

**UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ
COEME – COORDENAÇÃO DE ENGENHARIA MECÂNICA
CURSO DE ENGENHARIA MECÂNICA**

PEDRO HENRIQUE PAVEZI TESTON

ESTUDO DE FALHAS EM TORRE DE TRANSBORDO CANAVIEIRO

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

GUARAPUAVA

2017

PEDRO HENRIQUE PAVEZI TESTON

ESTUDO DE FALHAS EM TORRE DE TRANSBORDO CANAVIEIRO

Trabalho de Conclusão de Curso de graduação, apresentado á disciplina de TCC2, do curso superior de Engenharia Mecânica da coordenação de Engenharia Mecânica – COEME da Universidade Tecnológica Federal do Paraná – UTFPR, como requisito parcial para obtenção do título de Bacharel.

Orientador: Prof. Dra. Denise Alves Ramalho

GUARAPUAVA

2017



Ministério da Educação
Universidade Tecnológica Federal do Paraná
Campus Ponta Grossa

Nome da Diretoria
Nome da Coordenação
Nome do Curso



TERMO DE APROVAÇÃO

ESTUDO DE FALHAS EM TORRE DE TRANSBORDO CANAVIEIRO

por

PEDRO HENRIQUE PAVEZI TESTON

Este Trabalho de Conclusão de Curso foi apresentado (a) em 23 de junho de 2017 como requisito parcial para a obtenção do título de Bacharel em Engenharia Mecânica. O candidato foi arguido pela Banca Examinadora composta pelos professores abaixo assinados. Após deliberação, a Banca Examinadora considerou o trabalho aprovado.

Dra. Denise Alves Ramalho
Professora Orientadora

Dr. Sergio Dalmás
Membro titular

Dra. Carla Dantas
Membro titular

- O Termo de Aprovação assinado encontra-se na Coordenação do Curso -

Dedico este trabalho primeiramente a
minha família, por todo apoio que me
deram e a Deus pela oportunidade de
estar aqui realizando este sonho.

.

AGRADECIMENTOS

Agradeço à minha família por toda ajuda e apoio que me deram nesta fase da minha vida.

Agradeço à minha orientadora Prof. Dra. Denise Alves Ramalho, pelo conhecimento que me passou e me norteou neste trabalho.

Aos meus colegas de sala.

Agradeço aos meus amigos pelo apoio prestado nestes momentos importantes.

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

RESUMO

TESTON, Pedro H. P. **Estudo de falhas em torre de transbordo canavieiro**. 2017. 38 f. Trabalho de Conclusão de Curso Bacharelado em Engenharia Mecânica. Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Guarapuava; 2017.

Neste trabalho de conclusão de curso será estudado um transbordo canavieiro. Este equipamento é utilizado na lavoura de cana de açúcar para o transporte da cana colhida pela colhedora de cana até o basculamento em uma Julieta puxada por um caminhão. O foco de estudo foi a torre do equipamento, onde se concentram os esforços no momento mais crítico, no levantamento da carga de 10,5 toneladas até a borda do caminhão e o tombamento da carga para o preenchimento do mesmo, assim será feito um projeto e uma simulação para compreensão do problema, abordando os tipos de falhas propensos a ocorrer na estrutura. Após o estudo das falhas, faz-se uma otimização estrutural dos componentes mais solicitados caso necessário, visando a redução de material e diminuição de falhas, buscando uma redução de custo final e redução de uso de matéria prima utilizando do conhecimento de análise estática, ao final chegamos a um coeficiente de segurança satisfatório.

Palavras-chave: Transbordo. Falha. Torre. Otimização.

ABSTRACT

TESTON, Pedro H. P. **Failure study in sugarcane wagon tower**. 2017. 38 p. Trabalho de Conclusão de Curso | Bacharelado em Engenharia Mecânica - Federal Technology University - Paraná. Guarapuava, 2017.

In this course concluding paper we will study a sugarcane wagon. This equipment is used in the sugar cane crop to transport the harvested cane by the cane harvester to get in the border of another wagon pulled by a truck. The focus of study will be the Tower of the equipment, which concentrate the forces on the most critical moment, the lifting load of 10.5 tons to the edge of the truck and the load tipping for filling the same, addressing the types of failures likely to occur in the structure after the study of failures a structural optimization of the most requested components is done if necessary, aiming at a reduction of material and reduction of failures, seeking a reduction of final cost and reduction of raw material use, At the end we reach a satisfactory coefficient of security

Keywords: Wagon. Failure. Tower. Optimization.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

| | |
|---|----|
| Figura 1 - Transbordo MCT 10500 fabricado pela empresa Metalcana. | 11 |
| Figura 2 - Montagem da torre de transbordo..... | 13 |
| Figura 3 - Projeto da torre do transbordo. | 14 |
| Figura 4 - Falha por fadiga em parafuso devido a flexão unidirecional repetida. | 18 |
| Figura 5 - Chapa de desgaste com deformação superficial. | 20 |
| Figura 6 - Foto real do transbordo MCT 10500 e posicionamento das forças distribuídas. | 23 |
| Figura 7 - Modelagem da torre de transbordo. | 25 |
| Figura 8 - Propriedades do material utilizado na torre de transbordo..... | 26 |
| Figura 9 - Comprimento total do conjunto da torre de transbordo. | 27 |
| Figura 10 – Angulação da torre em relação ao chassi. | 28 |
| Figura 11 – Posicionamento da força aplicada no pino. | 29 |
| Figura 12 – Pontos de fixação da torre de transbordo. | 30 |
| Figura 13 – Análise da tensão de Von Mises. | 32 |
| Figura 14 – Análise de deslocamento. | 33 |

LISTA DE TABELAS

| | |
|--|----|
| Tabela 1 - Componentes do Aço 1010/20 A36..... | 12 |
| Tabela 2 - Componentes do Aço SAC 350 | 12 |
| Tabela 3 - Forças Resultantes. | 31 |
| Tabela 4 - Informações da malha..... | 31 |

SUMÁRIO

| | |
|---|-----------|
| 1 INTRODUÇÃO | 10 |
| 1.1 OBJETIVO GERAL | 14 |
| 1.2 OBJETIVO ESPECÍFICO..... | 15 |
| 1.3 MOTIVAÇÃO | 15 |
| 1.4 DELIMITAÇÃO DO PROBLEMA | 15 |
| 2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA | 16 |
| 2.1 TEORIA DAS FALHAS ESTÁTICAS..... | 16 |
| 2.2 TEORIA DE FALHA POR FADIGA..... | 17 |
| 2.3 TEORIA DE FALHA SUPERFICIAL..... | 19 |
| 2.4 ANÁLISE DAS FORÇAS ATUANTES..... | 20 |
| 2.5 COEFICIENTE DE SEGURANÇA | 21 |
| 2.6 CONCENTRAÇÃO DE TENSÃO..... | 21 |
| 3 METODOLOGIA..... | 22 |
| 4 PROCEDIMENTO DE CÁLCULO | 23 |
| 4.1 MODELAMENTO EM SOFTWARE | 26 |
| 5 RESULTADOS | 31 |
| 6 CONCLUSÃO..... | 34 |
| 7 SUGESTÃO PARA TRABALHOS FUTUROS..... | 35 |
| 8 REFERÊNCIAS | 36 |

1 INTRODUÇÃO

O setor sucroenergético no Brasil vem crescendo desde seu início, com o crescimento da demanda de cana dentro da indústria. Por isso, houve uma necessidade de criação de equipamentos que comportassem tal produção. Neste momento, a empresa Teston Mecanização Agrícola criou um novo ramo em seu setor que, primeiramente, era apenas como colhedores de cana mecanizada, fundando a empresa Metalcana, que entrou no segmento de fabricação de transbordos canavieiros.

O transbordo canavieiro consiste em uma caixa basculante acionada por quatro pistões hidráulicos. Este equipamento é rebocado por um trator, a colhedora de cana o enche até completar sua carga e, então, o transbordo segue viagem até o ponto de transbordamento, onde ele bascula para dentro de um vagão de caminhão canavieiro, primeiramente acionando os dois pistões que o elevam verticalmente até a altura da borda do caminhão e, logo após isto, ocorre o acionamento dos outros dois pistões que tombam a caixa até retirar totalmente a carga do transbordo conforme a Figura 1.



**Figura 1 - Transbordo MCT 10500 fabricado pela empresa Metalcana.
Fonte: cedida pela empresa Metalcana.**

Os tipos de falhas que serão abordadas são: falhas estáticas, falhas por fadiga e falhas superficiais. Estas estão diretamente ligadas à operação do transbordo em terrenos irregulares. Atrelando isto à grande carga que o mesmo carrega, temos um cenário propenso a estes principais tipos de falhas, que englobam as trincas, desgastes e rupturas de material.

Segundo a empresa Metalcana, a estrutura principal da torre é constituída pelo aço SAE 1010/20 A36. Este aço possui uma baixa resistência mecânica e usinabilidade, mas é um ótimo aço em relação à soldagem, além de ter um baixo custo quando comparado com outros aços. Em seu processo de fabricação não são controlados o tamanho de grão austenítico, os níveis de gases dissolvidos e o grau de pureza. Sua composição é de baixo teor de carbono, sendo que 99% de sua composição é de ferro conforme a Tabela 1 a baixo.

Tabela 1 - Componentes do Aço 1010/20 A36

| COMPONENTE | PORCENTAGEM |
|------------|--------------|
| CARBONO | 0,26% |
| MANGANES | 0,75% |
| ENXOFRE | Máximo 0,05% |
| FOSFORO | Máximo 0,04% |
| COBRE | 0,2% |

Fonte: cedida pela empresa Metalcana.

Dentro da torre há uma chapa de desgaste para que o atrito gerado quando a torre é levantada não provoque um desgaste prematuro na estrutura da mesma. Esta chapa é fabricada a partir do aço SAC 350, que é um aço com boas resistência mecânica, resistência a corrosão conforme a Tabela 2 a baixo.

Tabela 2 - Componentes do Aço SAC 350

| COMPONENTE | PORCENTAGEM |
|------------|---------------|
| CARBONO | Máximo 0,18% |
| MANGANES | Máximo 1,4% |
| SILICIO | 0,15% - 0,55% |
| COBRE | 0,25% - 0,5% |
| CROMO | 0,40% - 0,65% |
| TITANIO | Mínimo 0,15% |

Fonte: cedida pela empresa Metalcana.

O componente do transbordo que será foco deste estudo é a torre. Este componente serve de guia e suporte da caixa para quando a carga é levantada, sendo composto basicamente por dois componentes distintos, um é chamado de cartola, que é a estrutura que fica fixa ao chassi, que é uma chapa dobrada de 3/8" que forma um berço para o pistão, que é a parte que se projeta para cima carregando a carga. Este, por sua vez, é uma viga U de 1/2" com uma chapa também de 1/2" soldada em sua parte

aberta. Estes dois componentes serão os mais esforçados quando a carga for aplicada. Também na cartola temos dois tipos de reforços chamados de iok, um mais largo e um menos, ambos de $\frac{1}{2}$ " com rasgos para a passagem de mangueiras lubrificantes, assim temos também entre a cartola e o pistão uma chapa de desgaste de $\frac{1}{4}$ " para não haver desgaste precoce da cartola e do pistão, por fim este conjunto fica fixado no chassi formando um ângulo de 109° .



Figura 2 - Montagem da torre de transbordo.
Fonte: autoria própria.

Conforme a Figura 2 temos o equipamento estudado, Transbordo Canavieiro MCT 10500, fabricado pela empresa Metalcana, situada na cidade de Cianorte-PR. A empresa foi criada em 2010 para melhor atender a muitas dificuldades observadas no

setor de transporte canavieiro entre colhedora e caminhão, a baixo temos a Figura 3 do projeto da torre.



**Figura 3 - Projeto da torre do transbordo.
Fonte: cedida pela empresa Metalcana.**

1.1 OBJETIVO GERAL

O objetivo geral deste trabalho é a compreensão e estudo das forças atuantes em uma torre de transbordo canavieiro bem como suas consequências.

1.2 OBJETIVO ESPECÍFICO

Como objetivo específico, esse trabalho analisará as falhas reportadas pela empresa, que são comuns no chassi desse transbordo, levando em conta a carga e o tipo de trabalho desse implemento, visando reduzir as mesmas.

1.3 MOTIVAÇÃO

O transbordo canavieiro é amplamente utilizado durante o processo de colheita da cana pelos produtores do setor sucroenergético. Observa-se um grande número de falhas em determinados componentes do transbordo. Essas falhas geram um aumento do custo final no processo de colheita, tanto pelo atraso do processo, como pelo custo de manutenção do equipamento, aumentando o custo final de produção e, conseqüentemente, do produto final. Além disso, como o projeto não é otimizado, ocorre o superdimensionamento de alguns componentes, desperdiçando material e, mais uma vez, aumentando o custo do transbordo. Assim, este estudo, justifica-se pela grande necessidade da diminuição do uso de matéria prima do planeta, sendo ecologicamente mais adequado e, conseqüentemente atendendo novas exigências no que se refere à sustentabilidade. Visando também à economia de energia no processo de produção e redução do custo final de produção.

1.4 DELIMITAÇÃO DO PROBLEMA

Este trabalho compreende um estudo das forças que atuam em uma torre de transbordo canavieiro quando em uso com carga máxima, buscando analisar suas conseqüências estruturais e propensões a falhas. Após este estudo utilizaremos de cálculos para realizar a otimização estrutural.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

As falhas mecânicas estão presentes no meio da engenharia desde o início dos tempos, sendo sempre uma grande preocupação em projetos mecânicos, demandando tempo e investimentos para sua solução.

A partir da produção em massa de equipamentos mecânicos, houve necessidade de se estudar suas falhas com maior rigorosidade para garantir um equipamento confiável e seguro.

O redimensionamento de estruturas, por base de cálculos precisos, se fez necessário com a diminuição e encarecimento da matéria prima. Isto levou a um processo de pesquisa para garantir o mesmo processo em máquinas mecânicas com menos material utilizado em sua produção, sendo um meio de economizar recursos naturais e financeiros.

2.1 TEORIA DAS FALHAS ESTÁTICAS

Uma peça pode falhar se suas deformações e distorções forem grandes o suficiente para que ela não funcione adequadamente (Norton, 2013).

Norton (2013) ainda relata que temos como principais teorias as teorias de Energia de Distorção (Von Mises-Henky) e a teoria da tensão máxima de cisalhamento.

O critério de tensão de Von Mises baseia-se na teoria de Mises-Hencky, também conhecida como a teoria de energia máxima distorção. A teoria diz que um material dúctil começa a falhar em um local em que o equivalente à tensão Von Mises atinge o limite de elasticidade do material. (Sternick et al, 2012).

Segundo Norton (2013), a teoria de Von Mises-Henky é um deslizamento de átomos entre si, este deve-se à tensão de cisalhamento e acompanhado pela distorção da peça, tendo como indicador da magnitude da tensão a energia acumulada na peça segundo a equação (1), onde σ' é a tensão equivalente de Von Mises-Henky, σ_x é a tensão principal no eixo X, σ_y é a tensão principal no eixo Y e τ_{xy} é a tensão de cisalhamento aplicada na direção XY.

$$\sigma' = \sqrt{\sigma_x^2 + \sigma_y^2 - \sigma_x * \sigma_y + 3 * \tau_{xy}^2} \quad (1)$$

A teoria da tensão máxima de cisalhamento foi primeiramente proposta por Coulomb (1736-1806) e, após isto, ela foi descrita por Tresca em uma publicação em 1864. Mas só foi confirmada na virada do século 20, por J. Guest, que realizou experimentos na Inglaterra. Esta teoria ficou conhecida como Tresca-Guest. (Norton, 2013).

A teoria da tensão máxima de cisalhamento afirma que a falha irá ocorrer quando a tensão máxima de cisalhamento em uma região exceder a tensão máxima de cisalhamento de um corpo de prova sob tração em escoamento, ou seja metade da tensão normal de escoamento, onde S_y é o limite de escoamento e S_{ys} é a tensão de cisalhamento no escoamento (Norton, 2013):

$$S_{ys} = 0,5 * S_y \quad (2)$$

2.2 TEORIA DE FALHA POR FADIGA

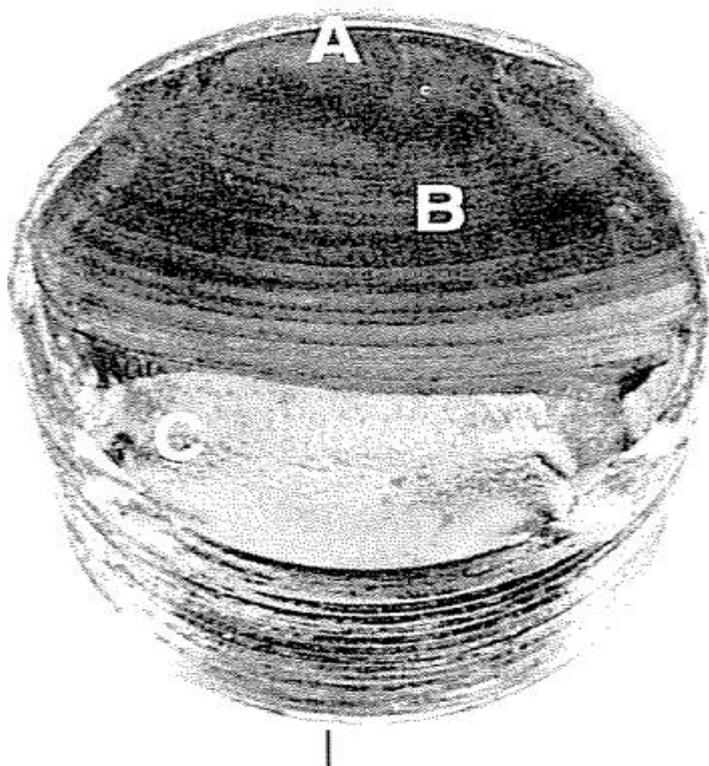
Em sua maioria, as falhas mecânicas em máquinas ocorrem devido a cargas que variam no tempo e não a esforços estáticos. Essas falhas ocorrem, geralmente, em níveis de tensão significativamente inferiores aos níveis de escoamento dos materiais (Norton, 2013).

As variáveis encontradas nas falhas por fadiga são repetidas, alternadas ou flutuantes. Quando a falha é gerada por uma sequência de tensões repetidas muitas vezes, esta é denominada falha por fadiga (Shigley, et al. 2005).

A falha por fadiga, diferentemente da falha estática, ocorre abruptamente, sendo esta mais perigosa pois não apresenta sinais de que irá ocorrer. Este fenômeno não é completamente entendido no mundo da engenharia, tornando um assunto que exige dos engenheiros um alto nível de estudo (Shigley, et al. 2005).

Os estágios de uma falha por fadiga ocorrem na seguinte ordem:

- Estagio 1 - Formação de micro trincas causadas pela deformação plástica cíclica;
- Estagio 2 - Propagação das micro trincas formando superfícies de fratura com platôs paralelos chamados marcas de praia ou concha de ostra.
- Estagio 3 - Ocorre quando o material não suporta mais a carga cíclica e se rompe de forma abrupta.



**Figura 4 - Falha por fadiga em parafuso devido a flexão unidirecional repetida.
Fonte: Shigley, Joseph E. et al. 2005.**

Podemos ver na Figura 4 que o início da falha em A. Notam-se as marcas de praia em B. Em C temos a ruptura total do parafuso.

Este tipo de falha pode ser verificado quando a torre está em sua posição totalmente alongada, onde toda a carga da caixa está apoiada em sua estrutura, sendo que esta posição é repetida várias vezes durante o período de trabalho.

2.3 TEORIA DE FALHA SUPERFICIAL

Falhas por desgaste superficial normalmente envolvem a perda de algum material da superfície de peças sólidas do sistema. Os movimentos mais importantes de desgaste são deslizamento, rolamento ou a combinação dos dois (Norton, 2013).

A falha superficial pode ser verificada em torres de transbordo pelo contato direto dos rolos guias e a chapa de desgaste, quando esta está em operação de transbordamento, realizando um ciclo.

Os tipos de falhas superficiais que podem ocorrer na peça selecionada são desgaste por abrasão e por corrosão.

Desgaste por abrasão ocorre quando temos duas superfícies em contato, uma mais dura que a outra. Quando estas superfícies entram em atrito, tanto por rolamento quanto por deslizamento, temos a deposição de material do metal mais mole no metal mais duro formando um desgaste na peça (Norton, 2013).

O desgaste por corrosão leva ao rompimento da parte superficial da camada corrosiva. Devido ao contato deslizante ou por rolamento entre dois corpos, ocorre a remoção do filme de óxido ou outro filme protetor, expondo a superfície do material à corrosão segundo Norton (2013). No caso do transbordo de cana, há o agravante da carga ser a cana-de-açúcar, a mesma que pode depositar sacarose nas partes expostas da peça, acelerando o processo de corrosão (Shigley, et al. 2005).

Conforme a Figura 5 observamos estes tipos de falhas superficiais na chapa de desgaste do equipamento estudado.



Figura 5 - Chapa de desgaste com deformação superficial.
Fonte: autoria própria.

2.4 ANÁLISE DAS FORÇAS ATUANTES

Com intuito de identificar todas as forças e momentos atuantes no corpo estudado, é necessário realizar o diagrama de corpo livre do sistema.

De acordo com Norton (2013), o diagrama de corpo livre deve mostrar um esboço geral do formato da parte, indicando todas as forças e momentos que agem sobre ela externamente, aplicados diretamente à peça ou em junções com outras partes, levando em conta as medidas e ângulos da peça, na equação (3) temos a somatória das forças, onde F é a força, m é a massa e a é a aceleração.

$$\sum F = m * a \quad (3)$$

A intensidade da força, ou força por unidade de área que age perpendicularmente sobre a superfície é definida como tensão normal σ , sendo também F é a força aplicada e A é a área. (Hibbeler, 2010):

$$\sigma = \frac{F}{A} \quad (4)$$

De acordo com Hibbeler (2010), temos que as forças por unidade de área que atuam tangencialmente à estrutura estudada são denominadas de tensão de cisalhamento τ , P , é a força ou carga aplicada e A_{cis} é a área de cisalhamento:

$$\tau = \frac{P}{A_{cis}} \quad (5)$$

2.5 COEFICIENTE DE SEGURANÇA

Um coeficiente de segurança ou fator de segurança é a relação entre duas unidades de mesma grandeza, que geralmente é expresso pela variável máxima calculada sobre a variável solicitada em trabalho real, formando um valor que representa a capacidade da peça em quantas vezes ela suporta o esforço real submetido, de acordo com Norton (2013). Este fator deve ser levado em consideração no projeto para evitar a falha devido a esforços maiores do que os previstos ou ainda incertezas durante a fase de projeto, temos que S_y é o limite de escoamento e S_{ys} é a tensão de cisalhamento no escoamento, σ' é a tensão equivalente de Von Mises-Henky e τ_{max} é a tensão máxima de cisalhamento.

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

$$N = \frac{S_{ys}}{\tau_{max}} \quad (7)$$

2.6 CONCENTRAÇÃO DE TENSÃO

Segundo Norton (2013), os materiais dúcteis escoam localmente em torno do ponto onde há um aumento de tensão, enquanto as partes mais distantes dos acúmulos de tensões permanecem abaixo do ponto de escoamento. Quando toda a secção transversal atinge o ponto de escoamento, teremos a ruptura do material.

3 METODOLOGIA

Neste trabalho serão feitas as análises das forças atuantes na torre do transbordo, visando encontrar os pontos críticos e propensões a falhas e os maiores impactos estruturais que são causados, como deformações do material e formação de trincas.

Juntamente com a empresa Metalcana, será realizado um estudo de campo para verificar as principais falhas ocorrentes e corrigi-las com base nos cálculos matemáticos apresentados e estudos em software de modelamento fornecido pela empresa.

Após a coleta de informações, serão feitas as otimizações de materiais e medidas conforme o encontrado nas análises estruturais.

4 PROCEDIMENTO DE CÁLCULO

Utilizando-se das informações cedidas pela empresa Metalcana, podemos calcular a carga exercida no material de estudo, sendo que o mesmo possui capacidade de carga líquida de 10500 kg (mc) no conjunto todo, e mais o peso da caixa de transbordamento de 1547kg (mcx), o reforço “X” da caixa que é composto de dois tubos que se interceptam em formato de um X de 354kg (mx), e mais dois pistões de transbordamento acoplados a caixa, de 136kg cada (mpst). A seguir, calcularemos a força vertical que é distribuída em dois pontos, um em cada extremo do equipamento, como mostra a Figura 6 a baixo:



**Figura 6 - Foto real do transbordo MCT 10500 e posicionamento das forças distribuídas.
Fonte: autoria própria.**

Fazendo a somatória das massas, temos a massa da estrutura a ser levantada:

$$\begin{aligned}
 m &= mcx + mx + 2 * mpst \\
 m &= 1547kg + 354kg + (2 * 136kg) \\
 m &= 2173kg
 \end{aligned}$$

Como estamos calculando a carga em apenas uma torre, e para a massa total da estrutura temos duas torres, uma a cada lado, dividiremos a massa pela metade, pois a carga é igualmente distribuída em ambas. Logo, temos a massa parcial (mp):

$$mp = 1086.5kg$$

Tendo esta informação e a informação da massa da carga de cana máxima (mc), podemos encontrar a massa efetiva em cada torre (mef).

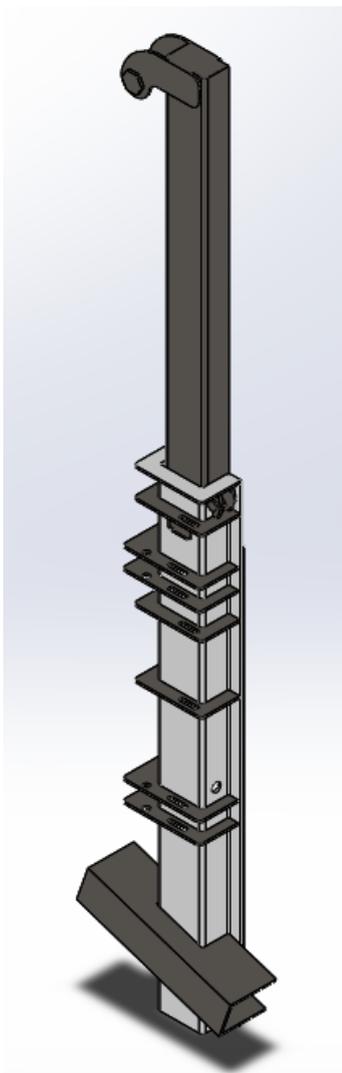
$$\begin{aligned}
 mef &= \frac{mc}{2} + mp \\
 mef &= \frac{10500kg}{2} + 1086.5kg \\
 mef &= 6336.5kg
 \end{aligned}$$

Aplicando a mef na formula (03) encontramos a força aplicada em Newtons em cada torre:

$$\begin{aligned}
 \sum F &= m * a \\
 F &= mef * g \\
 F &= 6336.5kg * 9.81 \frac{m}{s^2} \\
 F &= 62161.065 N
 \end{aligned}$$

Tendo a carga aplicada em cada conjunto de torre, podemos alimentar o software com as informações, utilizando os dados cedidos pela empresa Metalcana.

Após obter informações junto a equipe da empresa, obtivemos as medidas principais das peças e podemos modela-la no software Solid Works obtido junto a empresa, assim formando o modelamento da Figura 7, seguindo a recomendação da empresa.



**Figura 7 - Modelagem da torre de transbordo.
Fonte: Autoria Própria.**

Analisando o material aço ASTM-A31, mostrado na Figura 8, obtemos o limite de escoamento, que utilizaremos após os cálculos computacionais para verificar o coeficiente de segurança da peça, assim analisando e verificando o que pode ser otimizado.

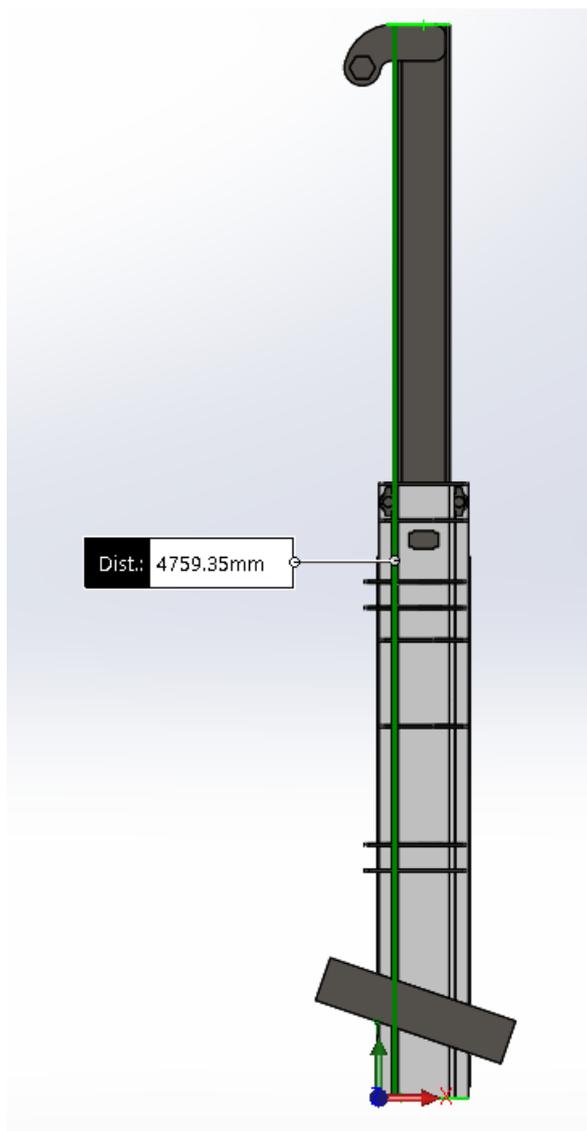
| Propriedades | |
|--|----------------------------|
| Nome: | ASTM A36 Aço |
| Tipo de modelo: | Isotrópico linear elástico |
| Critério de falha predeterminado: | Tensão de von Mises máxima |
| Limite de escoamento: | 2.5e+008 N/m ² |
| Resistência à tração: | 4e+008 N/m ² |
| Módulo elástico: | 2e+011 N/m ² |
| Coefficiente de Poisson: | 0.26 |
| Massa específica: | 7850 kg/m ³ |
| Módulo de cisalhamento: | 7.93e+010 N/m ² |

Figura 8 - Propriedades do material utilizado na torre de transbordo.
Fonte: Autoria Própria.

4.1 MODELAMENTO EM SOFTWARE

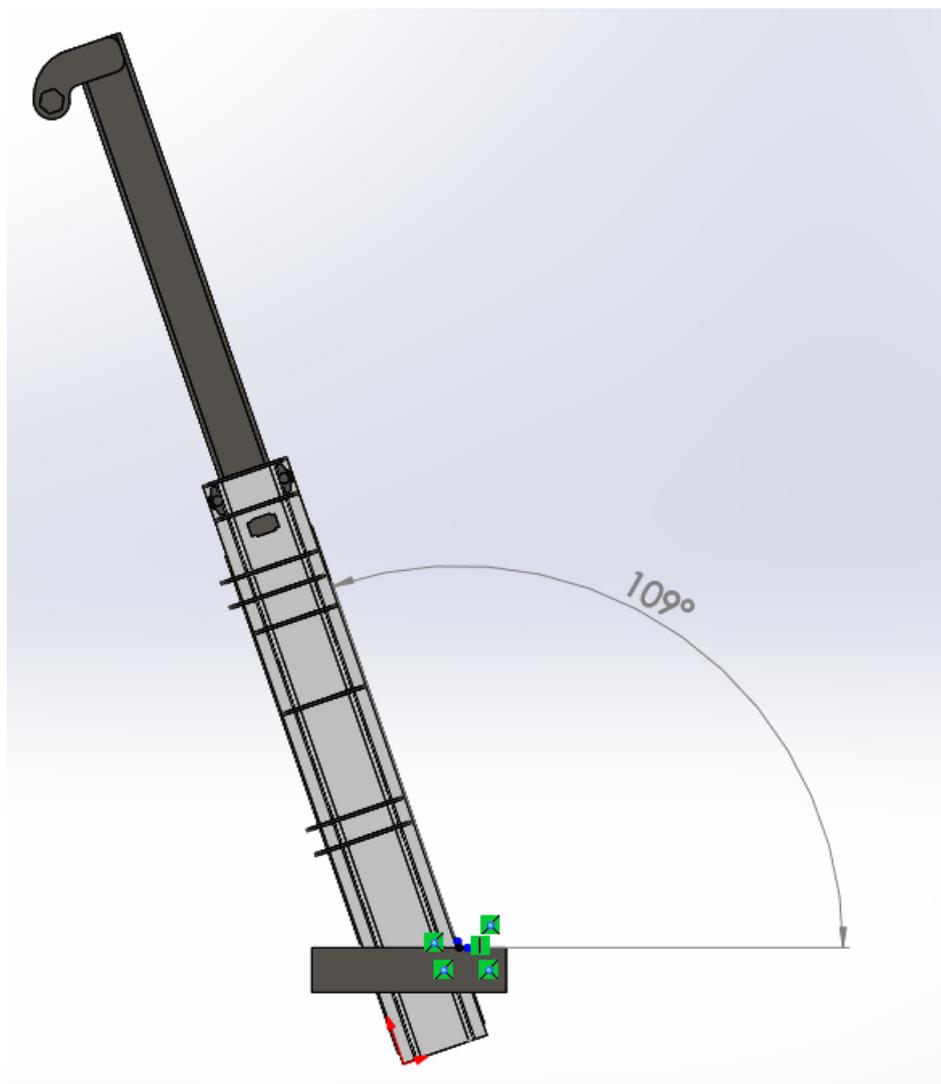
Seguindo as orientações da empresa modelamos a torre de transbordo para análise no software Solid Works. A mesma será estudada em seu deslocamento vertical máximo, onde é o ponto de maior carga vertical, sendo este um ponto crítico para o estudo.

Segundo a empresa o comprimento máximo que a torre atinge é de 4759,35mm como mostrado na Figura 9.



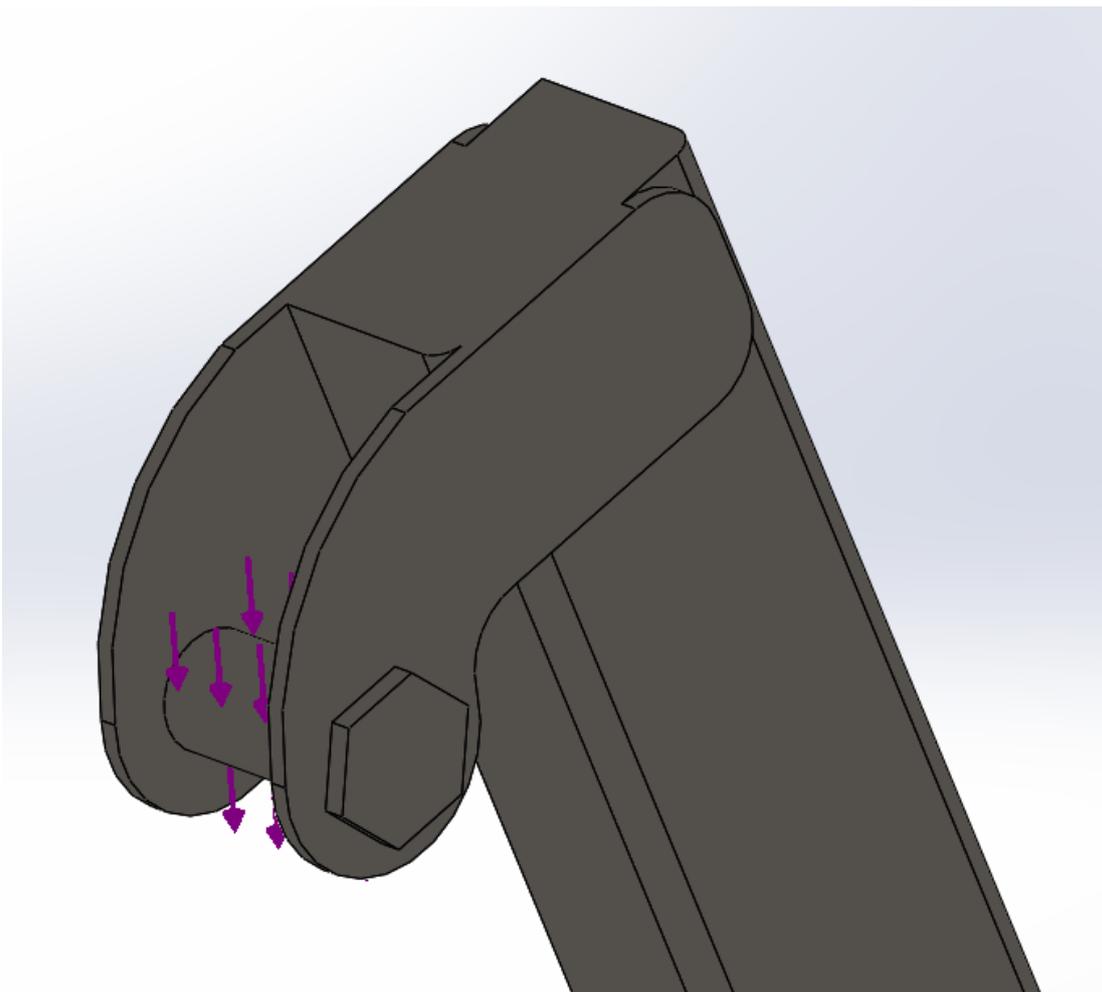
**Figura 9 - Comprimento total do conjunto da torre de transbordo.
Fonte: Autoria Própria.**

O ângulo da torre em relação ao chassi do equipamento que está apenas representado para fins de fixação da torre é de 109° conforme a Figura 10.



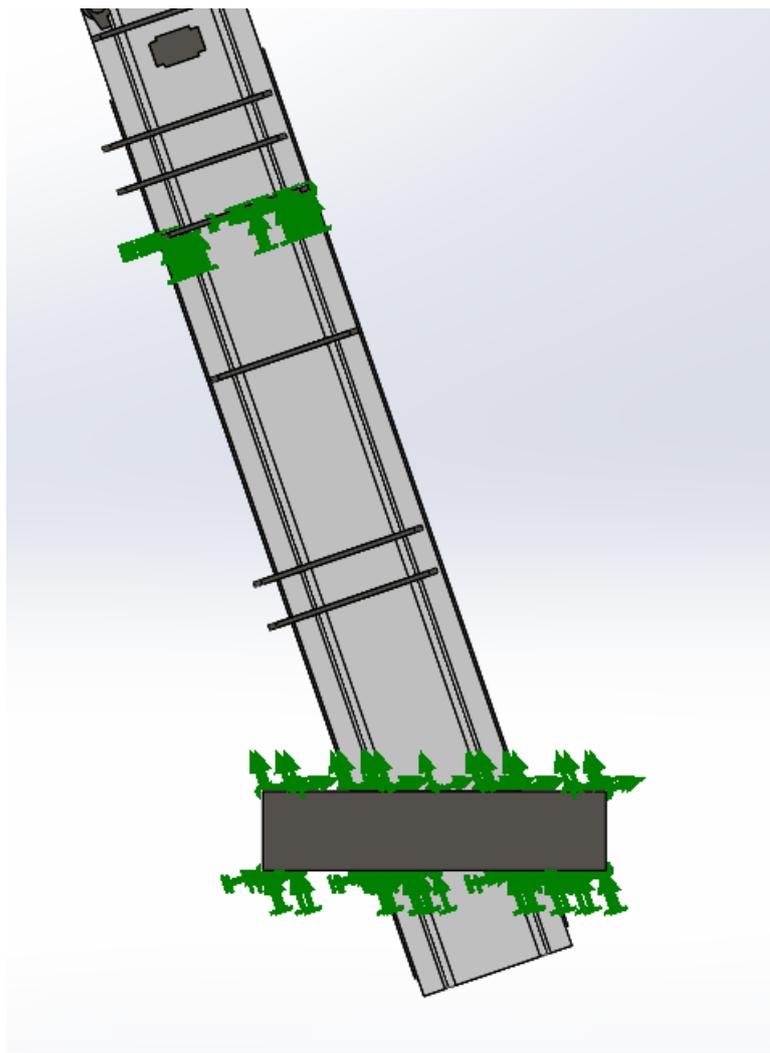
**Figura 10 – Angulação da torre em relação ao chassi.
Fonte: Autoria Própria.**

No modelamento podemos observar a cartola, o pistão e os dois tipos de iok, que são os 8 reforços na cartola. A carga de 62161.065N é aplicada perpendicularmente ao chassi em um pino na extremidade do pistão, como mostrado na Figura 11:



**Figura 11 – Posicionamento da força aplicada no pino.
Fonte: Autoria Própria.**

Os pontos de fixação da torre estão no chassi, que está representado parcialmente no projeto, e no 4º iok de cima para baixo. Estes pontos serão considerados como fixos na simulação, pois entende-se que são rígidos e fixam a torre em seu lugar conforme a Figura 12.



**Figura 12 – Pontos de fixação da torre de transbordo.
Fonte: Autoria Própria.**

A partir deste ponto simulamos o projeto em software fornecido pela empresa e analisamos os resultados.

5 RESULTADOS

Após a simulação no software Solid Works, com os dados obtidos de carga e fixação obtivemos os seguintes resultados, conforme a Tabela 3 temos a decomposição da força aplicada na torre de transbordo.

Tabela 3 - Forças Resultantes.

| COMPONENTES | FORÇA (N) |
|--------------------|------------------|
| X | 20234.3 |
| Y | 58775.2 |
| Z | 10.0062 |
| RESULTANTE | 62160.7 |

Fonte: Autoria Própria.

A malha foi gerada com o mais alto nível de qualidade para um resultado mais preciso, as informações da malha se encontram na imagem abaixo fornecida pelo software:

Tabela 4 - Informações da malha.

| | |
|-----------------------------------|--------|
| TOTAL DE NÓS | 74777 |
| TOTAL DE ELEMENTOS | 37356 |
| PROPORÇÃO MÁXIMA | 103.56 |
| % DE ELEMENTOS COM PROPORÇÃO < 3 | 47.2 |
| % DE ELEMENTOS COM PROPORÇÃO < 10 | 0.171 |

Fonte: Autoria Própria.

Com os dados da Tabela 4 podemos obter a relação de mala do software SOLid Works, considerada fina, o que se entende que é a mais precisa o possível.

Ao final da simulação analisamos a tensão de von Mises com a força aplicada na Figura 13:

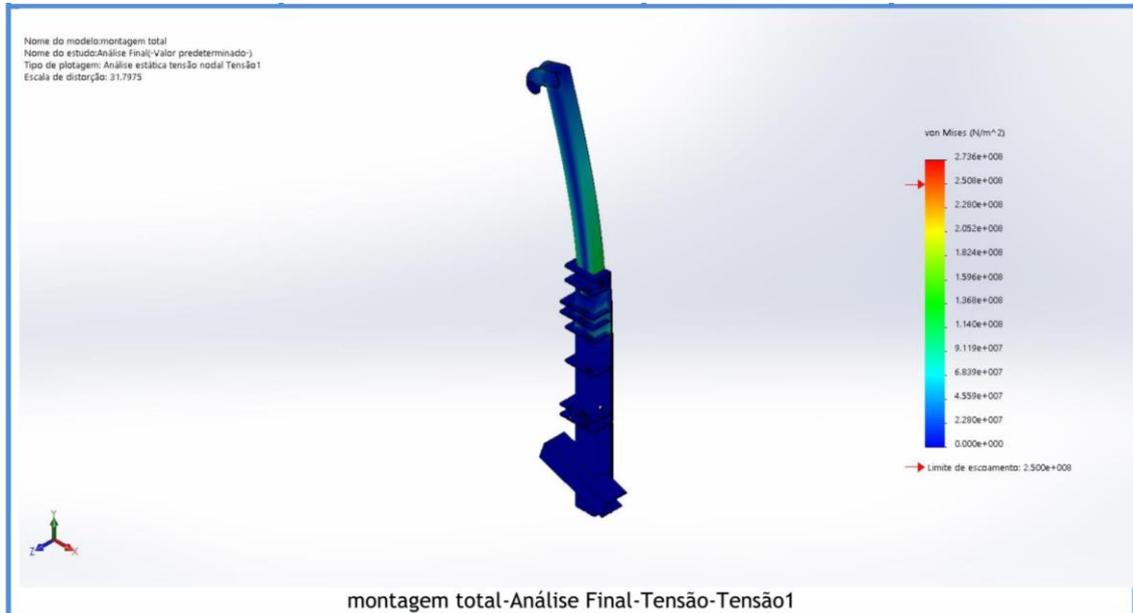


Figura 13 – Análise da tensão de Von Mises.

Fonte: Autoria Própria.

O resultado foi satisfatório, graficamente podemos verificar que a tensão máxima em verde não excede o limite de escoamento e a deformação está de acordo com o estudo, assim temos uma tensão máxima suportada na torre de $1.368e^8 N/m^2$ retirado do gráfico e um limite de escoamento de $2.5e^8 N/m^2$.

Com estes dados podemos calcular o coeficiente de segurança pela equação (06):

$$N = \frac{S_y}{\sigma'}$$

$$N = \frac{2.5e^8 N/m^2}{1.368e^8 N/m^2}$$

$$N = 1.8274$$

Também analisamos o deslocamento máximo que a torre percorre quando carregada com sua carga máxima na Figura 14.

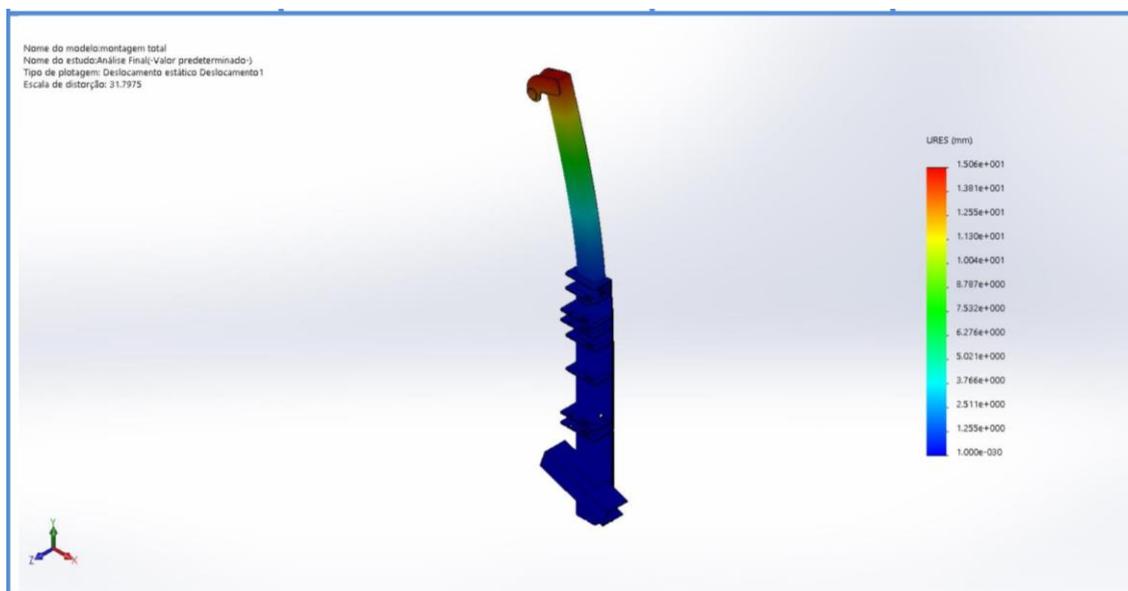


Figura 14 – Análise de deslocamento.

Fonte Autoria Própria.

Assim obtemos um deslocamento máximo na extremidade onde a força é aplicada, o mesmo se desloca em 15.06mm.

6 CONCLUSÃO

O presente trabalho teve como objetivo principal o estudo de cargas estáticas em um equipamento agrícola comercializado atualmente, fazendo deste estudo uma base para uma possível otimização de projeto em um determinado componente do equipamento, que no caso é a torre de transbordamento, um dos itens mais importantes no conjunto do equipamento.

Levando em consideração o conhecimento adquirido ao longo do curso, um coeficiente de segurança de $N=1.8274$ tem uma margem boa de segurança, o mesmo poderia ser otimizado caso o equipamento trabalhasse em condições menos severas. O equipamento tem que seguir o ritmo de uma colheita de cana, esta que por sua vez possui um alto nível de desgaste de equipamentos por trabalhar 24 horas por dia e 7 dias por semana, salvo apenas por dias de alta umidade onde não se tem condições de qualidade e de colheita.

Como o equipamento tem fim de levantamento de carga e transbordagem da mesma sobre um chassi de caminhão, onde geralmente tem pessoas por perto existe uma certa necessidade de segurança para que não haja acidentes relacionados a falhas estruturais que poderiam gerar danos físicos graves e até a morte. Logo podemos entender que um coeficiente de 1.8274 gera um bom nível de segurança, e como a operação gera um grande desgaste não há necessidade de uma otimização nesta parte do equipamento.

7 SUGESTÃO PARA TRABALHOS FUTUROS

Verificando o estudo do projeto podemos sugerir alguns ramos de pesquisa sobre este equipamento, como o estudo de desgaste por contato, estudo sobre o processo de caldeiraria na produção, análise e dimensionamento hidráulico do sistema de levante e transbordagem.

8 REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6023**: informação e documentação: referências: elaboração. Rio de Janeiro, 2002.

BIQIANG, Zeng; XIAODONG, Liu; YAJUN, Zhang. The structure optimization analysis of electric vehicle in small offset rear end collision. **Procedia engineering**, v. 137, p. 103-108, 2016.

BUDYNAS, Richard G; NISBETT, J. Keith. **Elementos de máquinas de Shigley: projeto de engenharia mecânica**. Tradução João Batista de Aguiar, José Manoel de Aguiar. 8 ed. Porto Alegre: AMGH, 2011.

COLLINS, Jack A. **Projeto mecânico de elementos de máquinas: Uma perspectiva de prevenção da falha**. Tradução Pedro Manuel Calas Lopes Pacheco [et al.]. Rio de Janeiro: LTC, 2014.

GODEFROID, Leonardo Barbosa et al. Fatigue failure of a welded automotive component. **Procedia Materials Science**, v. 3, p. 1902-1907, 2014.

Hibbeler, Russell Charles. **Resistência dos materiais**. Tradução Arlete Simille Marques ; revisão técnica Sebastião Simões da Cunha Jr. - 7. ed. - São Paulo : Pearson Prentice Hall, 2010.

JUVINALL, Robert C.; MARSHEK, Kurt M. **Fundamentos do projeto de componentes de máquinas**. Tradução e revisão Fernando Ribeiro da Silva. 4 ed. Rio de Janeiro: LTC, 2012.

KARAOĞLU, Çiçek; KURALAY, N. Sefa. Stress analysis of a truck chassis with riveted joints. **Finite Elements in Analysis and Design**, v. 38, n. 12, p. 1115-1130, 2002.

MAT, Mohd Hanif; GHANI, Amir Radzi Ab. Design and analysis of 'eco'car chassis. **Procedia Engineering**, v. 41, p. 1756-1760, 2012.

NORTON, Robert L. **Projeto de máquinas: Uma abordagem integrada**. 4 ed. Porto Alegre: Bookman; 2013.

ROSA, Edilson. **Análise de resistência mecânica: mecânica da fratura e fadiga**. UFSC, 2002.

SHIMATANI, Yuuji et al. Effect of surface residual stress and inclusion size on fatigue failure mode of matrix HSS in very high cycle regime. **Procedia Engineering**, v. 2, n. 1, p. 873-882, 2010.

STERNICK, Marcelo Back et al. Relationship between rigidity of external fixator and number of pins: computer analysis using finite elements. **Revista Brasileira de Ortopedia**, v. 47, n. 5, p. 646-650, 2012.

VELOSO, V. et al. Failure investigation and stress analysis of a longitudinal stringer of an automobile chassis. **Engineering Failure Analysis**, v. 16, n. 5, p. 1696-1702, 2009.