2014), pela disponibilidade desse material no perfil desejado (viga C) no mercado. É um aço com médio teor de carbono e de boa soldabilidade, não necessita pré-aquecimento. Possui valores limites de resistência a tração, limite de escoamento e elasticidade adequados para suportar os esforços submetidos, estes valores são encontrados no Quadro 1.

Quadro 1- Propriedades ASTM-A36 (ASTM, 2014)

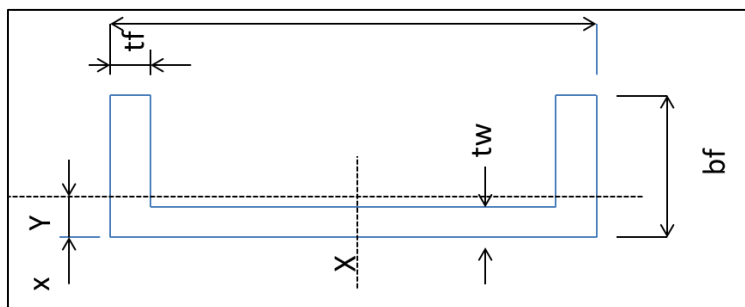
Material	Limite de resistência a tração	Tensão de escoamento	Módulo de elasticidade
ASTM-A36	400 Mpa	250 Mpa	200 Gpa

Fonte: Adaptado de Beer *et al*, 2015

Para o aço ASTM A36, utilizam-se eletrodos E60 e E70, do tipo comum ou baixo hidrogênio. Estes tipos de eletrodos possuem valores elevados de resistência a ruptura. O

eletrodo E60 que será utilizado possui uma resistência a ruptura de 415 Mpa, segundo PFEIL (1995).

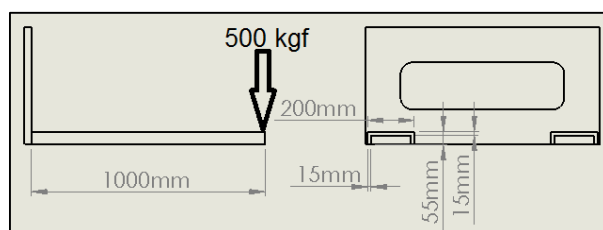
O perfil da estrutura (viga C) Figura 3, é escolhido devido a este ser um perfil resistente e adequado para exercer as funções dos garfos que servem de base da carga, e torre da empilhadeira que serve como meio de sustentação e trilho para o movimento de elevação e movimento de descida dos garfos.



**Figura 3:** Viga C.

#### 4.2.1 Momento Fletor Gerado Pela Carga

Será considerado inicialmente que a carga máxima está localizada na ponta do garfo e poderá ser usado somente um dos garfos para suportar toda carga (Figura 4). Uma das extremidades pode deformar-se livremente e a outra esta rigidamente fixa, de forma que não se mova. Com estas informações define-se o cálculo do momento fletor (Equação 1) para esta situação.



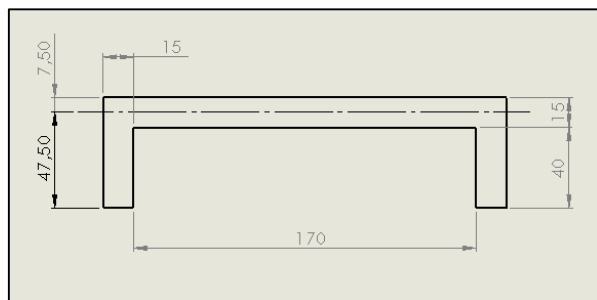
**Figura 4:** Desenho da estrutura dos garfos.

Para um valor de carga aplicada  $F$  igual a 500 kgf e um valor de distância  $D$  de 100 cm, obtém-se um momento máximo de 50000 kgf.cm. Este momento máximo é encontrado em uma situação de máxima força de reação para esta carga. Ao mudar a carga da extremidade para o centro do garfo, a distância diminui e o momento fletor diminui conforme a carga vai se aproximando da parte fixa do garfo.



## 4.2.2 Tensão Máxima

Para calcular a tensão máxima necessita-se primeiro calcular o momento de inércia na viga. Na Figura 5 encontra-se as medidas do perfil C para calcular o momento de inércia.



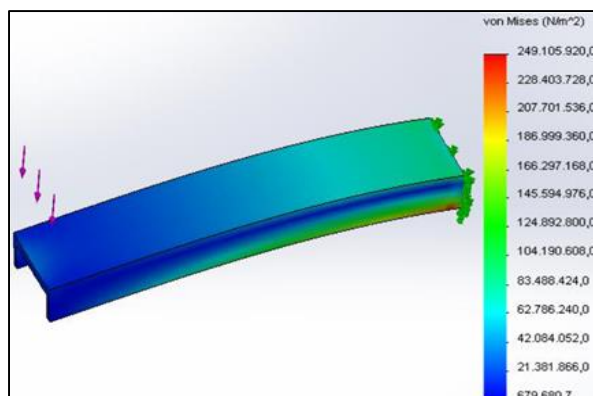
**Figura 5:** Medidas do perfil dos garfos em mm

Então se aplica as medidas do perfil C na Equação 2 do momento de inércia para este perfil. Para um perfil C, cujas dimensões são: altura das abas de 5,5 cm, espessura 1,5 cm e largura de 20,0 cm obtém-se um momento de inércia de  $110,2 \text{ cm}^4$ .

Com o momento de inércia do perfil C, onde se obtém as medidas de espessura, comprimento das abas, e largura do material, e com o momento fletor, é possível encontrar tensão máxima de ruptura, que pode ser comparado com o limite de escoamento, limite de elasticidade e limite de resistência a tração do aço ASTM A36, que pode ser visto no Quadro 1.

Através da Equação 3 encontra-se a tensão máxima. Para um momento máximo de  $50000 \text{ kgf.cm}$ , e altura de 5,5 cm e o momento de inércia de  $110,2 \text{ cm}^4$ , obtém-se uma tensão máxima de  $2495,46 \text{ kgf/cm}^2$  ou  $244,72 \text{ MPa}$ . O limite de escoamento do aço ASTM A36 é de  $250 \text{ MPa}$ , a tensão máxima não ultrapassa este limite, logo a viga irá suportar a carga, dentro do limite de escoamento do material, e o limite de elasticidade já é bem superior de  $200 \text{ Gpa}$  e o limite de ruptura  $400 \text{ Mpa}$ .

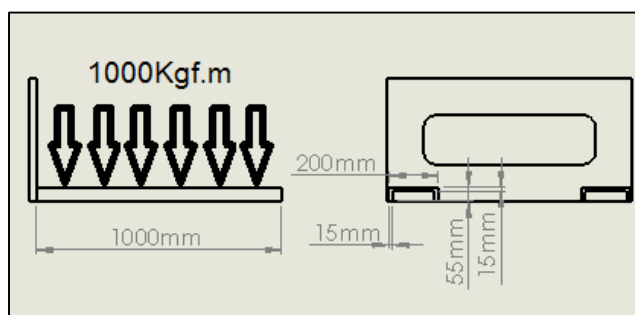
Na Figura 6 foi realizada uma simulação em *software*, onde é informado o valor, o local da carga aplicada, o ponto de fixação na viga e o material utilizado. Então foi informado no *software* que, a carga é aplicada em uma das extremidades, e a viga está fixa na outra extremidade, e também foi usado como material o aço ASTM A36. Esta viga tem as mesmas medidas, usadas na Equação 3, comprimento de 100 cm, altura das abas de 55 mm, espessura 15 mm e largura de 200mm.



**Figura 6:** Simulação de esforços com carga de 500 kgf na extremidade.

Conforme a simulação, na escala onde informa os valores das tensões de acordo com a cor representada na Figura 6, o valor de tensão máxima é 249.1 MPa está muito próximo do valor encontrado através de cálculos. Desta forma pode ser observado que a tensão máxima está próxima do ponto de fixação do garfo devido ao esforço de alavanca submetido na estrutura.

A seguir, será considerada a mesma viga com as mesmas medidas, porém a carga será distribuída (Figura 7), sendo neste caso é possível dobrar o peso para 1000 Kgf em um garfo.



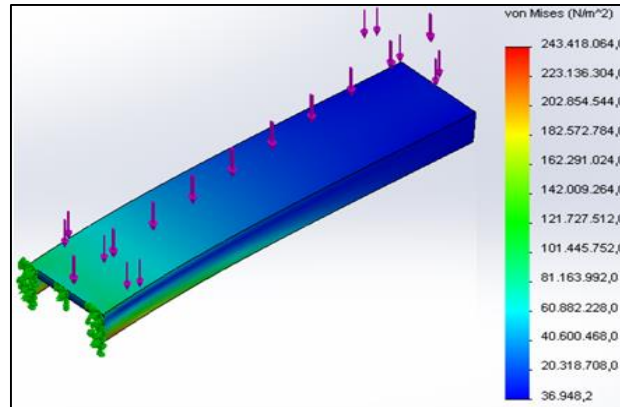
**Figura 7:** Desenho da carga distribuída.

Com base nestas considerações define-se o cálculo do momento fletor para esta situação. Com a Equação 4 é calculado momento máximo para este tipo de carga. Para uma carga distribuída de 10 kgf.cm e em um comprimento de 100 cm obtendo-se um momento máximo de 50000 kgf.cm.

O cálculo para encontrar a tensão máxima e o momento de inércia continua o mesmo, já que, é utilizada a mesma viga de referência. Com um momento máximo de 50000 kgf.cm, um altura  $Y_m$  igual a 5,5cm e o momento de inércia de 110,2 cm<sup>4</sup>, obtém-se uma tensão máxima de 2495,46 kgf/cm<sup>2</sup> ou 244,72 MPa. Obtém-se a mesma tensão dobrando o valor da carga, porém com a carga distribuída.

Realizou-se uma simulação em *software*, como mostra a Figura 8, onde que, neste *software* é informado o valor e local da carga aplicada, o ponto de fixação da viga e o tipo de

aço utilizado. A carga aplicada está uniformemente distribuída, 1000 kgf.m, e a viga está fixa em uma extremidade, foi usado o aço ASTM A36, considerando a mesma viga mesmas medidas, comprimento de 100 cm, dimensões altura das abas de 55 mm, espessura 15 mm e largura de 200 mm.

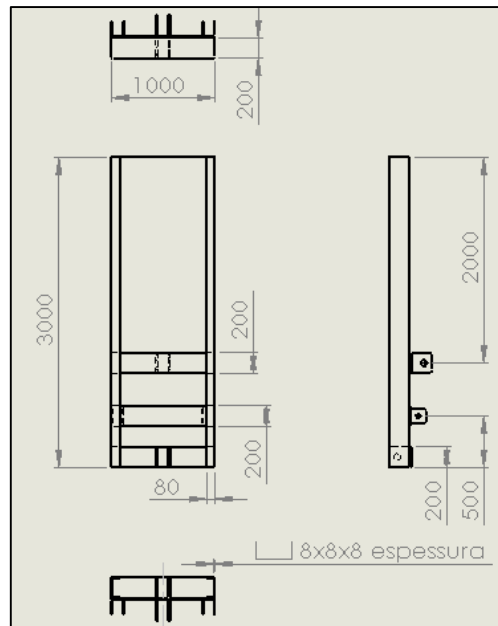


**Figura 8:** Simulação de esforços com carga de 1000 kgf distribuída.

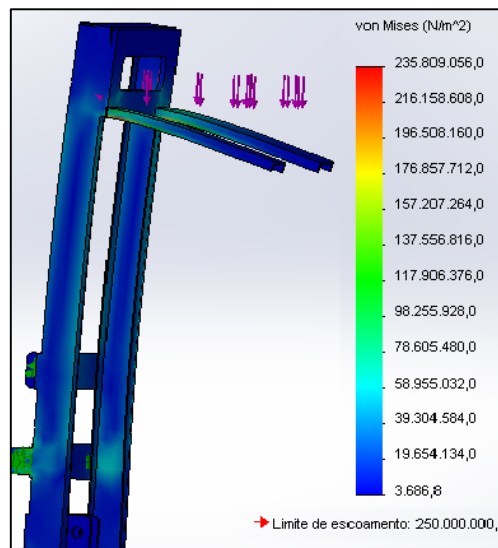
Conforme a simulação no *software* o valor de tensão máxima é 243.41 MPa está muito próximo do encontrado através de cálculos. Pode ser observado que o ponto de maior tensão está próximo do ponto de fixação do garfo devido ao esforço de alavanca submetido na estrutura.

Então através desses resultados é possível mostrar, se a carga for distribuída entre os dois garfos pode ser elevada uma carga de 2000 Kgf.m. Para o dimensionamento da torre foi realizado apenas simulação em *software*, sendo definida as medidas das peças que compõe a torre (Figura 9) e o ponto de fixação, engate de 3 pontas, carga aplicada e material de aço utilizado das peças.

Na simulação de *software* (Figura 10) a carga é de 2.000 kgf.m distribuída nos dois garfos, sendo os garfos fixos no ponto mais alto da torre, e a torre fixa nos 3 pontos como se estivesse acoplada ao trator.



**Figura 9:** Dimensões da torre em mm



**Figura 10:** Simulação de esforços com carga de 2000 kgf.m distribuída

O valor máximo de tensão para a carga de 2000 kgf.m distribuída entre os dois garfos é de 235 Mpa e o limite de escoamento do material é de 250 MPa, então a carga é suportada sem que ultrapasse o limite de escoamento do material. Logo o dimensionamento da torre é ideal para este tipo de carga.

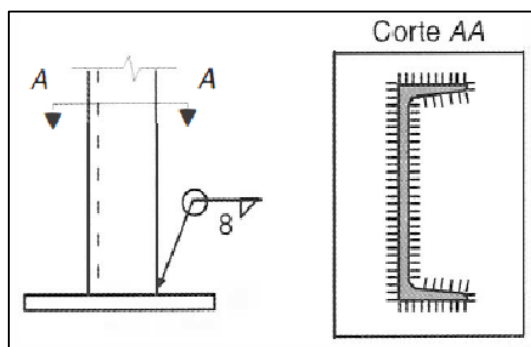
### 4.2.3 Coeficiente de Segurança

O coeficiente de segurança serve para determinar quantas vezes um tipo de material com determinadas dimensões pode suportar o peso da carga. Com a Equação 5 é definido o coeficiente de segurança.

O material dos garfos e torre suporta o valor da carga, conforme os valores de limites do aço ASTM A36 encontrados Quadro 1, o limite de escoamento é de 250 MPa, e a tensão máxima da carga é de 249 MPa, obtém-se um coeficiente de segurança de 1,0036. E para um limite de ruptura de 400 MPa, e a tensão máxima da carga é de 249 MPa, obtém-se um coeficiente S igual a 1,606. Para um limite de elasticidade de 200 GPa, encontra-se um coeficiente S igual a 803,21. O dimensionamento satisfaz a condição ( $\partial E > \partial T$ ).

### 4.3 Dimensionamento da Solda

O garfo perfil C será soldado a uma placa de aço de 20 mm de espessura, sujeita a tração de 20 kN, solda de filete, dimensões da solda 8 mm de largura do filete. Também utilizando-se eletrodo E60, onde Fw é de 415 Mpa e aço ASTM A 36 com Fy de 250 MPa. Para um perfil C de dimensões altura das abas de 55 mm, espessura 15 mm e largura de 200 mm. A figura 11 apresenta o desenho da solda na viga.



**Figura 11:** Desenho da solda na viga. Fonte: PFEIL, 1995

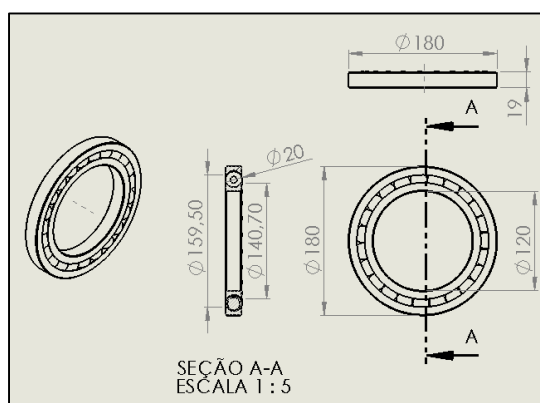
O esforço solicitante de cálculo, admitindo carga variável de utilização pode ser calculado pela Equação 6. Com uma força de tração de 20 kN obtém-se um esforço solicitante de 30 kN. Dimensionamento com solda de filete com lado da solda de 8 mm.

Para cálculo com metal base usa-se a equação 7. Em uma área de 4 lados x 5,5 mm x 0,8 mm e uma resistência do metal de 250 N/mm<sup>2</sup>, obtém-se uma resistência de ruptura de 237,6 kN. A Equação 8 é utilizada para o cálculo com metal da solda. Área de 4 lados x 5,5 mm x 0,8

mm e uma resistência da solda de  $415 \text{ N/mm}^2$  obtém-se uma resistência de ruptura de 328,68 kN. O dimensionamento satisfaz com folga a condição ( $R_d > S_d$ ).

#### 4.4 Dimensionamento do Sistema de Rolamento

Os rolamentos são dispositivos utilizados para auxiliar o movimento rotativo de eixos, possuem diversos tipos de rolamentos e para variadas aplicações, tais como: de esfera, roletes (rolos) e de agulha. Ao analisar os rolamentos verifica-se que os rolamentos de esferas possuem uma resistência ao atrito menor do que os rolamentos de rolos e uma menor variação de rotação. Os rolamentos de rolo tem capacidade de carga maior, o que seria de melhor escolha para aplicação cargas elevadas, porém optou-se pelo rolamento de esferas, já que, possui menor resistência ao atrito, como ele deve se adequar ao tamanho da torre será um rolamento de tamanho grande e também será dividido em quatro pontos de apoio, então terá a resistência suficiente para suportar a carga, sendo assim não há necessidade de rolamentos de rolos. A figura 12 apresenta o sistema de rolamento com as dimensões.



**Figura 12:** Sistema de rolamento com as dimensões em mm

O sistema de rolamento foi dimensionado com base na largura da torre vertical, ou seja, a torre possui uma largura de 200 mm externamente e 184 mm internamente, então o diâmetro desse objeto de rolamento deve ser a essas dimensões, para poder deslizar com facilidade dentro da viga da torre. Neste caso o diâmetro escolhido foi de 180 mm de diâmetro externo, e 19 mm de largura. Para dimensionar o rolamento é desconsiderado o esforço axial, pois neste caso, o esforço submetido no rolamento é radial que será dividido em 4 pontos, consistindo em 4 rolamentos em cada ponto.

Segundo Medias (2015), o rolamento de esferas 16024, resiste a uma carga dinâmica, radial de 65000 N, ou seja, 6500 kgf, a capacidade de carga estática radial 6400 kgf e o limite de

fadiga radial é de 300 kgf, multiplicando por 8 rolamentos, 2 em cada lado, em 4 lados, verifica-se um limite de fadiga radial de 2400 kgf.

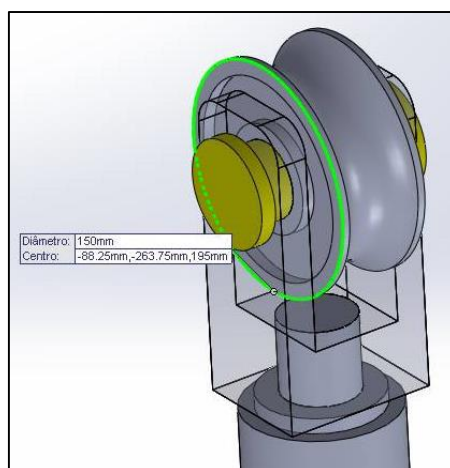
#### 4.5 Dimensionamento do Cabo de Aço e da Polia

Em empilhadeiras podem ser utilizados cabos de aço do tipo Warrington-Seale, que é uma aglutinação do tipo Warrington (composição onde existe pelo menos uma camada constituída de arames de dois diâmetros diferentes e alternados) e do tipo Seale (onde as camadas são organizadas em fios grossos e finos. Na composição "Seale" existem pelo menos duas camadas adjacentes com o mesmo número de arames). O cabo Warrington-Seale possui as principais características de cada composição, proporcionando ao cabo alta resistência à abrasão conjugado com alta resistência à fadiga de flexão (PINHEIRO, 2015).

O coeficiente de segurança, para cabos de empilhadeiras é de 6 a 8 (neste caso foi utilizado 7). Aplicando a equação 9, com uma elevação de carga de 1000 kg, a carga mínima de ruptura é de 7000 kgf. Para uma carga de ruptura de 7000 kgf, não existe um valor direto na tabela, neste caso deve-se utilizar o valor de 7383 kgf, porque é o mais próximo e acima de 7000 kgf. O diâmetro do cabo resulta em 7/16" ou 11,11 mm.

Como este cabo está calculado para 1000 kgf, para 2000 kgf utiliza-se dois cabos, ou no caso de um cabo a carga de ruptura para este é de 14000 kgf. Então será utilizado um cabo de 5/8" ou 15,875 mm.

O comprimento do cabo será de 2,5 metros, ao qual essa é a medida do ponto de fixação da torre que fica próximo do terceiro ponto e o ponto de fixação nos garfos parte superior central. A polia é baseada no diâmetro do cabo, ou seja, dez a quinze vezes esse valor, então terá aproximadamente 150 mm de diâmetro, Figura 13.



**Figura 13:** Desenho da polia em 3D

#### 4.6 Cilindro Hidráulico

O cilindro hidráulico é um componente muito importante, pois é o responsável pelo movimento da carga através do sistema hidráulico do trator. Inicia-se com um cálculo para dimensionar o pistão ou cilindro hidráulico, onde  $F$  é peso que será suportado pelo cilindro, que é a carga máxima a ser elevada de 2000 kgf e  $P$  é a pressão do óleo hidráulico na saída do trator, que será acoplado ao cilindro hidráulico, a pressão do trator é de 180 kgf/cm<sup>2</sup>. Utilizando a Equação 10 é possível encontrar uma área de 11,11cm<sup>2</sup>.

Então encontra-se o valor do diâmetro do êmbolo do pistão ( $D$ ), através da Equação 11. Para elevar a carga o diâmetro da haste ou do êmbolo do pistão deve ter no mínimo 38 mm, é o diâmetro necessário para pressão do sistema hidráulico do trator suspender a carga.

O curso da haste deverá ter a metade da distância percorrida pelo cabo. Pois a distância percorrida pela haste é igual a metade da altura ao qual a carga é elevada. O cabo é fixo em uma ponta e a outra eleva a carga pelo movimento da haste do cilindro. Para calcular o comprimento da haste do cilindro é utilizada a Equação 12. Como o cabo é preso a 0,5 metros acima da base da torre, a distância do cabo é de 2,5 metros logo o comprimento da haste é de 1,25 metros.

#### 5. Conclusões

Neste trabalho verificou-se que há a possibilidade de se projetar um equipamento de elevação e transporte de carga, que seja acoplável a um trator, eliminando a necessidade de uma máquina empilhadeira para estes serviços, este tipo de equipamento se torna mais viável para quem já possui um trator que pode ser também usado em outras operações. Além de ser mais barata, simples de montar e desmontar do trator que outros equipamentos acoplados a tratores, para elevação de carga. Através das informações encontradas nos resultados é possível utilizar diferentes quantidades de cargas sobre os garfos, sem que atinja o limite de escoamento, de ruptura e limite elástico do aço ASTM A36, porém deve ser levada em conta a forma como a carga fica distribuída. Também pode ser observado que, se usar dois cabos de aço para o sistema de levantamento da carga, o diâmetro do cabo pode ser reduzido, podendo assim, elevar a carga da mesma forma, sem que o mesmo venha se romper. Então pode-se dizer, que o dimensionamento chegou a um resultado esperado, cujo objetivo é de erguer a carga e ao mesmo tempo, todas as peças e partes do equipamento suportar a carga com tolerâncias acima do que a carga aplicada faz o equipamento ser submetido.



## 6. Referências

- ASTM A36/A36M-14, Standard Specification for Carbon Structural Steel, ASTM International, West Conshohocken, PA, 2014.
- BEER, F. P., JOHNSTON, E. R. J., DEWOLF, J. T., MAZUREK, D. F. Mecânica dos Materiais: 7 edição. AMGH: editora Ltda. Porto Alegre, 2015.
- FERNANDES, H. C., VILIOTTI, C. A., RINALDI, P. C. N., BERNARDES, A. M.. Mecânica e Mecanização Agrícola. Apostila de Aulas Práticas. Universidade Federal de Viçosa, Centro de Ciências Agrárias, Departamento de Engenharia Agrícola. 2013.
- FILHO, A. G. dos S.; SANTOS, J. E. G. G. dos. Apostila de Máquinas Agrícolas. Bauru, 2001, UNESP.
- MACHADO, A. L. T.; REIS, A. V. dos; MACHADO, R. L. T. Tratores para agricultura familiar: guia de referência. Pelotas, 2010, Editora e Gráfica Universitária Pelotas.
- MEDIAS. Rolamentos, mancais de deslizamento, acessórios. Disponível em: <<http://medias.schaeffler.com/medias/pt!hp/>> Acesso em: 15 nov. 2015
- PANTAZOPOULOS, G.; VAZDIRVANIDIS, A.; RIKOS, A.; TOULFATZIS, A.V. Analysis of abnormal fatigue failure of forklift forks. Case Studies in Engineering Failure Analysis, v. 2, n. 1, p. 9-14, 2014.
- PFEIL, W; PFEIL, M. Estruturas de Aço. 6. ed. Rio de Janeiro: S. A. Travessa do Ouvidor, 1995.
- PINHEIRO, J. C. C. Projeto e desenvolvimento de uma linha de pontes rolantes padronizadas para uma empresa metal mecânica. 2015.