

UNIVERSIDADE FEDERAL DO ESPÍRITO SANTO
CENTRO TECNOLÓGICO
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA MECÂNICA

FRANKLIN SOUZA DOS SANTOS
LUCAS STAUFFER COSTA

**ESTUDO DE CASO: PROJETO DE ENGENHARIA DE UM CAMINHÃO
PLATAFORMA PARA CAMPO DE PETRÓLEO (OILFIELD BED TRUCK)**

VITÓRIA
2016

FRANKLIN SOUZA DOS SANTOS
LUCAS STAUFFER COSTA

**ESTUDO DE CASO: PROJETO DE ENGENHARIA DE UM CAMINHÃO
PLATAFORMA PARA CAMPO DE PETROLEO (OILFIELD BED TRUCK)**

Projeto de Graduação apresentado ao Departamento de Engenharia Mecânica da Universidade Federal do Espírito Santo, como requisito parcial para obtenção do título de Engenheiro Mecânico.

Orientador: Prof. Dr. Fernando César Meira Menandro.

VITÓRIA
2016

FRANKLIN SOUZA DOS SANTOS

LUCAS STAUFFER COSTA

**ESTUDO DE CASO: PROJETO DE ENGENHARIA DE UM CAMINHÃO
PLATAFORMA PARA CAMPO DE PETROLEO (OILFIELD BED TRUCK)**

Trabalho de conclusão de curso apresentado ao Departamento de Engenharia Mecânica da Universidade Federal do Espírito Santo, como requisito parcial para obtenção do título de Engenheiro Mecânico.

Apresentado em 21 de Novembro de 2016.

COMISSÃO EXAMINADORA

Prof. Dr. Fernando César Meira Menandro
Universidade Federal do Espírito Santo
Orientador

Prof. Dr. Guilherme Fabiano Mendonça dos Santos
Universidade Federal do Espírito Santo
Examinador

Bruno de Brito da Silva, Eng. Civil
Vale
Examinador

“No reino da observação científica, a sorte só é concedida aos que estão preparados.”

Louis Pasteur

RESUMO:

Os chamados “Oilfield Bed Trucks”, ou caminhão plataforma para campo de petróleo, são veículos amplamente utilizados para movimentação de equipamentos em campos de exploração de petróleo devido à sua versatilidade e custo. O presente trabalho apresenta a análise estrutural de um modelo que havia sido fabricado sem projeto de engenharia, visando assim especificar sua capacidade de carga e possíveis formas de otimização de uso ou projeto. Para alcançar tal objetivo foram feitas simulações do método de elementos finitos pelo software Solid Edge de situações às que comumente tal equipamento é submetido.

Palavras chaves: Oilfield Bed Truck, análise estrutural, método dos elementos finitos.

ABSTRACT:

"Oilfield Bed Truck," are widely used vehicles utilized to transport equipments in oil exploration fields because of its versatility and cost. The present work presents a structural analysis of a model which had been manufactured without the engineering design, aiming to specify the load limit and possible optimization. To achieve this goal has been used the Finite Element Method in Solid Edge software to simulate commonly situations that the equipment is submitted.

Key words: Oilfield Bed Truck, structural analysis, finite element method.

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Propriedades do aço A-36.....	19
Tabela 2 - Propriedades do aço API N-80.....	20
Tabela 3 - Propriedades do aço LNE-60.....	20

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Sonda de Perfuração e equipamentos adjacentes	1
Figura 2- Caminhão Plataforma da década de 40.....	2
Figura 3 – Carroceria (acoplada a um caminhão simples)	6
Figura 4 - Reboque	7
Figura 5 - Semirreboque	7
Figura 6 - Disposição dos Principais componentes do equipamento	9
Figura 7– Rolete.....	9
Figura 8 – Quinta roda	10
Figura 9 - Caminhão guincho engatado à um semirreboque	10
Figura 10 - Caminhão Guincho	11
Figura 11 - Guindaste Telescópico.....	11
Figura 12 – Oilfield Bed Truck em operação - Afixação do gancho na carga.....	12
Figura 13 - Oilfield Bed Truck em operação - Deslizamento da carga	12
Figura 14 - Oilfield Bed Truck em operação - Carga passando sob o Rolete	13
Figura 15 - Oilfield Bed Truck em operação - Carga acomodada sob a Plataforma	13
Figura 16 - Gin pole.....	14
Figura 17 - Máquina para teste de tração	22
Figura 18 - Diagrama tensão-deformação convencional e real para um material dúctil.	23
Figura 19 - Componente sob estado uniaxial de tensão	25
Figura 20 - Componente sob estado plano de tensões.....	26
Figura 21 - Critério da energia de distorção máxima descrito graficamente	27
Figura 22 - Equipamento a ser analisado.....	33

Figura 23 - Detalhe do fundo do equipamento - Rolete e parachoq.....	34
Figura 24 - Detalhe Rolete Auxiliar.....	35
Figura 25 - Plataforma à ser soldada	36
Figura 26 - SKID utilizado para acomodar um Manifold	37
Figura 27 - OilField BedTruck movimentando um SKID com equipamentos diversos ...	38
Figura 28 - Carga iniciando a subida no caminhão	39
Figura 29 - Representação da força resultante	40
Figura 30 - Situação de carregamento por único cabo.....	40
Figura 31 - Situação de carregamento pelo uso de dois cabos	41
Figura 32 - Carregamento Plataforma Caso 1.....	42
Figura 33 - Plotagem Tensão de Von Mises Carregamento Caso 1	43
Figura 34 - Carregamento Plataforma Caso 2.....	44
Figura 35 - Plotagem das tensões de Von Mises para o caso 2	45
Figura 36 - Carregamento Plataforma Caso 3.....	46
Figura 37 - Plotagem das tensões de Von Mises para o caso 3	47
Figura 38 - Carregamento Plataforma Caso 4.....	48
Figura 39 - Plotagem das tensões de Von Mises para o caso 4	49
Figura 40 - Carregamento Plataforma Caso 5.....	50
Figura 41 - Plotagem das tensões de Von Mises para o caso 5	51
Figura 42 -Representação de carregamento do rolete.....	52
Figura 43 - Plotagem das tensões de Von Mises	53
Figura 44 - Esquema de carregamento do conjunto traseiro	54
Figura 45 - Esquema de carregamento do conjunto traseiro	55

A figura 46 mostra a plotagem das tensões de Von Mises para o conjunto

testado.Figura 46 - Plotagem das tensões de Von Mises	56
Figura 47 - Esquema de carregamento do Rolete.....	57
Figura 48 - Plotagem das tensões de Von Mises	58
Figura 49 -Esquema de carregamento do Rolete.....	59
Figura 50 - Plotagem das tensões de Von Mises	60
Figura 51 - Esquema de carregamento do Rolete.....	61
Figura 52 - Plotagem das tensões de Von Mises	62
Figura 53- Esquema de carregamento do Rolete.....	63
Figura 54 - Plotagem das tensões de Von Mises	64
Figura 55 - Esquema de carregamento do Rolete.....	65
Figura 56 - Representação dos pontos de fixação do conjunto traseiro do equipamento	65
Figura 57 - Plotagem das tensões de Von Mises	67

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	1
1.1	MOTIVAÇÃO.....	3
1.2	OBJETIVOS.....	3
1.3	METODOLOGIA	4
2	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	5
2.1	CLASSIFICAÇÃO DOS IMPLEMENTOS RODOVIÁRIOS.....	5
2.2	CAMINHÃO PLATAFORMA PARA CAMPO DE PETRÓLEO	8
2.3	NORMAS E RESOLUÇÕES	25
3	FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	18
3.1	CONSIDERAÇÕES INICIAIS.....	18
3.2	PROPRIEDADES DOS AÇOS.....	18
3.2.1	PROPRIEDADES DOS AÇOS ESTRUTURAIS UTILIZADOS	19
3.2.2	TENSÕES E DEFORMAÇÕES	21
3.2.3	DIAGRAMA TENSÃO-DEFORMAÇÃO	22
3.2.4	CRITÉRIOS DE FALHA PARA MATERIAIS DÚCTEIS	26
3.2.4.1	TENSÃO EQUIVALENTE DE VON MISES	26
3.3	MÉTODO DOS ELEMENTOS FINITOS.....	28
3.3.1	IDEALIZAÇÃO DE SISTEMAS.....	28
3.3.2	TIPOS DE SISTEMAS.....	29
3.3.3	ANÁLISE DE ELEMENTOS FINITOS VIA SOLID EDGE.....	30
4	ANÁLISE ESTRUTURAL.....	32
4.1	O EQUIPAMENTO ANALISADO	33
4.2	FORMAS DE CARREGAMENTO	37
4.3	ANÁLISE DA PLATAFORMA.....	42
4.3.1	CASO 1 DE CARREGAMENTO NA PLATAFORMA	42
4.3.2	CASO 2 DE CARREGAMENTO NA PLATAFORMA.....	43
4.3.3	CASO 3 DE CARREGAMENTO NA PLATAFORMA.....	46
4.3.4	CASO 4 DE CARREGAMENTO NA PLATAFORMA.....	48
4.3.5	CASO 5 DE CARREGAMENTO NA PLATAFORMA.....	50

4.4	ANÁLISE DO ROLETE	52
4.4.1.1	CASO 1 DE CARREGAMENTO DO ROLETE($8\sqrt{2}$ t).....	52
4.4.1.2	CASO 1 DO CONJUNTO TRASEIRO COMPLETO($8\sqrt{2}$ t).....	53
4.4.1.3	CASO 1 DE CARREGAMENTO DO ROLETE ($11\sqrt{2}$ ton)	58
4.4.2.1	CASO 2 DE CARREGAMENTO DO ROLETE (15 ton)	60
4.4.2.2	CASO 2 DE CARREGAMENTO DO ROLETE ($15\sqrt{2}$ ton)	62
4.4.2.3	CASO 2 DE CARREGAMENTO DO CONJUNTO TRASEIRO COMPLETO ($15\sqrt{2}$ ton).....	68
5	CONCLUSÃO E SUGESTÃO PARA TRABALHOS FUTUROS	68
5.1	CONCLUSÕES GERAIS.....	68
5.2	PROPOSIÇÕES PARA TRABALHOS FUTUROS	69
6	BIBLIOGRAFIA.....	70
7	ANEXOS.....	71

1 INTRODUÇÃO

As atividades petrolíferas Onshore necessitam de vários equipamentos para executar a movimentação de cargas ao redor das sondas de perfuração ou completação (Workover).

As cargas em geral, compõem o parque de equipamentos utilizados nas atividades de perfuração e limpeza de poços de petróleo.

Como principais equipamentos podemos citar as bombas de lama, unidades geradoras de vapor, trailers, tanques de lama de perfuração, e outros. Estes equipamentos geralmente devem ser posicionados próximos à torre de perfuração de maneira que acabam fazendo parte integrante do processo de perfuração.

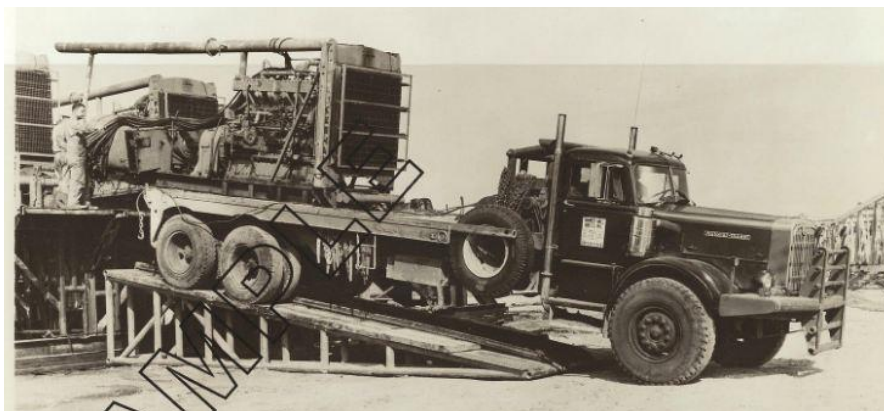
Figura 1 - Sonda de Perfuração e equipamentos adjacentes



Fonte: Google Imagens

Desde o início da perfuração de poços em larga escala, e com a popularização dos caminhões, criou-se um tipo de caminhão guincho, destinado exclusivamente para as atividades de movimentação de cargas das sondas de perfuração de poços de petróleo.

Figura 2- Caminhão Plataforma da década de 40



Fonte: <http://www.ebay.com>

Mostrando-se eficiente em suas atribuições de movimentação de cargas ao redor das sondas de perfuração, e atendendo perfeitamente as exigências e solicitações a eles impostas, os caminhões plataformas para campo de petróleo (OilField Bed truck) se difundiram por todo mundo acompanhando às explorações Onshore onde quer que elas ocorram.

Mesmo com o emprego do guindaste telescópico, o OilField Bed Truck, continua sendo muito utilizado devido à sua versatilidade, facilidade de fabricação e baixo custo.

1.1 MOTIVAÇÃO

A partir de um estágio realizado nas férias por um dos integrantes do presente projeto, foi acompanhado o processo de fabricação de um caminhão guincho, objeto do presente estudo. O equipamento outrora confeccionado para uma empresa de exploração e produção de campos de petróleo no Norte do Estado do Espírito Santo, não contava na ocasião com um projeto de engenharia que pudesse ter atestado a capacidade do equipamento ou a possibilidade de otimização e redução de peso da estrutura, uma vez que a capacidade de carga do caminhão é limitada por lei pelo seu PBT (Peso Bruto Total).

A partir do problema, foi proposto um projeto de engenharia do equipamento fabricado, para fins de atestar a qualidade do equipamento e para que o mesmo pudesse ser aperfeiçoado para uma melhor aplicação nos serviços executados.

1.2 OBJETIVOS

Efetuar a análise estrutural do equipamento supracitado por meio do uso de conhecimentos básicos de Resistência dos Materiais, adquiridos no decorrer do curso de Engenharia Mecânica da Universidade Federal do Espírito Santo, e do ambiente de simulação do programa Solid Edge, atestando assim a capacidade do equipamento e a segurança de sua operação durante as tarefas diárias à ele impostas bem como propondo melhorias futuras tanto de aspectos de análise estrutural quanto de desenho de projeto.

1.3 METODOLOGIA

Para a execução do presente projeto, foi preciso primeiramente aferir as dimensões e tipos de materiais utilizados no equipamento, bem como o desenho e detalhes do mesmo.

Após obter os dados foi feito um modelo CAD do equipamento, onde foi detalhado toda sua estrutura.

Afim de executar a análise estrutural, foi feita uma simplificação da estrutura para que pudesse ser analisada apenas as partes que tenham relevância na capacidade do equipamento ou que sejam consideradas críticas ao funcionamento.

A partir da escolha dos objetos de análise, foi usado os critérios de falha de maneira analítica e/ou o método dos elementos finitos.

Finalmente, com os resultados obtidos, é concedido um parecer técnico sobre o equipamento para atestar sua capacidade e eficácia construtiva.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 CLASSIFICAÇÃO DE IMPLEMENTOS RODOVIÁRIOS

Entende-se “implemento rodoviário” conforme a definição disposta na NBR 9762, qual seja: *“Veículo rebocado acoplável a caminhão-trator ou equipamento veicular complemento de veículo automotor incompleto.”*, seus componentes e sistemas.

A indústria de implementos rodoviários desenvolve componentes complementares ao caminhão, responsáveis pela função específica de transporte de cargas. A versatilidade do setor permite que sejam obtidos os mais variados tipos de produtos, de acordo com a necessidade do transportador. A configuração do equipamento depende da natureza da carga que vai ser transportada e do objetivo perseguido (flexibilidade, custo, distância de transporte, interação com outros modais etc.). Para atender à demanda e maximizar a eficiência do transporte, os fabricantes produzem uma gama bastante variada de produtos, cujas características básicas resumiremos em seguida. Os implementos podem ser classificados em carrocerias sobrechassi e rebocados.

As carrocerias sobrechassi (Figura 3) compõem veículos de carga de menor porte, utilizados usualmente para distribuir as cargas até os consumidores finais, nas áreas urbanas. As carrocerias são montadas diretamente sobre o chassi do caminhão e não têm eixos ou chassi próprios. Esses veículos são denominados caminhões simples.

Figura 3 – Carroceria (acoplada a um caminhão simples)



Fonte: <http://www.bndes.gov.br/>

Os rebocados têm maior comprimento e capacidade de carga. São utilizados usualmente em longos percursos, como para o transporte de mercadorias das unidades industriais até os centros de distribuição ou de grãos entre as áreas agrícolas e os portos. Por causa do seu comprimento, não podem entrar em perímetros urbanos. Os rebocados são estruturas completas, com chassi, eixos, suspensão e freios, e são engatadas ao caminhão.

Os veículos utilizados para puxar os rebocados são denominados caminhões tratores ou cavalos mecânicos. Entre os rebocados, são fabricados os chamados reboques (Figura 4) e semirreboques (Figura 5). Os reboques são engatados aos caminhões por meio de um cambão e têm eixo dianteiro. Já os semirreboques, que não têm eixo dianteiro, são acoplados ao caminhão-trator por meio de um sistema constituído pelo pino rei (no implemento) e pela quinta roda (no caminhão), o que confere maior estabilidade ao conjunto.

Figura 4 - Reboque



Fonte: <http://www.bndes.gov.br>

Figura 5 - Semirreboque



Fonte: <http://www.bndes.gov.br/>

Os reboques são utilizados em aplicações que requerem agilidade no engate e desengate dos implementos ao cavalo mecânico, como a colheita mecanizada de cana-de-açúcar. Os semirreboques, apesar do maior tempo necessário para engate e

desengate, têm uma área útil para transporte de carga superior à dos reboques, por causa da estrutura do sistema de acoplamento com o caminhão-trator. Não há modalidade de implemento ótima. Na verdade, é a aplicação específica do equipamento que define o tipo mais eficaz.

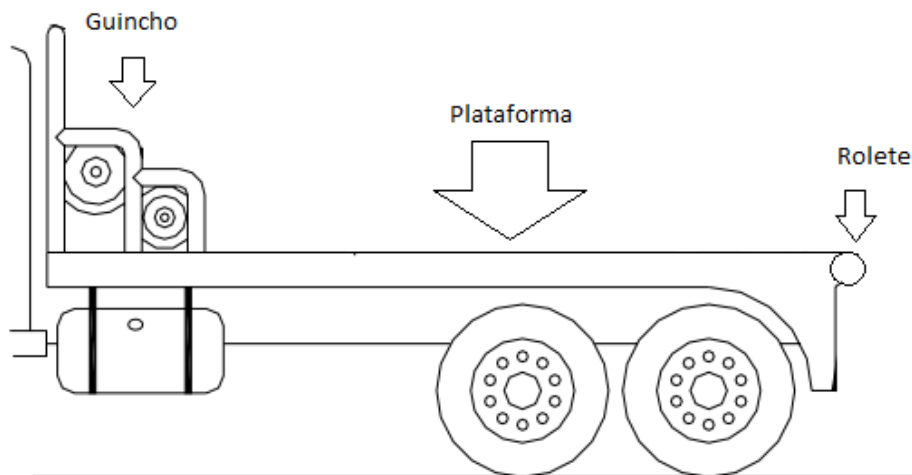
A modalidade do implemento (sobre chassi, reboque ou semirreboque), bem como a configuração do caminhão (potência do motor, comprimento do chassi, número e distribuição dos eixos), são definidas especificamente para cada tipo de transporte com o objetivo de maximizar sua eficácia. Cada implemento – seja carroceria, reboque ou semirreboque – é projetado para uso específico de determinada carga. Procura-se otimizar o volume carregado e agilizar os processos de carregamento e descarregamento. Assim, são fabricados os modelos mais diversos, como graneleiro, porta-contêiner, tanque, baú ou furgão, carga seca, frigorífico e canavieiro.

2.2 CAMINHÃO PLATAFORMA PARA CAMPO DE PETRÓLEO

O *Caminhão Plataforma Para Campo de Petróleo, OilField Bed Truck*, ou também denominado *Caminhão Guincho* é um equipamento mundialmente utilizado para a movimentação de cargas em campos de petróleo, no apoio às operações de perfuração e completação de poços.

Este equipamento é dotado de uma plataforma em aço estrutural devidamente reforçada para resistir as severas condições de operação, um guincho redutor de alta capacidade e um rolete para cargas pesadas. Todo esse conjunto é montado sobre um caminhão conforme representação abaixo (Figura 6 e Figura 7).

Figura 6 - Disposição dos Principais componentes do equipamento



Fonte: Própria

Figura 7– Rolete



Fonte: Própria

Disponível para várias capacidades de carga, este equipamento é um eficaz apoio às operações em campo devido a sua versatilidade, pois nele pode ser adaptada uma

Quinta-Roda de modo que o mesmo também possa movimentar reboques utilizados em várias situações e para acomodar vários equipamentos auxiliares da Sonda de Perfuração.

Figura 8 – Quinta roda



Fonte: Própria

Figura 9 - Caminhão guincho engatado à um semirreboque



Fonte: <http://jda.ca/winch-tractors/>

A facilidade de operação, o baixo custo de operação e o baixo custo da mão de obra, são fatores que mantêm este equipamento empregado nas operações mesmo com a difusão dos guindastes telescópicos.

Figura 10 - Caminhão Guincho



Fonte: <http://www.pktrucks.tv/>

Figura 11 - Guindaste Telescópico



Fonte: <http://etsequipamentos.com/>

A operação consiste em afixar um gancho na carga que se deseja mover, acionar o guincho redutor, fazendo com que a carga deslize sob o solo até o rolete. Estando em

contato com o rolete, a carga passará por cima do mesmo finalmente se acomodando sob a plataforma.

Figura 12 – Oilfield Bed Truck em operação - Afixação do gancho na carga



Fonte: www.youtube.com

Figura 13 - Oilfield Bed Truck em operação - Deslizamento da carga



Fonte: www.youtube.com

Figura 14 - Oilfield Bed Truck em operação - Carga passando sob o Rolete



Fonte: www.youtube.com

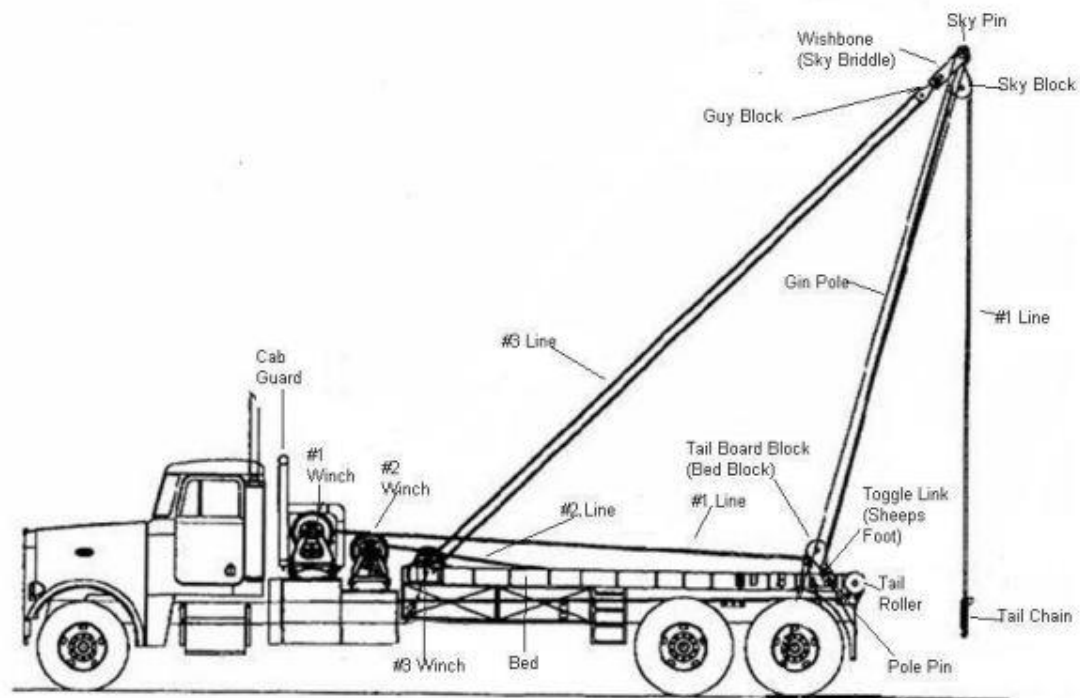
Figura 15 - Oilfield Bed Truck em operação - Carga acomodada sob a Plataforma



Fonte: www.youtube.com

O caminhão guincho tem outra variante denominada *Gin Pole*, que conta com dois tubos e uma polia usado para içar cargas a pequenas alturas, entretanto devido ao alto número de acidentes, este modelo foi extinguido de operações no Brasil.

Figura 16 - Gin pole



Fonte: <http://www.iadc.org/>

A fabricação do Caminhão Guincho, é feita de maneira predominantemente artesanal, uma vez que este equipamento é usado única e exclusivamente para as atividades petrolíferas Onshore. Portanto todos os projetos contam com detalhes exclusivos e muitas vezes não foram devidamente projetados podendo estar superdimensionados para suas aplicações e para a capacidade de carga do guincho redutor.

2.3 NORMAS E RESOLUÇÕES

Para a análise do presente projeto, foram buscadas normas que regessem à construção de implementos rodoviários, sua análise estrutural ou algum aspecto construtivo. Entretanto em se tratando de Normas Brasileiras, não foi encontrado tal acervo para nortear a análise e os trabalhos aqui desenvolvidos de natureza estrutural.

Após consultar à Anfir (Associação Nacional de Fabricantes de Implementos Rodoviários), foi constatado que para implementos rodoviários, os projetos se baseiam em tecnologia própria quanto a forma construtiva e quanto ao projeto estrutural do equipamento, sempre de forma compatível as leis que definem as cargas máximas e aplicação do equipamento.

Em se tratando de legislação, o setor se baseia nas resoluções do CONTRAN quanto as dimensões, quantidades de eixos, cargas por eixo, sistema de iluminação, sistema de freio, sistema de amarração de carga e etc.

A legislação em vigor atualmente sobre pesos por eixo e peso bruto tem sua origem no Código de Trânsito Brasileiro. Reza o art.99 que somente poderá transitar pelas vias terrestres o veículo cujo peso e dimensões atenderem aos limites estabelecidos pelo Contran. Por sua vez, o art.100 estabelece que o nenhum veículo ou combinação de veículos poderá transitar com lotação de passageiros, PBT (Peso Bruto Total) ou PBTC (Peso Bruto Total Combinado) ou com peso por eixo superior ao fixado pelo fabricante. Já o art.101 estabelece que aos veículos para carga indivisível que não se enquadrem nos limites de pesos e dimensões estabelecidos pelo Contran, poderá ser concedida pela autoridade com circunscrição sobre a via, autorização especial de trânsito, com prazo certo, válida para cada viagem, atendidas as condições de segurança julgadas

necessárias. Este artigo também dá poderes ao Contran para regulamentar o uso dos pneus extralargos. Com base no CTB, o Contran baixou a Resolução nº12/98, estabelecendo que o peso bruto total não pode ultrapassar a soma dos pesos por eixo ou 45 t (prevalece o que for menor).

Os pesos por eixo foram mantidos inalterados, ou seja, 6 t por eixo isolado com dois pneus (dianteiro), 10 t para eixo isolado com 4 pneus, 17 t para conjuntos de dois eixo em tandem, 13,5 t para conjunto de dois eixos em tandem, sendo um com apenas dois pneus, 15 t para conjuntos de dois eixos não em tandem e 25, 5 t para conjuntos de três eixos em tandem. Foi introduzido o limite de 12 t para conjuntos de dois eixos direcionais com dois pneumáticos cada. Todos os valores para conjuntos de eixos pressupõem distância entre eixos entre 1,20 e 2,40 m. Para distâncias superiores a 2,40 m, os eixos são considerados isolados.

Para distâncias inferiores a 1,20 m o limite cai para 9,0 t. Nos eixos em tandem, a diferença de peso entre eles não pode exceder 1.700 kg, ou seja, o peso mínimo é 7.650 kg e o máximo é 9.350 kg (média = 8.500 kg). Para os pneus extralargos (wide single), a Resolução nº 62/98 do Contran aumentou o limite de 8 t para 8,5 t por eixo de semirreboques equipados com suspensão pneumática e pneus 385/65R22,5. De acordo com a Resolução 12, ônibus com pesos excedentes fabricados e licenciados até 13/11/96 podem circular até o fim da vida. No entanto, nenhum veículo pode transitar com peso por eixo ou PBTC superior ao fixado pelo fabricante nem ultrapassar a CMT da unidade (artigo 100 do CTB). Além disso, os pneus de um mesmo conjunto de eixos devem ser da mesma rodagem e calçarem rodas do mesmo diâmetro. Continua em vigor a ata 3.733/93 de reunião do Contran que suspendeu a pesagem por eixo em balanças

estáticas dos veículos que transportam grânéis líquidos, mas manteve a pesagem em balanças dinâmicas. Para se determinar o peso bruto, por exemplo, de um conjunto de cavalo 4x2 e carreta de 3 eixos, somam-se o limite do eixo dianteiro (6 t) como eixo trator (10 t) e o tandem triplo da carreta (25,5 t), o que totaliza 41,5 t. 4 Se os eixos da carreta tivessem distância superior a 2,40 m (Vanderléia), as 25,5 t seriam substituídas por 30 t, obtendo-se 46 t. Prevalece, no caso o limite de peso bruto de 45 t. Da mesma forma, se o cavalo fosse 6x2 ou 6x4, as 10 t do eixo trator seriam substituídas por 17 t, obtendo-se 48,5 t. Prevalece também o limite de peso bruto de 45 t.

3 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

3.1 CONSIDERAÇÕES INICIAIS

O projeto se trata da análise de um implemento rodoviário para transporte de carga. Dessa forma, é fundamental o conhecimento das propriedades dos materiais aplicados, bem como o de Resistência dos Materiais para garantir a funcionalidade e segurança do equipamento. Também será abordado o Método de Elementos Finitos, que nos dá uma visão geral de como as tensões estão distribuídas no equipamento, facilitando a análise da estrutura.

3.2 PROPRIEDADES DOS AÇOS

De acordo com Pfeil & Pfeil (2000) as características comuns a todos os tipos de aço estrutural na faixa normal de temperatura atmosférica são:

- a) Ductilidade: É a capacidade de o material se deformar sob a ação de cargas sem sofrer ruptura. Esse mecanismo é dado através da deformação plástica do metal, causando uma redistribuição das tensões.
- b) Fragilidade: É o oposto da ductilidade. A falta de ductilidade pode originar-se de temperatura baixa, estado triaxial de tensões, efeito de encruamento, fragilização por hidrogênio, etc.
- c) Resiliência e Tenacidade: Estas duas propriedades estão ligadas diretamente com a capacidade do metal de absorver energia mecânica. Sendo a resiliência a capacidade de absorver energia mecânica em regime elástico, já a tenacidade é a energia total até a fratura, ambas por unidade de volume de material.
- d) Dureza: Esta propriedade é definida como a resistência ao risco ou abrasão.
- e) Fadiga: É a capacidade do aço a resistir a esforços repetidos em grande número.

3.2.1 PROPRIEDADES DOS AÇOS ESTRUTURAIS UTILIZADOS

Aço A-36: O aço A-36 possui boa soldabilidade e baixo custo, sendo amplamente utilizado como aço estrutural, máquinas e implementos rodoferroviários. Tal aço é normatizado pela ASTM A-36, possuindo as seguintes propriedades:

Tabela 1: Propriedades do aço A-36

ASTM			
Grau do Aço	Limite Escoamento Mínimo (MPa)	Resistência à Tração (MPa)	Alongamento Mínimo após Ruptura $L_0 = 200 \text{ mm}$ (%)
A-36	250	400-560	23
A-572 Grau 50	345	450 mín.	21
A-572 Grau 60	415	520 mín.	18
A-588	345	485 mín.	21

Fonte: <http://longos.arcelormittal.com.br/>

API N-80: Esse aço é comumente utilizado em tubos de extração de petróleo, haja visto sua resistência à corrosão e mecânica, resistindo à pressões internas requeridas na extração.

Tabela 2: Propriedades do aço API N-80

Série	Aplicação	Grau	Tipo	Limite de escoamento		Resistência à tração
				Mínimo psi (MPa)	Máximo psi (MPa)	Mínimo psi (MPa)
API	Grupo 1	H40		40,000 (276)	80,000 (552)	60,000 (414)
		J55		55,000 (379)	80,000 (552)	75,000 (517)
		K55		55,000 (379)	80,000 (552)	95,000 (655)
		N80	1 Q	80,000 (552) 80,000 (552)	110,000 (758) 110,000 (758)	100,000 (689) 100,000 (689)
		R95		95,000 (655)	110,000 (758)	105,000 (724)
	Grupo 2	M65		65,000 (448)	85,000 (586)	85,000 (586)
		L80	1 13Cr	80,000 (552) 80,000 (552)	95,000 (655) 95,000 (655)	95,000 (655) 95,000 (655)
		C90	1	90,000 (621)	105,000 (724)	100,000 (689)
		T95	1	95,000 (655)	110,000 (758)	105,000 (724)
		C110		110,000 (758)	120,000 (828)	115,000 (793)
	Grupo 3	P110		110,000 (758)	140,000 (965)	125,000 (862)
	Grupo 4	Q125	1	125,000 (862)	150,000 (1,034)	135,000 (931)

Fonte: <http://www.jfe-steel.co.jp/>

USI-LN 600(ou LNE 60): Esse aço é um laminado à quente. Possuem alta conformabilidade e soldabilidade, bem como boa resistência à fadiga. Ele é empregado comumente em componentes automotivos.

Tabela 3: Propriedades do aço LNE 60

Especificação	Grau	Faixa de Espessura (mm)	Composição Química (% em massa)						Propriedades Mecânicas						Dobramento % mín. a 180°
									Ensaio de Tração			Alongamento			
			C	Mn	Si	P	S	Outros	Direção	LE (MPa)	LR (MPa)	Espessura (mm)	BM (mm)	%	
NBR6656 LNE	380	2,00~13,00	0,12 máx.	1,60 máx.	0,35 máx.	0,025 máx.	0,015 máx.	Al 0,015% mín.	Transversal	380~530	460~600	5,65		23	0,0 E
USILN	380	2,00~13,00	0,12 máx.	1,10 máx.	0,30 máx.	0,030 máx.	0,030 máx.	-	Transversal	380~540	460~620	-	5,65-	20	0,0 E
	600		0,15 máx.	2,00 máx.	0,40 máx.		0,015 máx.				≥600	≥680		-	

Fonte: <http://www.benafer.com.br/>

3.2.2 TENSÕES E DEFORMAÇÕES

De acordo com Beer & Johnston(2011), o principal objetivo do estudo da mecânica dos materiais é proporcionar ao futuro engenheiro os meios para analisar e projetar várias máquinas e estruturas portadoras de carga.

Tanto a análise quanto o projeto de uma dada estrutura envolvem a determinação das tensões e deformações.

Segundo Hibbler(2008), a tensão normal é a intensidade da força, ou força por unidade de área que atua no sentido perpendicular a área. A tensão normal de engenharia que é dada por:

$$\sigma = \frac{F}{A_0} \quad (1)$$

Ainda, de acordo com Hibbler(2008), quando uma força é aplicada a um corpo, tende a mudar a forma e o tamanho dele. Tais mudanças são denominadas deformação. A deformação normal é matematicamente descrita por:

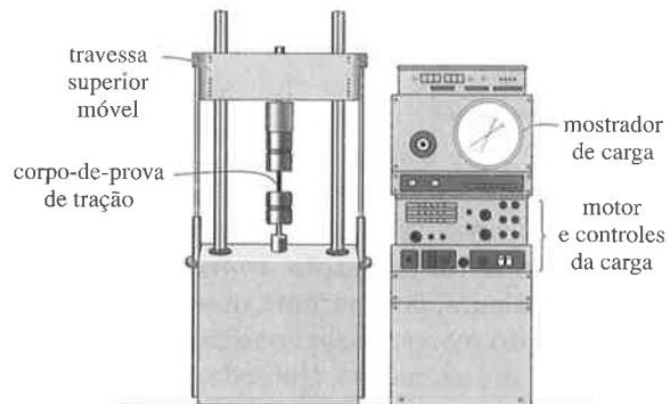
$$\epsilon = \frac{\Delta l}{l_0} \quad (2)$$

3.2.3 DIAGRAMA TENSÃO-DEFORMAÇÃO

De acordo com Hibbler(2008), o diagrama tensão-deformação é a curva resultante gerada com os dados do teste de tração ou compressão, onde calcula-se diversos valores de tensão e deformação correspondente no corpo-de-prova e, depois, construindo um gráfico com tais resultados..

Antes do teste são feitas duas pequenas marcas de punção ao longo do comprimento do corpo-de-prova, distantes de ambas as extremidades, porque a distribuição de tensão nas extremidades é complexa devido à fixação nos acoplamentos em que a carga é aplicada. Uma máquina de testes, como a mostrada na Figura 17 é então usada para estirar o corpo-de-prova com taxa muito lenta e constante até a ruptura.

Figura 17 - Máquina para teste de tração

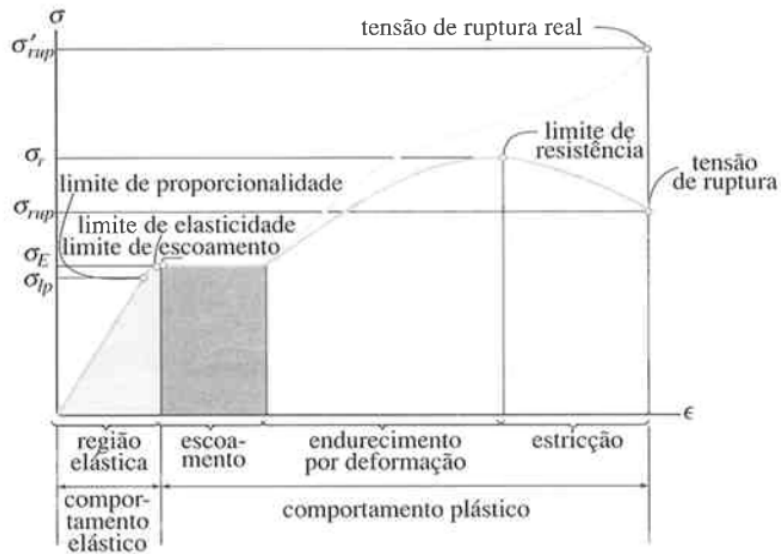


Fonte: Hibbler(2008)

Com os dados registrados, determinados a tensão convencional dividindo a carga aplicada P pela área da seção transversal inicial do corpo-de-prova A_0 . Já no caso de

considerarmos as medidas reais ao invés das iniciais teríamos o diagrama real. A diferença pode ser vista na Figura 18 abaixo:

Figura 18 - Diagrama tensão-deformação convencional e real para um material dúctil



Diagramas tensão-deformação convencional e real para material dúctil (aço) (sem escala)

Fonte: Hibbler(2008)

Segundo Hibbler(2008), os diagramas tensão-deformação para a maioria dos materiais da engenharia apresentam relação linear entre a tensão e deformação na região de elasticidade. Consequentemente, um aumento na tensão provoca um aumento proporcional na deformação. Esse fato, é conhecido como lei de Hooke, expressa por:

$$\sigma = E\epsilon \quad (3)$$

Onde, E = módulo de elasticidade ou módulo de Young do material.

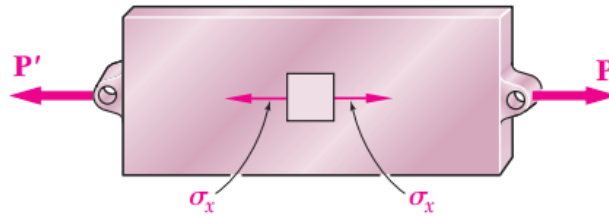
Ultrapassado o regime elástico, o material apresenta deformação plástica, seguido então por endurecimento causado pela deformação. Ao atingir o limite de resistência, a área da seção transversal começa a diminuir em uma região localizada. Como a área da seção transversal está decrescendo, a tensão tende a aumentar cada vez mais rápido, fazendo com que o diagrama tensão deformação tende a curvar-se para baixo até que o corpo-de-prova quebre com a tensão de ruptura.

De acordo com Pfeil e Pfeil (2000) o escoamento produz uma deformação visível da peça ou estrutura. Por esse motivo, a teoria elástica de dimensionamento utiliza o limite de escoamento como tensão limite, da qual se obtém a tensão admissível com um fator de segurança adequado.

3.2.4 CRITÉRIO DE FALHA PARA MATERIAIS DÚCTEIS

Segundo Beer & Johnston(2011), os elementos estruturais e componentes de máquinas feitos com material dúctil geralmente são projetados de modo que o material não escoe sob as condições esperadas de carregamento. Quando o elemento ou componente está sob um estado de tensão uniaxial(Fig. 19), o valor da tensão normal σ_x que fará o material escoar pode ser obtido facilmente por um ensaio de tração executado em um corpo de prova do material, pois o corpo de prova e o elemento estrutural estão sob o mesmo estado de tensão. Assim, independentemente do mecanismo real que faz o material escoar, podemos dizer que o elemento ou componente estará seguro desde que $\sigma_x < \sigma_E$, em que σ_E é a tensão de escoamento do material do corpo de prova.

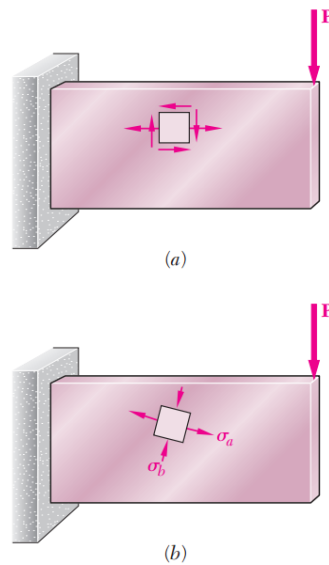
Figura 19 - Componente sob estado uniaxial de tensão



Fonte: Beer & Johnston(2011)

Ainda, segundo Beer & Johnston(2011), quando um elemento estrutural ou componente da máquina está em um estado plano de tensão(Fig. 20a), considera-se conveniente determinar as tensões principais σ_a e σ_b em um dado ponto(Fig. 20b). O material pode então ser considerado como estando em um estado de tensão biaxial naquele ponto. Como esse estado é diferente do estado de tensão uniaxial encontrado em um corpo de prova submetido a um ensaio de tração, fica claro que não é possível prever diretamente se o elemento estrutural ou componente de máquina que está sendo investigado falhará ou não. Será necessário primeiro estabelecer algum critério de falha do material, que permitirá comparar os efeitos de ambos os estados de tensão do material.

Figura 20 - Componente sob estado plano de tensões



Fonte: Beer & Johnston(2011)

3.2.4.1 TENSÃO EQUIVALENTE DE VON MISES

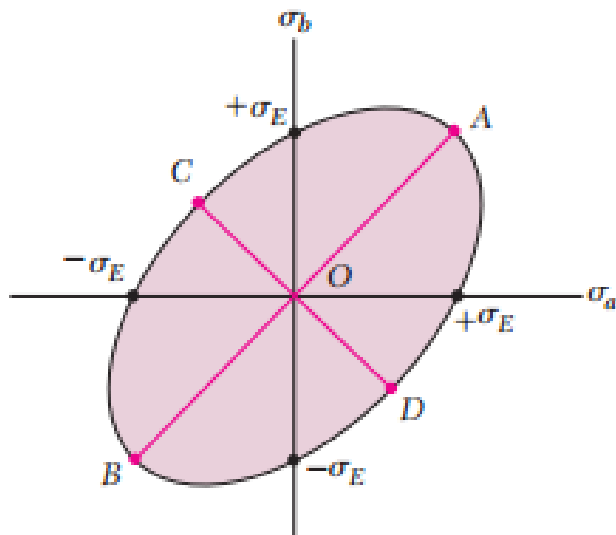
De acordo com Beer & Johnston(2011), esse critério, também conhecido como critério da energia de distorção máxima, baseia-se na determinação da energia de distorção de um material, isto é, da energia associada a variações de forma do material. Segundo esse critério, um componente estrutural está seguro desde que o valor máximo da energia de distorção por unidade de volume do material permaneça menor que a energia de distorção por unidade de volume necessária para provocar escoamento em um corpo de prova do mesmo material, em um ensaio de tração.

Para um material isotrópico submetido a um estado plano de tensões, a equação que dita tal critério é dada por:

$$\sigma_a^2 - \sigma_a * \sigma_b + \sigma_b^2 < \sigma_E^2 \quad (2)$$

Que pode ser graficamente representado pela área limitada da elipse, conforme a Figura 21:

Figura 21 - Critério da energia de distorção máxima descrito graficamente



Fonte: Beer & Johnston(2011)

3.3 MÉTODO DOS ELEMENTOS FINITOS

Muitas vezes os problemas de engenharia se tornam bem complexos do ponto de vista matemático, porém, com um bom entendimento da natureza do sistema à ser resolvido, o engenheiro pode obter uma solução aproximada para tais problemas complexos via método dos elementos finitos.

Tal método fornece resultados de tensão, deformação e deslocamento de uma estrutura, equipamento ou produto sob análise. Falando de outra maneira, ela nos fornece resultados utilizados para identificar a durabilidade do componente, identificar pontos de concentração de tensão, entender o comportamento da estrutura diante de um carregamento e fazer com que possamos otimizar peças antes mesmo de fabricá-las. Não é à toa que hoje em dia todas as grandes indústrias de desenvolvimento de produtos possuem softwares de análise de elementos finitos como base e apoio para a engenharia de produto.

3.3.1 IDEALIZAÇÃO DE SISTEMAS

Segundo Avelino(2013), devido à limitação da mente humana, ela não consegue compreender o comportamento dos sistemas ao seu redor e os fenômenos em uma única operação. É próprio da natureza humana querer subdividir os sistemas complexos em seus componentes individuais, ou seja, em seus elementos.

Sendo assim para resolver um problema estrutural de uma estrutura complexa é necessário subdividi-la em várias partes, estudar e conhecer o comportamento de cada parte para assim se entender o comportamento do conjunto, ou seja, compreender o todo entendido as partes.

3.3.2 TIPOS DE SISTEMAS

Segundo Álvaro F. M. Azevedo(2003), as estruturas podem ser classificadas quanto à sua geometria como reticuladas, laminares ou sólidas. Estas últimas são as mais genéricas, sendo classificadas como sólidas as que não apresentarem características que as permitam enquadrar no grupo das laminares ou das reticuladas.

As estruturas laminares são as que se desenvolvem para ambos os lados de uma superfície média, mantendo-se na sua vizinhança. É o caso de uma lâmina cuja espessura é muito inferior às restantes dimensões. Quando a superfície média é plana, a estrutura laminar pode ser classificada como parede, laje ou casca plana. Uma parede apenas se encontra sujeita a ações paralelas ao seu plano médio. Uma laje pode ter aplicadas forças perpendiculares ao plano médio e momentos cujo vector está contido no plano médio. Uma estrutura laminar plana sujeita a outros tipos de ações é designada casca plana. Quando a superfície média não é plana, tem-se uma casca tridimensional.

As estruturas reticuladas são as constituídas por barras prismáticas, cujas dimensões transversais são muito menores do que o comprimento do respectivo eixo. Neste tipo de estruturas é habitual distinguir os pórticos das treliças, conforme é ou não considerada a compatibilidade de rotações nas extremidades de barras adjacentes.

É possível tratar com grande eficiência uma classe de problemas de análise de estruturas designados assimétricos. Estes ocorrem quando a estrutura é um sólido de revolução e as ações são todas assimétricas em relação ao mesmo eixo. Neste tipo de problemas é ainda possível distinguir o caso do sólido de revolução do caso da lâmina de revolução.

Será também tratado como um caso particular a análise de uma estrutura que consiste num sólido cuja geometria a ações se repetem indefinidamente ao longo de um eixo retilíneo. Trata-se do estado plano de deformação, que pode ser estudado com base numa geometria bidimensional.

3.3.3 ANÁLISE DE ELEMENTOS FINITOS VIA SOLID EDGE

O Solid Edge é um portfólio de ferramentas de software que aborda todos os aspectos do processo de desenvolvimento de produto - desenho 3D, simulação, manufatura, gestão de projeto. A versão utilizada para a execução e análise do projeto aqui desenvolvido é a ST 8. No ambiente de desenho tridimensional do Solid Edge, foram desenhadas todas as peças principais do equipamento composto predominantemente por vigas de perfil “I” padrão e americano e perfil “U” padrão americano.

Para executar a simulação via método dos elementos finitos, foi usado o ambiente de simulação conhecido como Solid Edge Simulation. O Solid Edge Simulation é um programa de elementos finitos usado por engenheiros de projeto para validar digitalmente peças e montagens de projetos dentro do ambiente do Solid Edge. Baseado no Femap com tecnologia avançada de elementos finitos e usando como solver o NX Nastran, o Solid Edge Simulation reduz significativamente a necessidade de protótipos físicos, o que reduz os custos de material e de testes, e economiza tempo de design.

Com o Solid Edge Simulation é possível criar modelos de elementos finitos para estruturas sólidas e chapa de metal automaticamente, bem como fazer ajustes para refinar a malha para melhorar a precisão dos resultados. Para montagens, Solid Edge

Simulation oferece detecção automática de cotas e configura a interação de componentes realistas, incluindo linear iterativo e contato colado.

O Solid Edge Simulation fornece todas as definições de condição de contorno que se precisa para modelar ambientes operacionais realistas para análise. Com o Solid Edge Simulation pode-se investigar análises estáticas, determinação das frequências naturais da estrutura, e descobrir se ela pode suportar condições de carga esperadas sem deformação.

4 ANÁLISE ESTRUTURAL

A análise estrutural do equipamento, realizada no ambiente de simulação programa Solid Edge ST8, leva em conta as possíveis condições de carregamento impostas ao equipamento quanto o mesmo é submetido às operações em campo.

Conforme o relato dos usuários e fabricante do equipamento, foram montados os casos para a análise. O Peso Bruto Total Técnico (PBT Técnico), peso máximo que o caminhão pode transmitir ao pavimento, constituído da soma da Tara (o peso próprio do veículo, acrescido dos pesos da carroceria e/ou equipamento, do combustível, das ferramentas e dos acessórios, da roda sobressalente, do extintor de incêndio e do fluido de arrefecimento, expressa em quilogramas) mais a Lotação (carga útil máxima incluindo condutor e passageiros que o veículo pode transportar, expressa em quilogramas, para os veículos de carga; ou número de pessoas, para os veículos de transporte coletivo), de acordo com o fabricante- é equivalente à 34.000 kg. Logo a Lotação Técnica seria de 24.000 kg.

Entretanto, de acordo com a Resolução CONTRAN nº 290 de 2008, para o veículo de 3 eixos (conforme o analisado neste projeto) o PBT Legal é de 23.000 kg. Portanto para o caso analisado, a carga máxima legal (Lotação) que o equipamento poderia ser submetido, seria a de 13.000 kg.

Como o equipamento é utilizado em aplicações fora de estrada, julgou-se necessário trabalhar com a Lotação técnica proposta pelo fabricante, que equivale à 24.000kg.

A seguir, são abordados os casos criados para testar o equipamento de acordo com a Lotação técnica disponibilizada pelo fabricante.

4.1 O EQUIPAMENTO ANALISADO

O Caminhão Plataforma para Campo de Petróleo analisado neste trabalho, é um equipamento fabricado sob medida por uma pequena metalúrgica para fins de atender a demanda de clientes que executam operações de perfuração e completção de poços de petróleo no norte do estado do Espírito Santo. O equipamento consiste basicamente dos mesmos equipamentos que os Oilfield Bedtrucks que operam ao redor do mundo tem: Rolete para auxiliar a movimentação da carga, guincho redutor de alta capacidade e uma plataforma robusta para acomodação da carga. As figuras abaixo mostram detalhes do equipamento a ser analisado:

Figura 22 - Equipamento a ser analisado



Fonte: Própria

Figura 23 - Detalhe do fundo do equipamento - Rolete e parachoq
ue



Fonte: Própria

Figura 24 - Detalhe Rolete Auxiliar



Fonte: Própria

Figura 25 - Plataforma à ser soldada



Fonte: Própria

Os materiais utilizados foram:

Longarina do implemento: Aço A-36

Rolete: API N-80

Longarina do caminhão: LNE-60

Os desenhos da longarina do implemento e do fundo do equipamento podem ser vistas nos anexos A e B.

4.2 FORMAS DE CARREGAMENTO

O skid é um equipamento alojador largamente utilizado na indústria de petróleo para alojar os diversos equipamentos utilizados nas operações de exploração e produção de poços de petróleo. O skid consiste basicamente de uma estrutura de aço reforçada para acomodar os diversos tipos de equipamentos montados sobre ele. Com o skid, a movimentação desses equipamentos se torna simples.

A figura 26 abaixo mostra um skid (pintado na cor branca) utilizado para acomodar um manifold (conjunto de tubulações e válvulas pintados na cor amarela).

Figura 26 - SKID utilizado para acomodar um Manifold



Fonte: <http://tsifabrication.com/manifolds.php>

Nas diversas operações as quais o Caminhão Plataforma para Campo de Petróleo é submetido, tem-se à necessidade de movimentar SKID's que acomodam diversos equipamentos como tanques de lama, bombas de lama, tanques de separação de gás, compressores, moto geradores, containers de alojamento, unidades geradoras de vapor entre outros. A figura 27 mostra a movimentação de um SKID acomodando um conjunto diverso de equipamentos.

Figura 27 - OilField BedTruck movimentando um SKID com equipamentos diversos

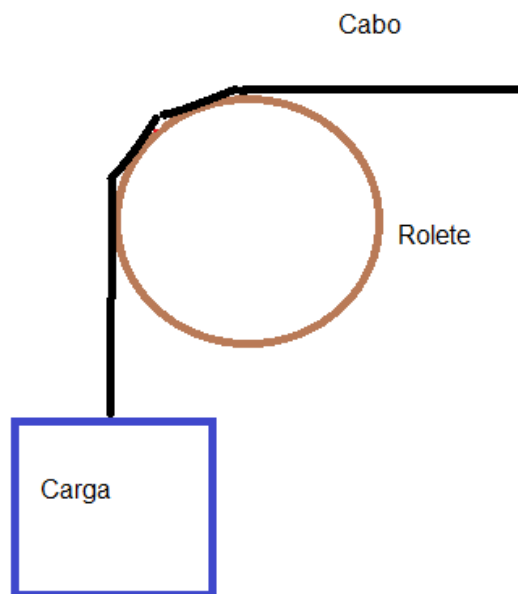


Fonte: <http://www.gomcmag.com>

Em se tratando de possibilidades para as cargas atuantes no OilField BedTruck, quando um equipamento é puxado do solo à plataforma do caminhão por um ou dois ou mais

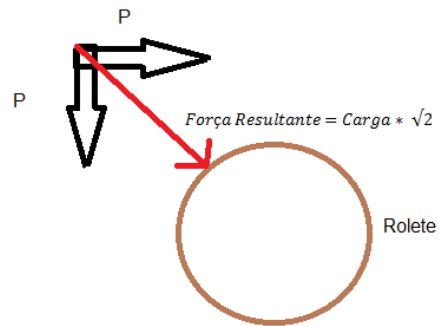
cabos, essa operação pode resultar no aparecimento de uma, duas ou mais cargas concentradas no meio do rolete quando a carga começa a ser erguida do solo. Nesta situação, tem-se atuando no rolete a força do cabo em direção ao guincho e a força do cabo em direção à carga sendo erguida, resultando em uma componente de força dada por: $Força\ Resultante = Carga * \sqrt{2}$

Figura 28 - Carga iniciando a subida no caminhão



Fonte: Própria

Figura 29 - Representação da força resultante



Fonte: Própria

A figura 30 mostra a situação de carregamento por um único cabo.

Figura 30 - Situação de carregamento por único cabo



Fonte: <http://cyberspaceandtime.com>

A figura 31 mostra a situação de carregamento por afiação de dois cabos na carga.

Figura 31 - Situação de carregamento pelo uso de dois cabos



Fonte: www.youtube.com

Para situações as quais a carga que passa pelo rolete é o SKID ou outra estrutura de grande dimensão, tem-se um carregamento distribuído sobre a estrutura.

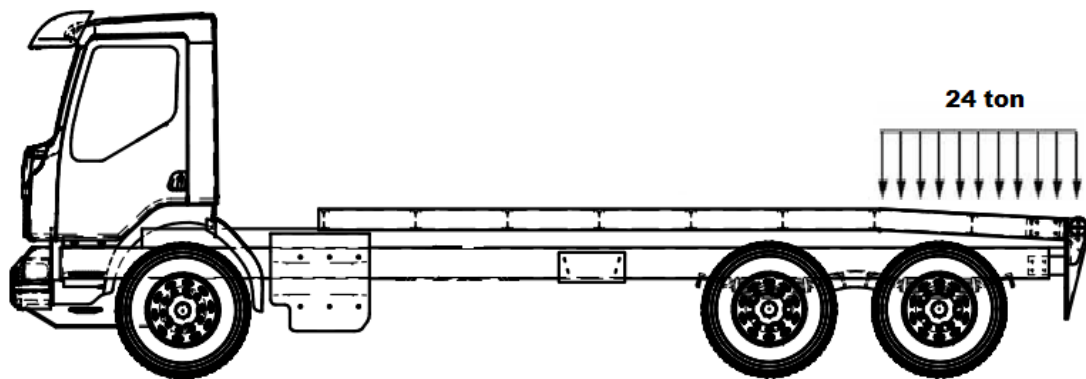
Os carregamentos sobre o assoalho da plataforma são predominantemente carregamentos distribuídos.

4.3 ANÁLISE DA PLATAFORMA

4.3.1 CASO 1 DE CARREGAMENTO NA PLATAFORMA

A figura 32, descreve esquematicamente como foi aplicada a carga de 24 toneladas sobre as duas longarinas do implemento.

Figura 32 - Carregamento Plataforma Caso 1

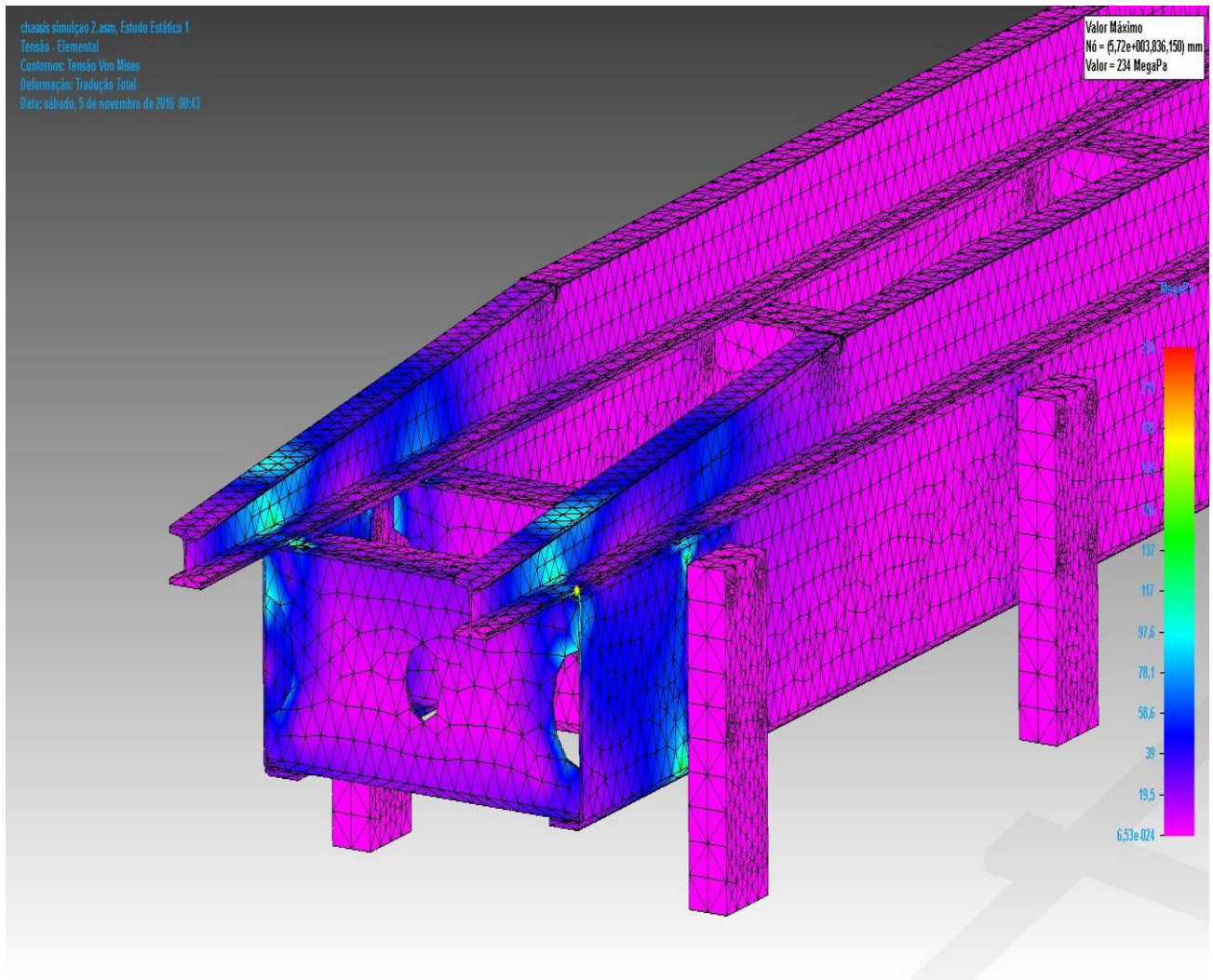


Fonte: Própria

A tensão máxima de Von Mises detectada foi de 234 Mpa, portanto sendo menor que a tensão de escoamento de 600 Mpa do LNE-60 utilizado na longarina do caminhão, e menor que a tensão de escoamento de 250 Mpa do A-36 utilizado na longarina do implemento.

A figura 33, mostra a plotagem da tensão de Von Mises resultante do carregamento aplicado.

Figura 33 - Plotagem Tensão de Von Mises Carregamento Caso 1

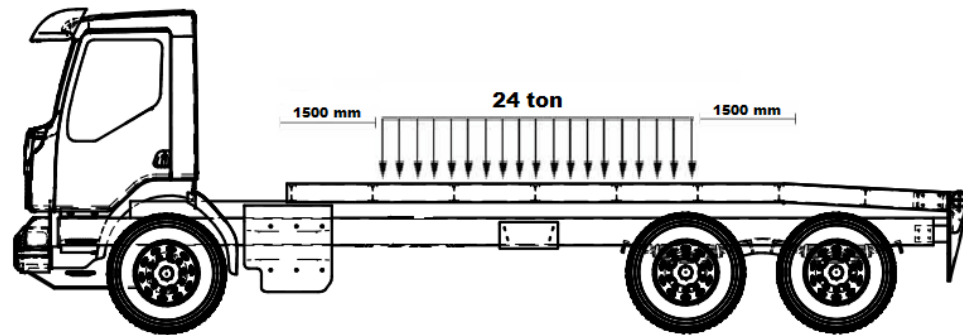


Fonte: Própria

4.3.2 CASO 2 DE CARREGAMENTO NA PLATAFORMA

A figura 34, descreve esquematicamente como foi aplicada a carga de 24 toneladas sobre as duas longarinas do implemento.

Figura 34 - Carregamento Plataforma Caso 2



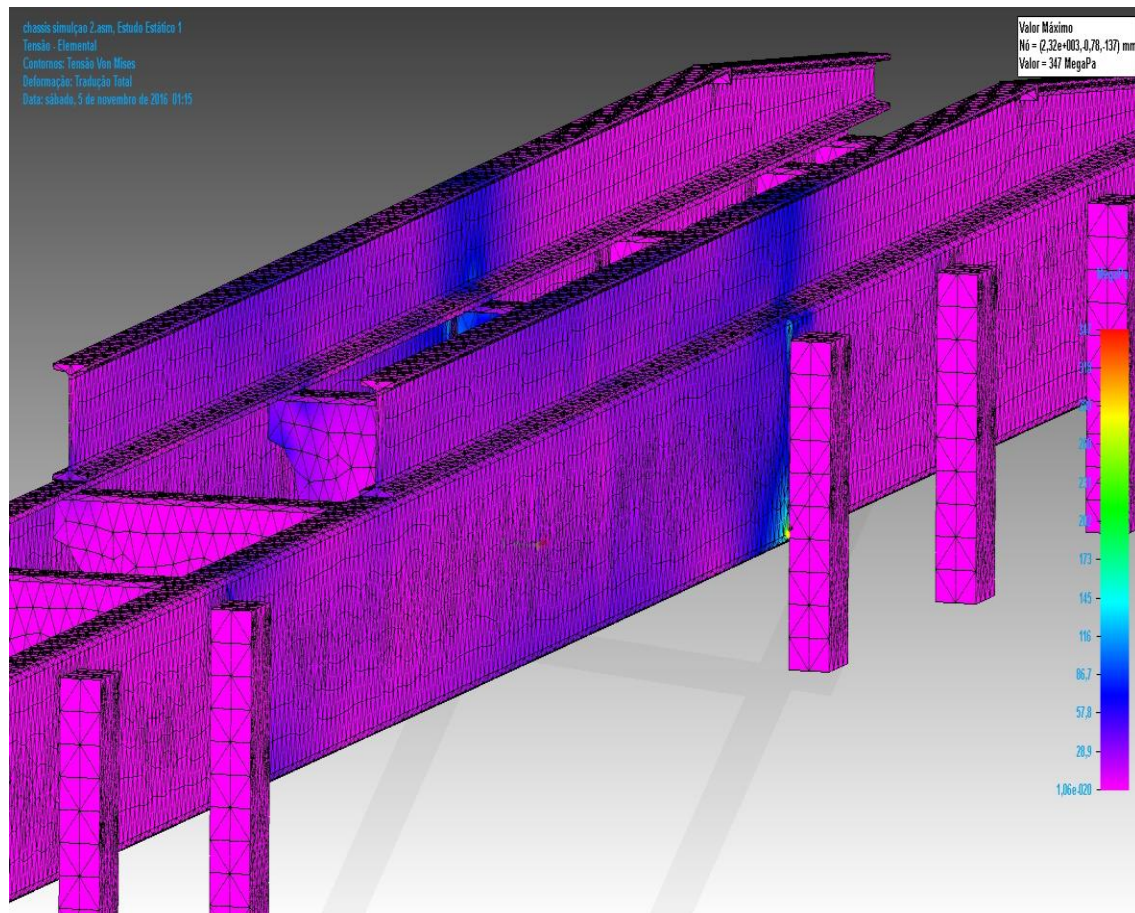
Fonte – Própria

A tensão máxima de Von Mises detectada foi de 347 Mpa, portanto sendo menor que a tensão de escoamento de 600 Mpa do LNE-60 utilizado na longarina do caminhão. Entretanto, maior que a tensão de escoamento de 250 Mpa do A-36 utilizado na longarina do implemento.

Ao analisar a plotagem das tensões de Von Mises, observa-se que a tensão máxima detectada de 347 Mpa ocorre na longarina de Aço LNE-60, e a região da longarina de Aço A-36 sofre tensões menores que a de 250 Mpa.

Figura 35 mostra a plotagem da tensão de Von Mises resultante do carregamento aplicado.

Figura 35 - Plotagem das tensões de Von Mises para o caso 2

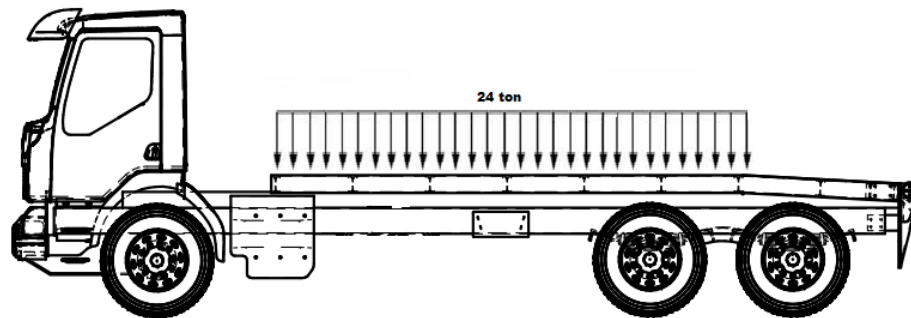


Fonte: Própria

4.3.3 CASO 3 DE CARREGAMENTO NA PLATAFORMA

A figura 36, descreve esquematicamente como foi aplicada a carga de 24 toneladas sobre as duas longarinas do implemento.

Figura 36 - Carregamento Plataforma Caso 3

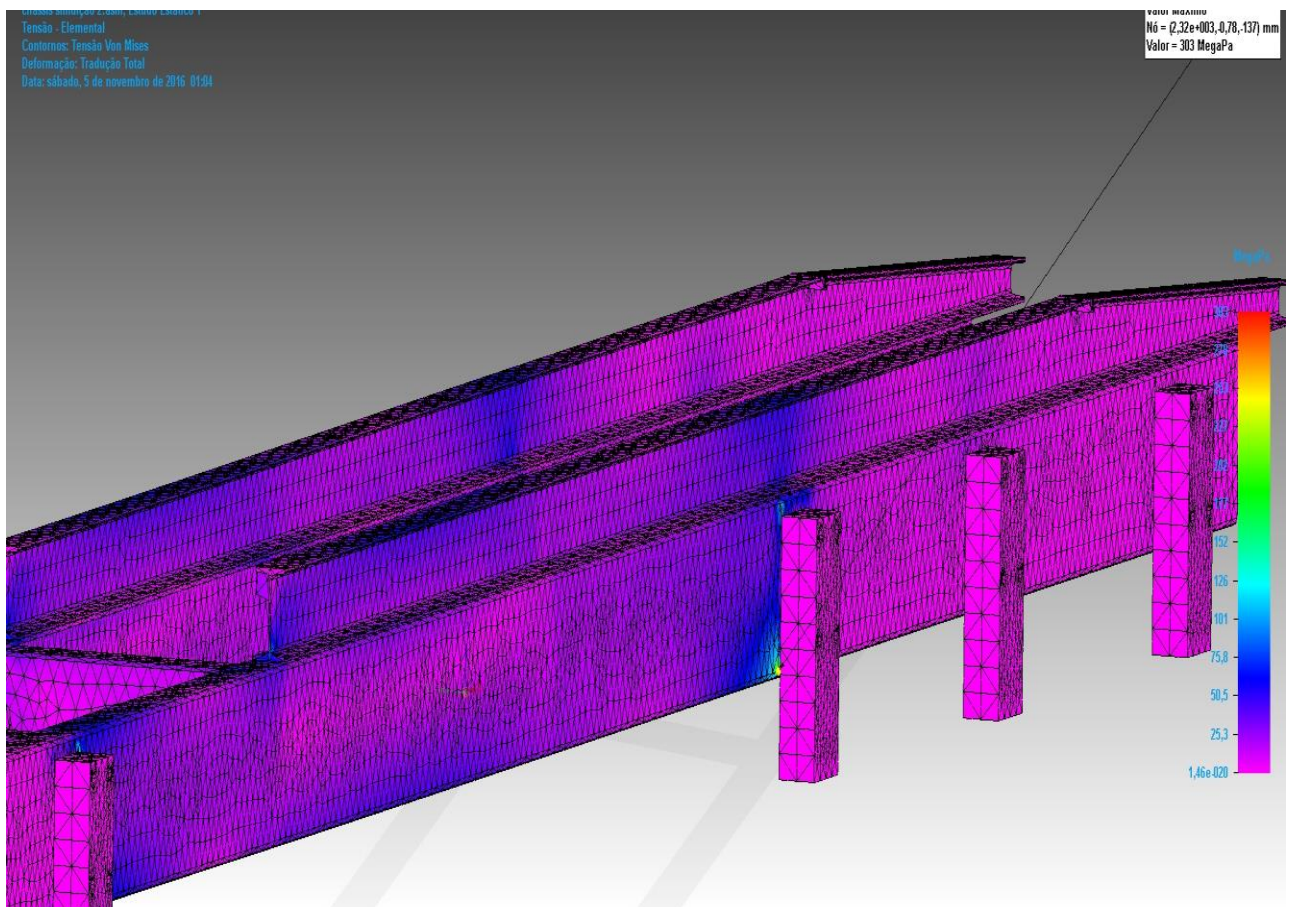


Fonte: Própria

A tensão máxima de Von Mises detectada foi de 303 Mpa, portanto sendo menor que a tensão de escoamento de 600 Mpa do LNE-60 utilizado na longarina do caminhão. Entretanto, maior que a tensão de escoamento de 250 Mpa do A-36 utilizado na longarina do implemento.

Ao analisar a plotagem das tensões de Von Mises, observa-se que a tensão máxima detectada de 303 Mpa ocorre na longarina de Aço LNE-60, e a longarina de Aço A-36 sofre tensões menores que a de 250 Mpa conforme mostra a figura 36 onde foram plotadas as tensões de Von Mises referentes ao carregamento deste caso.

Figura 37 - Plotagem das tensões de Von Mises para o caso 3

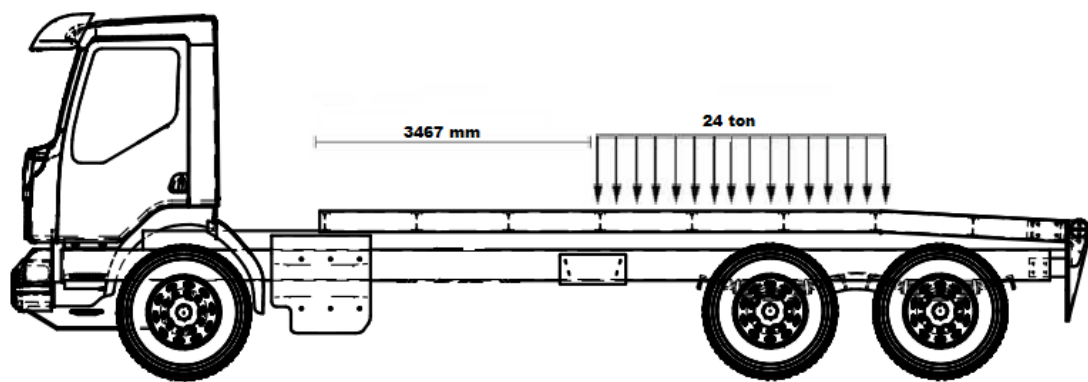


Fonte: Própria

4.3.4 CASO 4 DE CARREGAMENTO NA PLATAFORMA

A figura 38, descreve esquematicamente como foi aplicada a carga de 24 toneladas sobre as duas longarinas do implemento do caso 4.

Figura 38 - Carregamento Plataforma Caso 4

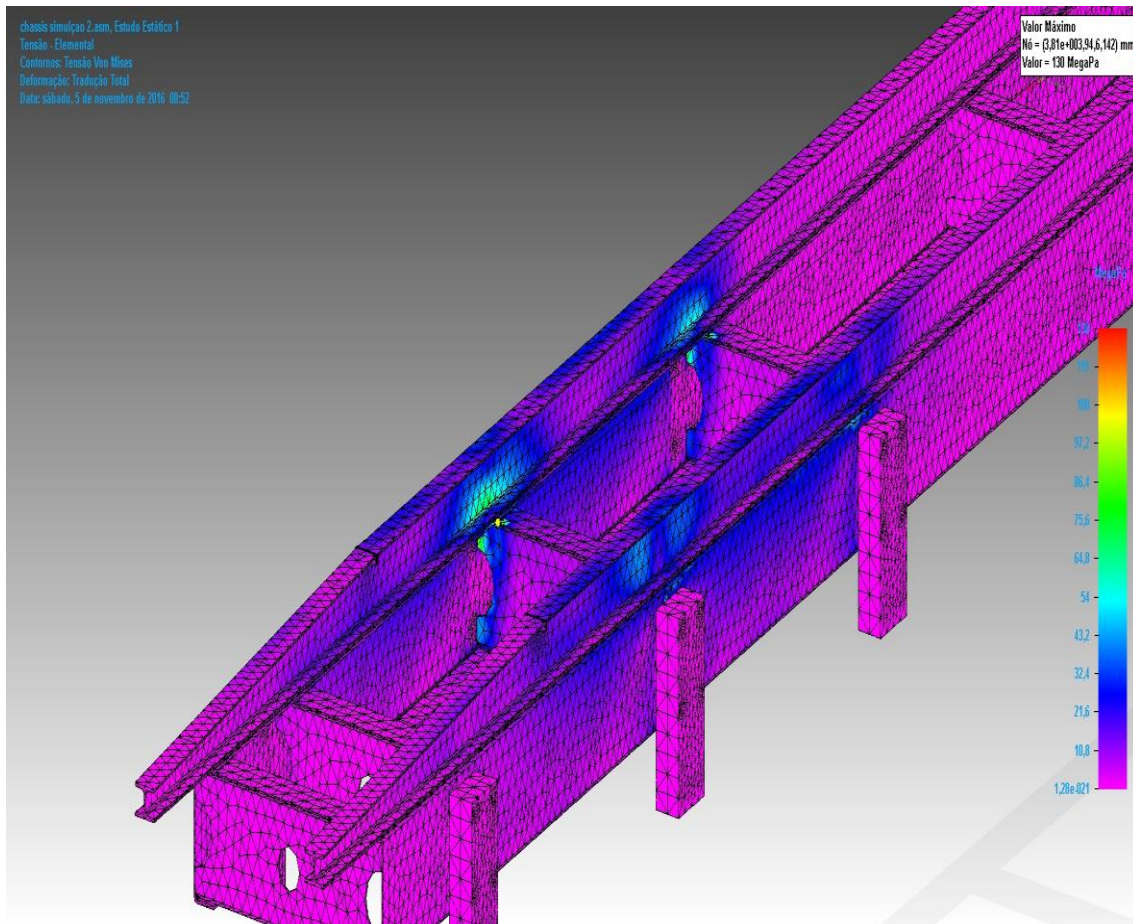


Fonte: Própria

A tensão máxima de Von Mises detectada foi de 130 Mpa, portanto sendo menor que a tensão de escoamento de 600 Mpa do LNE-60 utilizado na longarina do caminhão e menor que a tensão de escoamento de 250 Mpa do A-36 utilizado na longarina do implemento.

A figura 39 mostra as tensões de Von Mises referentes ao carregamento deste caso 4.

Figura 39 - Plotagem das tensões de Von Mises para o caso 4

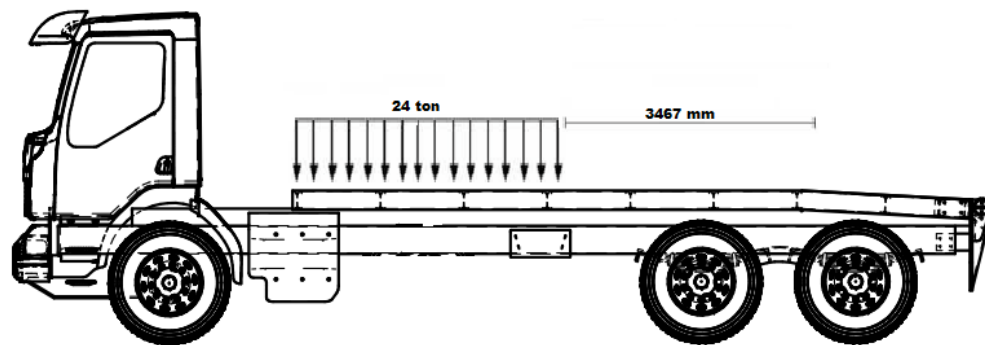


Fonte: Própria

4.3.5 CASO 5 DE CARREGAMENTO NA PLATAFORMA

A figura 40, descreve esquematicamente como foi aplicada a carga de 24 toneladas sobre as duas longarinas do implemento do caso 5.

Figura 40 - Carregamento Plataforma Caso 5

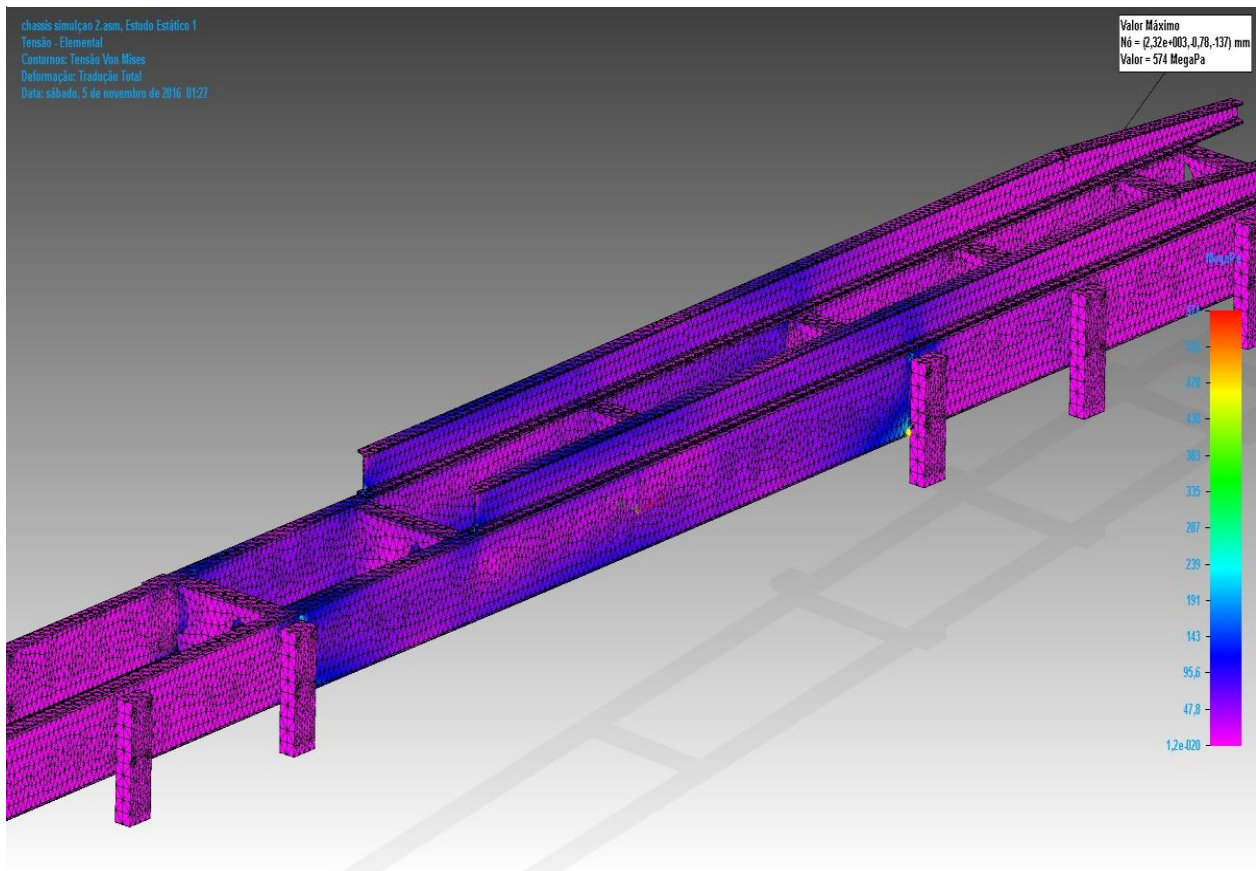


Fonte: Própria

A tensão máxima de Von Mises detectada foi de 574 Mpa, portanto sendo menor que a tensão de escoamento de 600 Mpa do LNE-60 utilizado na longarina do caminhão. Entretanto, maior que a tensão de escoamento de 250 Mpa do A-36 utilizado na longarina do implemento.

Ao analisar a plotagem das tensões de Von Mises, observa-se que a tensão máxima detectada de 574 Mpa ocorre na longarina de Aço LNE-60, e a longarina de Aço A-36 sofre tensões menores que a de 250 Mpa conforme mostra a figura 41 onde foram plotadas as tensões de Von Mises referentes ao carregamento deste caso.

Figura 41 - Plotagem das tensões de Von Mises para o caso 5



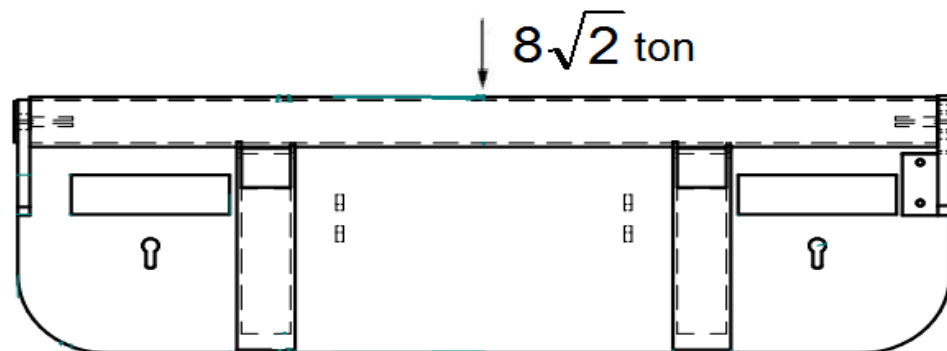
Fonte: Própria

4.4 ANÁLISE DO ROLETE

4.4.1.1 CASO 1 DE CARREGAMENTO DO ROLETE($8\sqrt{2}$ t)

A figura 42 descreve esquematicamente como foi aplicada a carga equivalente de $8\sqrt{2}$ toneladas sobre o rolete. Considerou-se neste caso, o uso de um cabo de 30mm de diâmetro (local onde a força é aplicada).

Figura 42 -Representação de carregamento do rolete



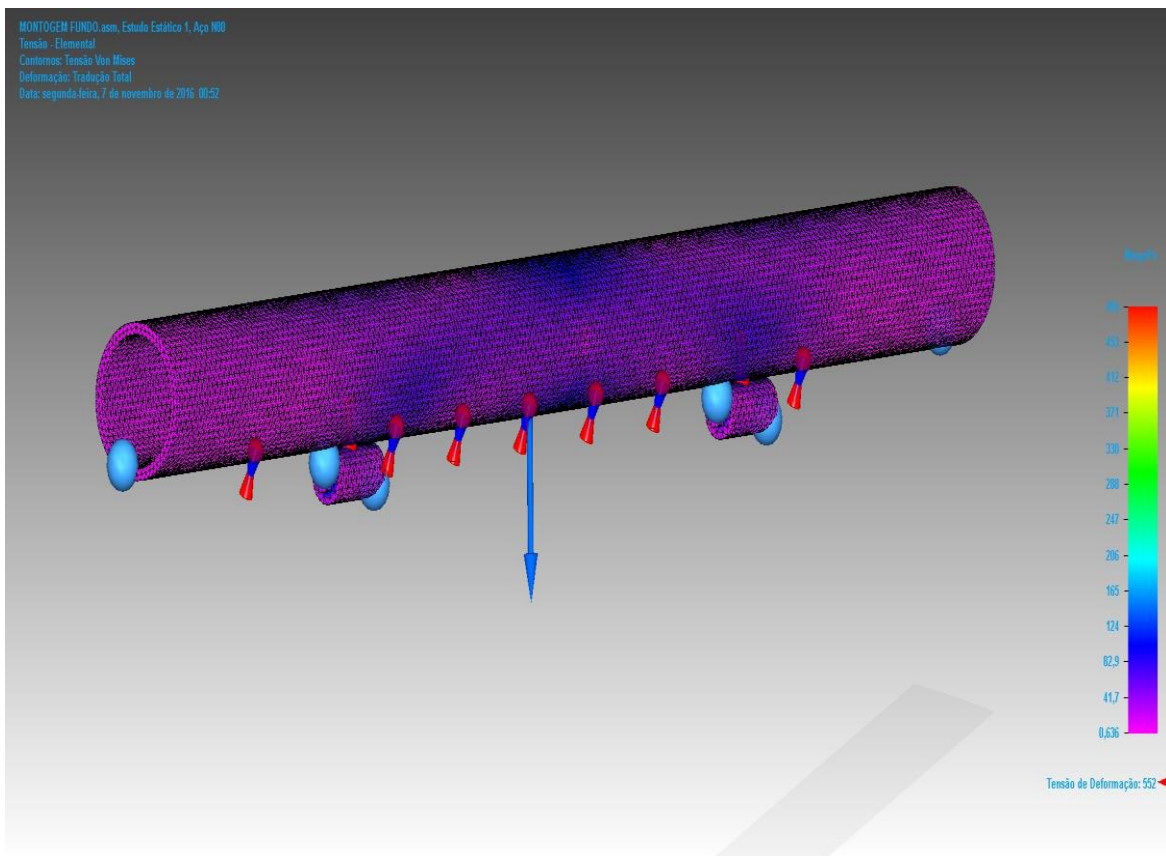
Fonte: Própria

A tensão máxima de Von Mises detectada foi de 494 Mpa, portanto sendo menor que a tensão de escoamento de 552 Mpa do aço N80 o qual o tubo é construído. Observa-se que o aço N-80 normatizado pela API, apresenta 2 valores de tensão de deformação, um valor mínimo de 552 Mpa e um valor máximo de 758 Mpa. Para esta análise, optou-se

pelo uso do menor valor, portanto 552 Mpa. A figura 43 mostra a plotagem das tensões de Von Mises para este caso.

Figura 43 - Plotagem das tensões de Von Mises

Fi

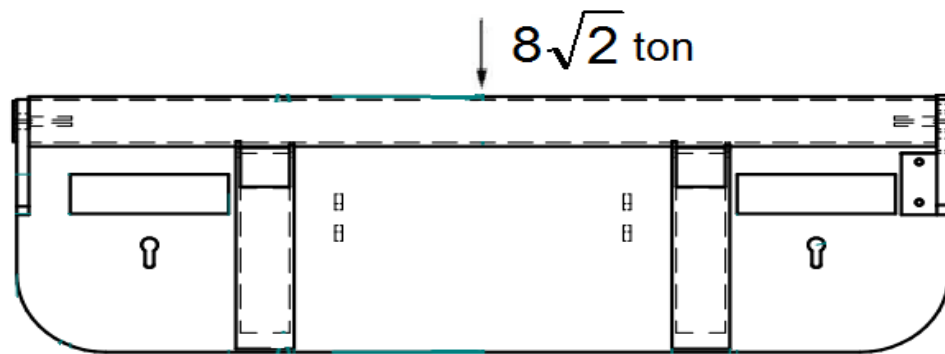


Fonte: Própria

4.4.1.2 CASO 1 DO CONJUNTO TRASEIRO COMPLETO($8\sqrt{2}$ t)

A figura 44 descreve esquematicamente como foi aplicada a carga equivalente de $8\sqrt{2}$ toneladas sobre o rolete. Considerou-se neste caso, o uso de um cabo de 30mm de diâmetro (local onde a força é aplicada).

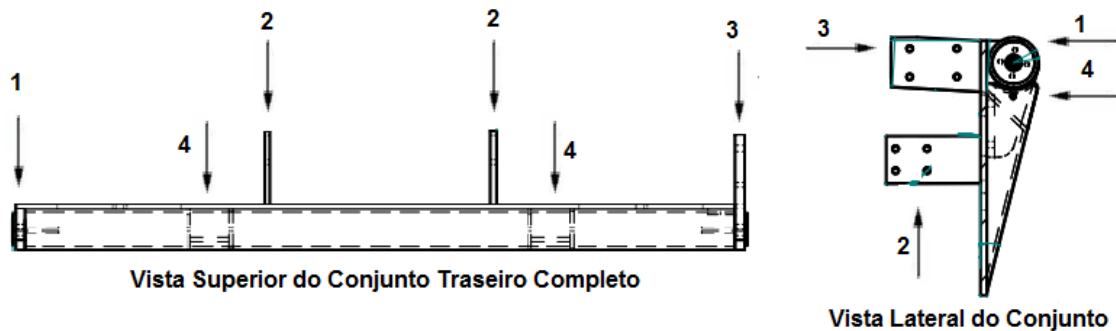
Figura 44 - Esquema de carregamento do conjunto traseiro



Fonte: Própria

Neste caso foram fixados para análise os suportes que ligam o para-choque do implemento à longarina do caminhão, os dois suportes laterais do rolete e os eixos dos roletes de apoio. Estes pontos são representados na figura 45.

Figura 45 - Esquema de carregamento do conjunto traseiro



Fonte: Própria

A figura 45 é composta por:

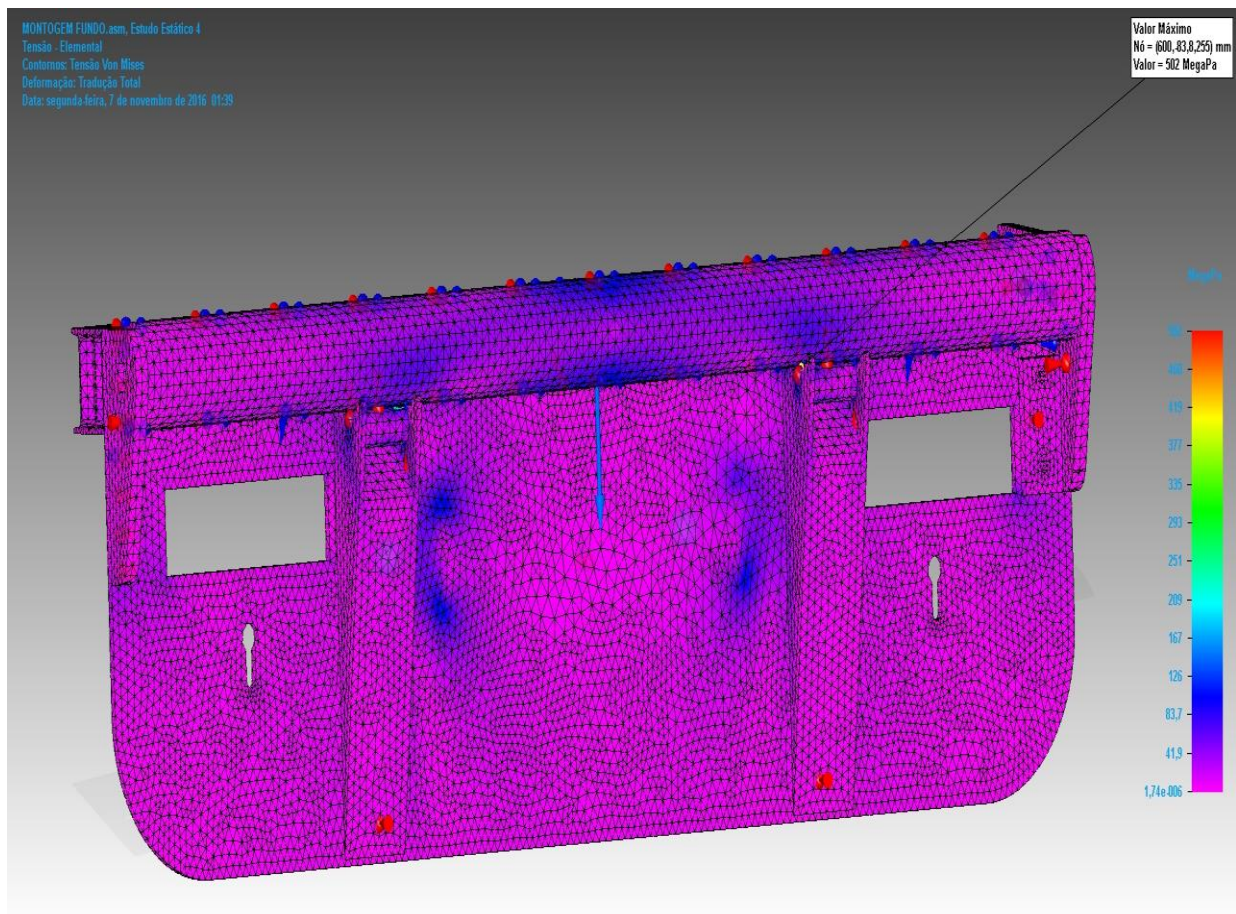
- 1-Suporte Esquerdo do Rolete;
- 2-Suportes do Para-choque Traseiro (Liga o para-choque à longarina do caminhão);
- 3-Suporte Direito do Rolete;
- 4-Eixos dos Roletes de Apoio;

A tensão máxima de Von Mises detectada foi de 502 Mpa, portanto sendo menor que a tensão de escoamento de 552 Mpa do aço N80 o qual o tubo é construído. Observa-se que o aço N-80 normatizado pela API, apresenta 2 valores de tensão de deformação, um valor mínimo de 552 Mpa e um valor máximo de 758 Mpa. Para esta análise, optou-se pelo uso do menor valor, portanto 552 Mpa.

A tensão máxima foi registrada nos pontos em que o Rolete de Aço N-80 encosta nos Roletes de Apoio. No restante da estrutura, foram registradas tensões abaixo de 250

Mpa, portanto menores que a tensão de deformação do Aço A-36 que compõe a estrutura do implemento, e menor que os 600 Mpa do LNE-60 que compões do a longarina do chassi do caminhão.

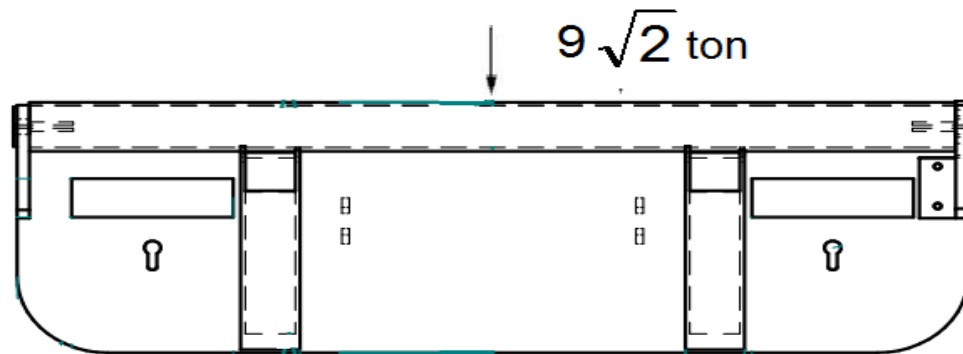
A figura 46 mostra a plotagem das tensões de Von Mises para o conjunto testado. Figura 46 - Plotagem das tensões de Von Mises



Fonte: Própria

A figura 47 descreve esquematicamente como foi aplicada a carga equivalente de $9\sqrt{2}$ toneladas sobre o rolete. Considerou-se neste caso, o uso de um cabo de 30mm de diâmetro (local onde a força é aplicada).

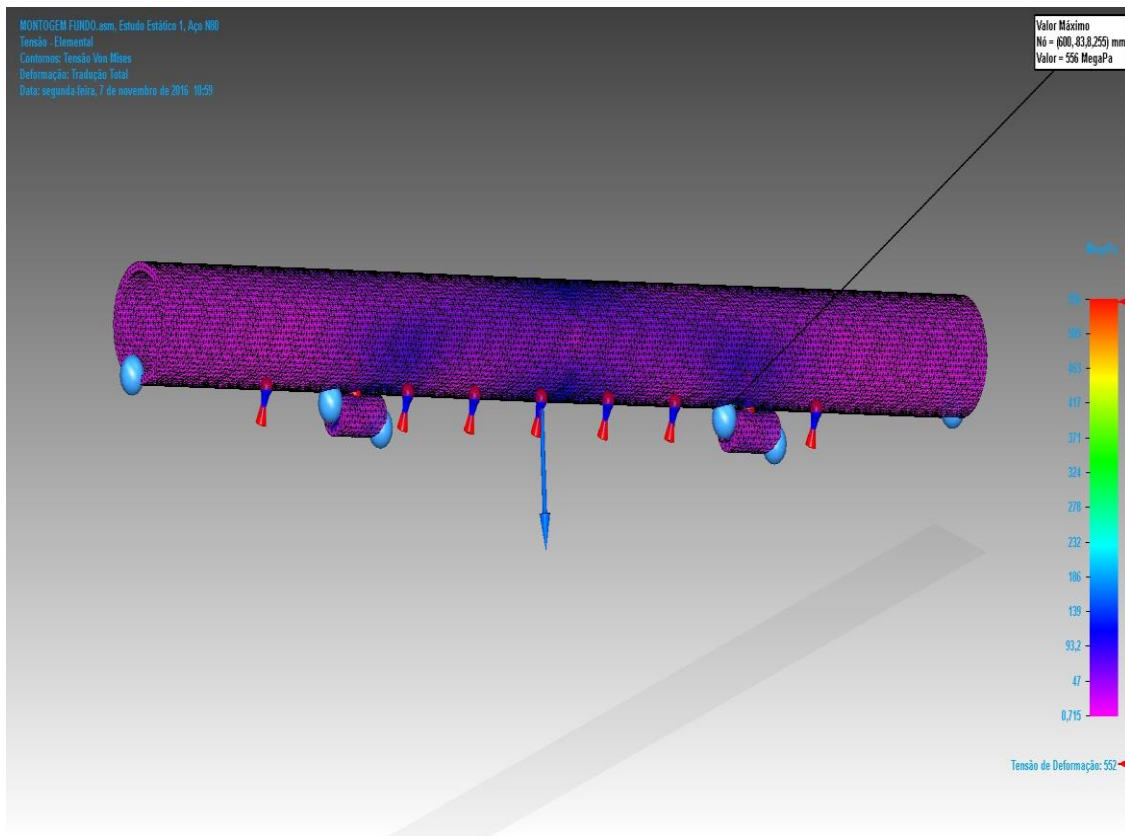
Figura 47 - Esquema de carregamento do Rolete



Fonte: Própria

A tensão máxima de Von Mises detectada foi de 556 Mpa, portanto sendo maior que a tensão de escoamento de 552 Mpa do aço N80 o qual o tubo é construído. Observa-se que o aço N-80 normatizado pela API, apresenta 2 valores de tensão de deformação, um valor mínimo de 552 Mpa e um valor máximo de 758 Mpa. Para esta análise, optou-se pelo uso do menor valor, portanto 552 Mpa. A figura 48 mostra a plotagem das tensões de Von Mises para este caso.

Figura 48 - Plotagem das tensões de Von Mises

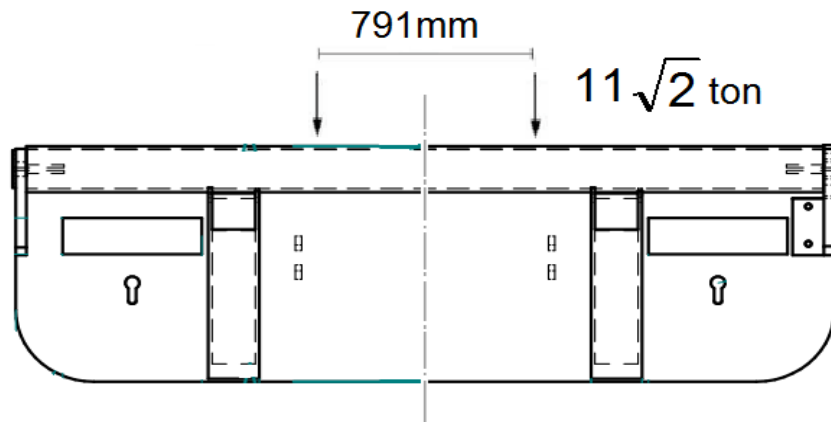


Fonte: Própria

4.4.1.3 CASO 1 DE CARREGAMENTO DO ROLETE ($11\sqrt{2}$ ton)

A figura 49 descreve esquematicamente como foi aplicada a carga equivalente de $11\sqrt{2}$ toneladas sobre o rolete. Considerou-se neste caso, o uso de dois cabos(loais onde as forças foram aplicadas).

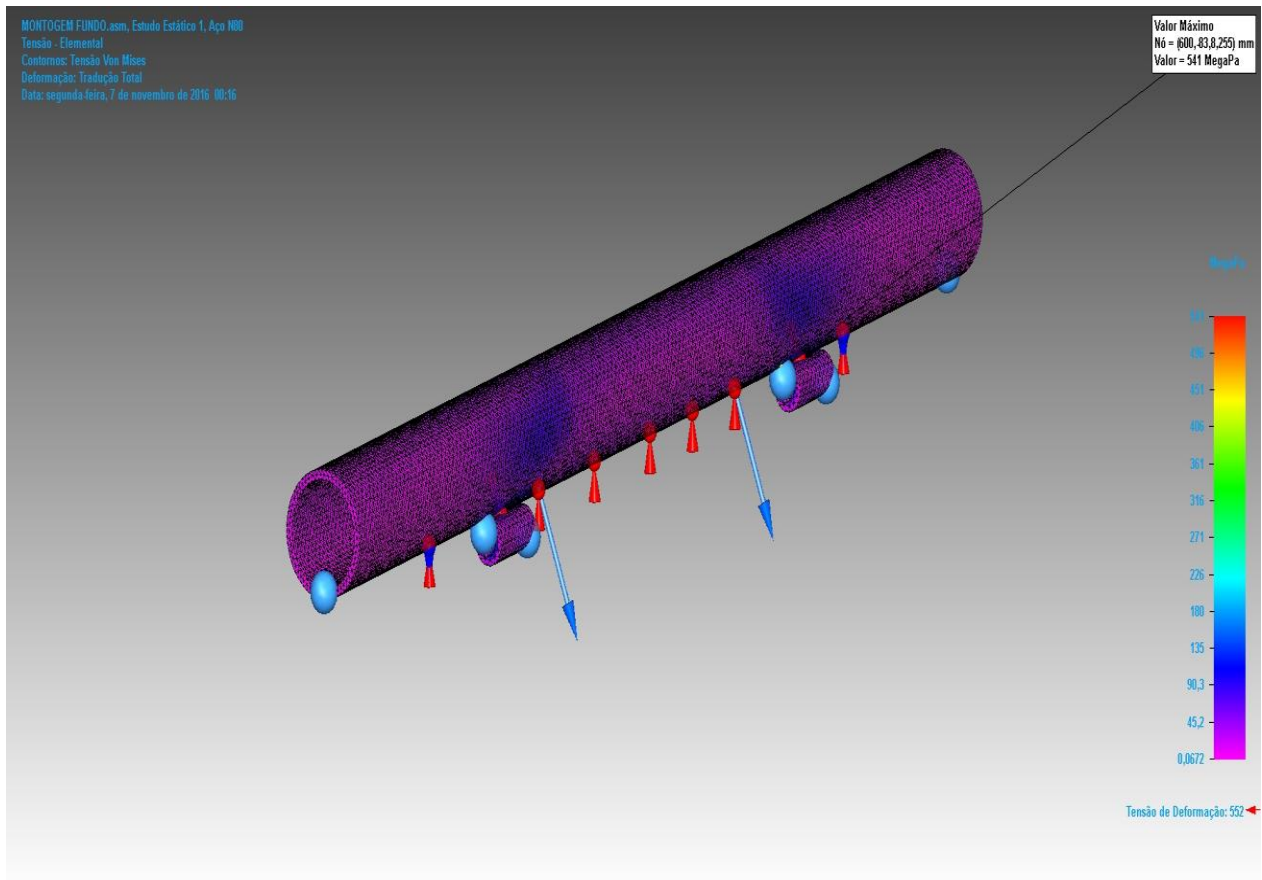
Figura 49 -Esquema de carregamento do Rolete.



Fonte: Própria

A tensão máxima de Von Mises detectada foi de 541 Mpa, portanto sendo menor que a tensão de escoamento de 552 Mpa do aço N80 o qual o tubo é construído. Observa-se que o aço N-80 normatizado pela API, apresenta 2 valores de tensão de deformação, um valor mínimo de 552 Mpa e um valor máximo de 758 Mpa. Para esta análise, optou-se pelo uso do menor valor, portanto 552 Mpa. A figura 50 mostra a plotagem das tensões de Von Mises para este caso.

Figura 50 - Plotagem das tensões de Von Mises

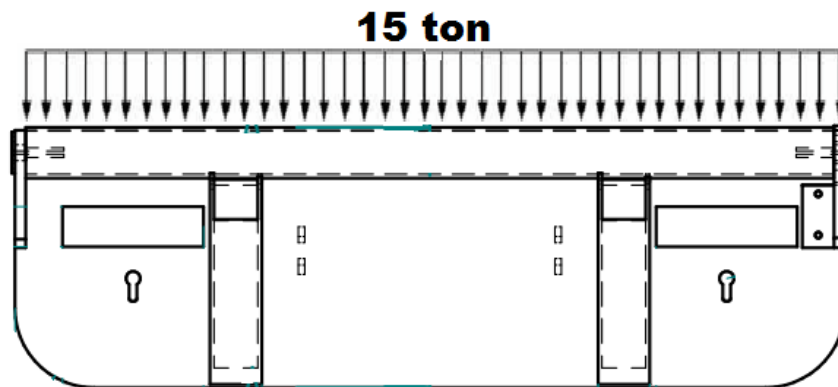


Fonte: Própria

4.4.2.1 CASO 2 DE CARREGAMENTO DO ROLETE (15 ton)

A figura 51 descreve esquematicamente como foi aplicada a carga equivalente de 15 toneladas sobre o rolete. Considerou-se neste caso, um carregamento distribuído ao longo do tubo.

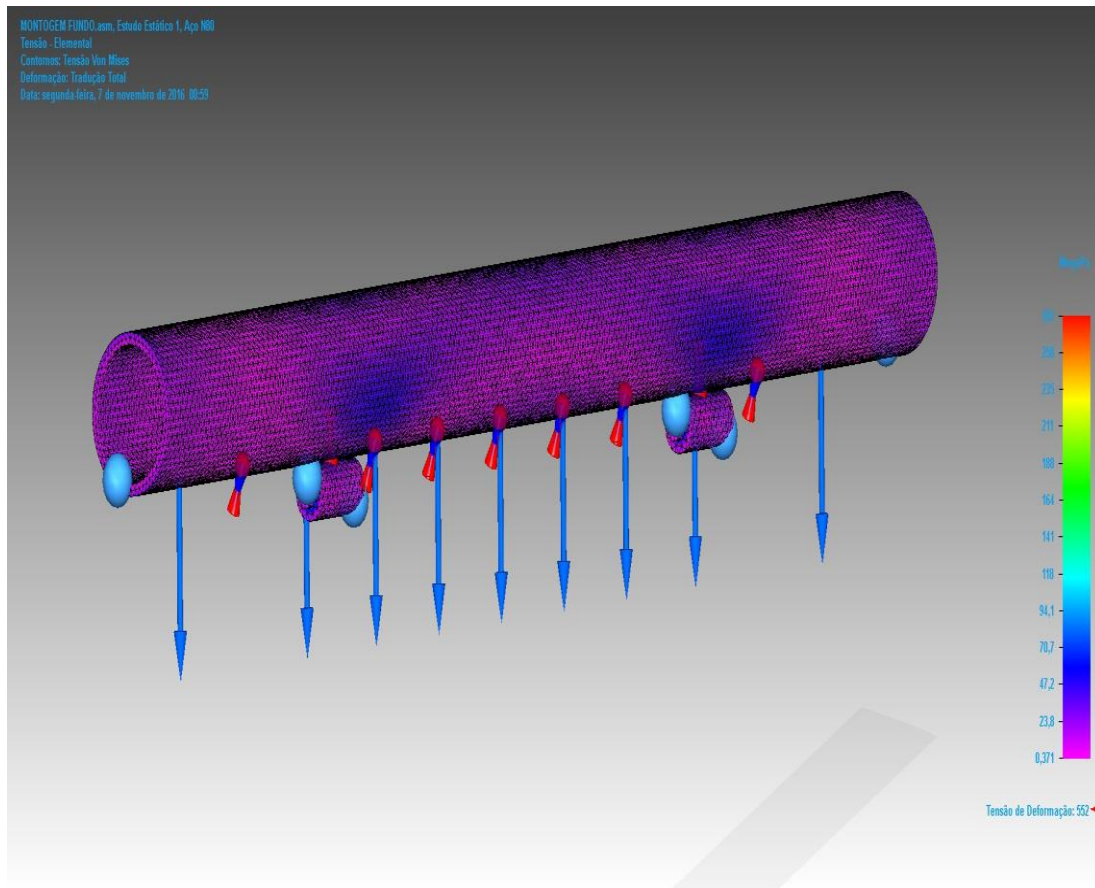
Figura 51 - Esquema de carregamento do Rolete



Fonte: Própria

A tensão máxima de Von Mises detectada foi de 282 Mpa, portanto sendo menor que a tensão de escoamento de 552 Mpa do aço N80 o qual o tubo é construído. Observa-se que o aço N-80 normatizado pela API, apresenta 2 valores de tensão de deformação, um valor mínimo de 552 Mpa e um valor máximo de 758 Mpa. Para esta análise, optou-se pelo uso do menor valor, portanto 552 Mpa. A figura 52 mostra a plotagem das tensões de Von Mises para este caso.

Figura 52 - Plotagem das tensões de Von Mises

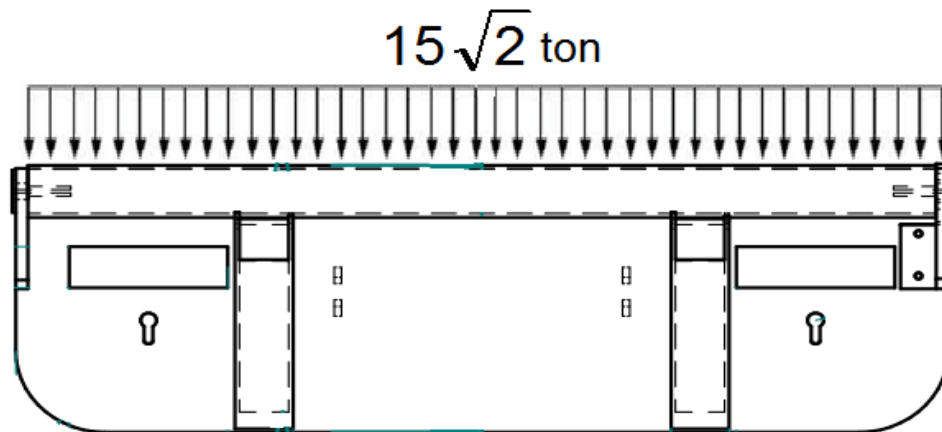


Fonte: Própria

4.4.2.2 CASO 2 DE CARREGAMENTO DO ROLETE ($15\sqrt{2}$ ton)

A figura 53 descreve esquematicamente como foi aplicada a carga equivalente de $15\sqrt{2}$ toneladas sobre o rolete. Considerou-se neste caso, um carregamento distribuído ao longo do tubo.

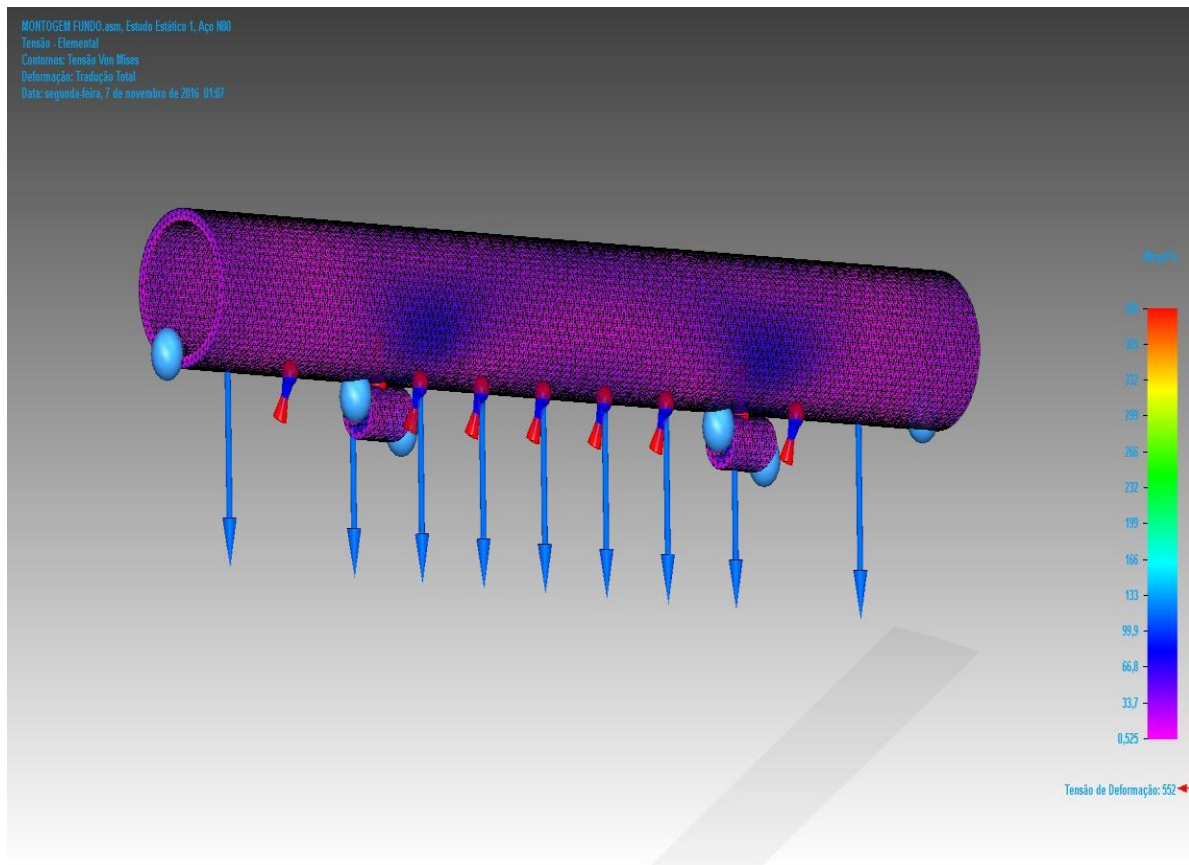
Figura 53- Esquema de carregamento do Rolete



Fonte: Própria

A tensão máxima de Von Mises detectada foi de 398 Mpa, portanto sendo menor que a tensão de escoamento de 552 Mpa do aço N80 o qual o tubo é construído. Observa-se que o aço N-80 normatizado pela API, apresenta 2 valores de tensão de deformação, um valor mínimo de 552 Mpa e um valor máximo de 758 Mpa. Para esta análise, optou-se pelo uso do menor valor, portanto 552 Mpa. A figura 54 mostra a plotagem das tensões de Von Mises para este caso.

Figura 54 - Plotagem das tensões de Von Mises

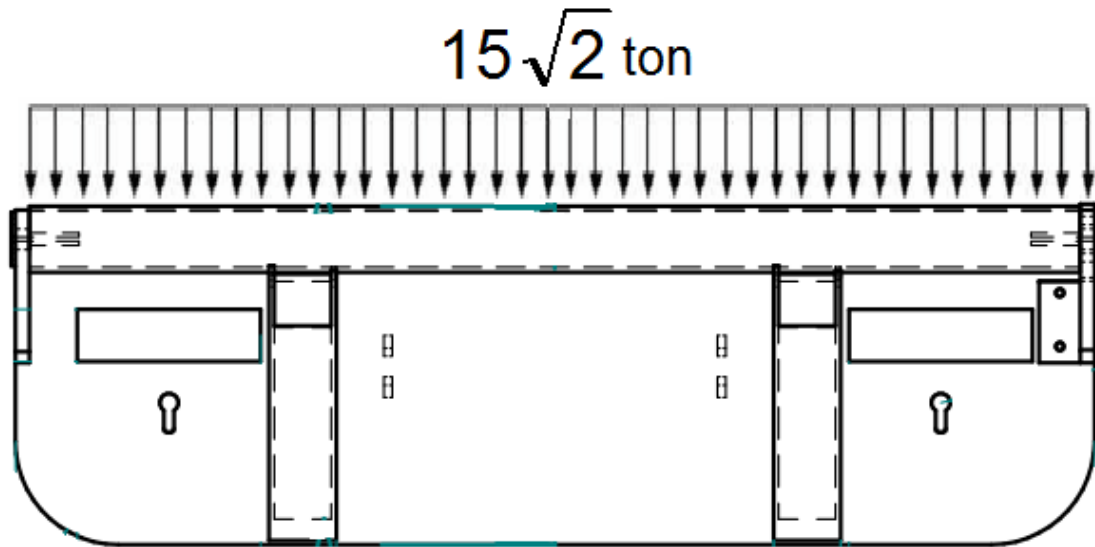


Fonte: Própria

4.4.2.3 CASO 2 DE CARREGAMENTO DO CONJUNTO TRASEIRO COMPLETO ($15\sqrt{2}$ ton)

A figura 55 descreve esquematicamente como foi aplicada a carga equivalente de $15\sqrt{2}$ toneladas sobre o rolete. Considerou-se neste caso, um carregamento distribuído ao longo do tubo de Aço N-80.

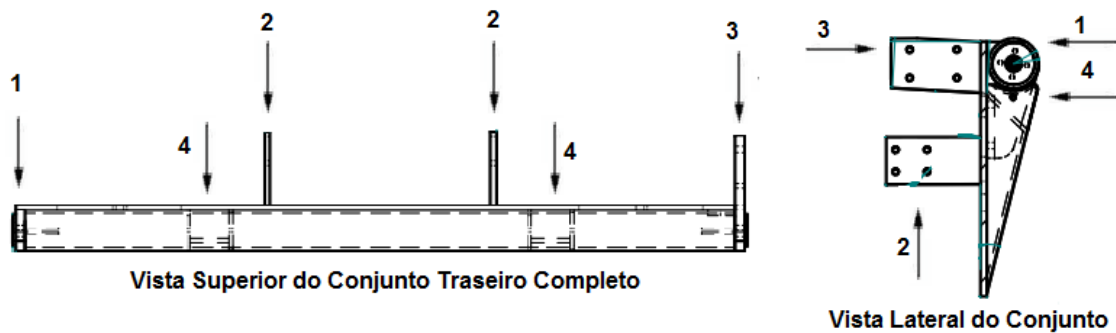
Figura 55 - Esquema de carregamento do Rolete



Fonte: Própria

Neste caso foram fixados para análise os suportes que ligam o para-choque do implemento à longarina do caminhão, os dois suportes laterais do rolete e os eixos dos roletes de apoio. Estes pontos são representados na figura 56.

Figura 56 - Representação dos pontos de fixação do conjunto traseiro do equipamento



Fonte: Própria

A figura 56 é composta por:

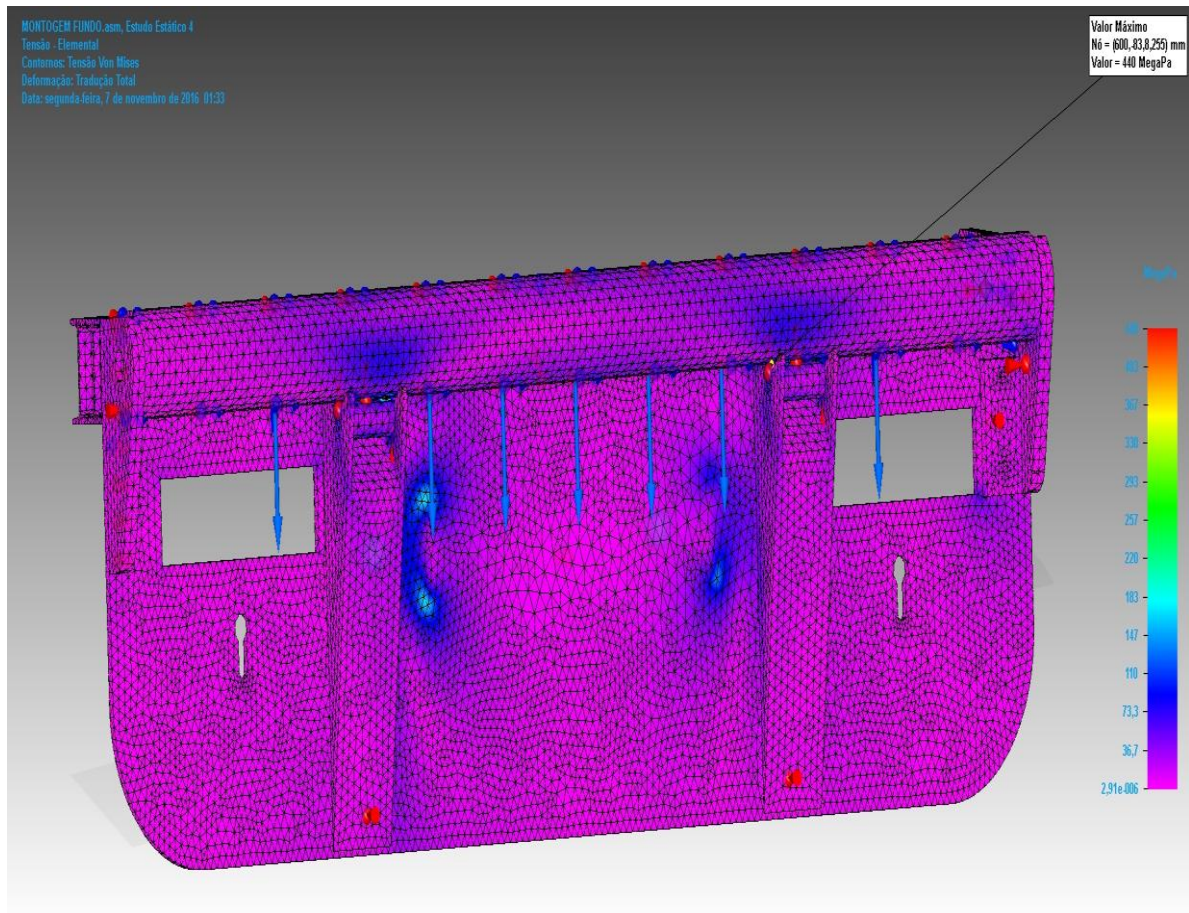
- 1-Suporte Esquerdo do Rolete;
- 2-Suportes do Para-choque Traseiro (Liga o para-choque à longarina do caminhão);
- 3-Suporte Direito do Rolete;
- 4-Eixos dos Roletes de Apoio;

A tensão máxima de Von Mises detectada foi de 440 Mpa, portanto sendo menor que a tensão de escoamento de 552 Mpa do aço N80 o qual o tubo é construído. Observa-se que o aço N-80 normatizado pela API, apresenta 2 valores de tensão de deformação, um valor mínimo de 552 Mpa e um valor máximo de 758 Mpa. Para esta análise, optou-se pelo uso do menor valor, portanto 552 Mpa.

A tensão máxima foi registrada nos pontos em que o Rolete de Aço N-80 encosta nos Roletes de Apoio. No restante da estrutura, foram registradas predominantemente (nos pontos de apoio) tensões abaixo de 250 Mpa, portanto menores que a tensão de deformação do Aço A-36 que compõe a estrutura do implemento, e menor que os 600 Mpa do LNE-60 que compões do a longarina do chassi do caminhão.

A figura 57 mostra a plotagem das tensões de Von Mises para o conjunto testado.

Figura 57 - Plotagem das tensões de Von Mises



Fonte: Própria

5 CONCLUSÃO E SUGESTÃO PARA TRABALHOS FUTUROS

5.1 CONCLUSÕES GERAIS

Para fins de atestar a capacidade do equipamento em ser submetido às condições operacionais usuais a ele impostas, de acordo com a descrição dos usuários e do fabricante do equipamento, a análise estrutural utilizando o método de elementos finitos calculando pelo programa Solid Edge em seu ambiente de simulação se mostrou coesa.

Para as aplicações idealizadas como usuais de carregamento que o equipamento será solicitado, foi verificado que para a lotação técnica imposta pelo fabricante de 24000 kg, quando colocada sobre a plataforma, o equipamento suportará à todas idealizações.

Para o rolete, foi constatado que na situação de movimentação (arraste) da carga por um único cabo de aço (de 30 mm diâmetro), o equipamento não suportaria a execução desta operação para cargas maiores que 8000 kg. Entretanto se a operação for executada por dois cabos (dobrando-se o cabo e afixando-o em dois locais na carga), teríamos 2 pontos distintos de cargas concentrada no rolete, o que possibilitaria o equipamento efetuar a operação com cargas de até 11000 kg.

Para o caso do rolete com carregamento distribuído, devido à dados do fabricante e operador do equipamento foram testadas cargas de 15000 kg que estão de acordo com as cargas máximas que os Skids carregariam. Neste caso, o equipamento suportou o carregamento distribuído atuante.

5.2 PROPOSIÇÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

Afim de contribuir para a melhoria do equipamento analisado neste estudo de caso, propõe-se um estudo dinâmico através de simulações no TruckSim (Software desenvolvido pelo UMTRI – The University of Michigan Transportation Research Institute), programa computacional baseado em modelos matemáticos de veículos que foram validados através de comparações com outros modelos existentes e com resultados de testes de campo, permitindo a análise de vários tipos de equipamentos com a possibilidade de inserir diferentes características dos sistemas de suspensão, direcionamento, carregamento, eixos e pneus, velocidade, aceleração e frenagem.

Sugere-se também uma otimização na estrutura da plataforma visando a diminuição de peso, uma vez que à robustez da estrutura mostrou margem para tal intervenção e por fim outra otimização afim de aumentar a capacidade de operação do Rolete, adotando por exemplo reforço estrutural ou modificações no projeto atual.

6 BIBLIOGRAFIA

ALVES FILHO, Avelino. **Elementos finitos**: A Base da Tecnologia CAE. São Paulo: Érica, 2013.

BEER, Ferdinand; JOHNSTON, Russel. **Mecânica dos Materiais**, São Paulo: McGraw-Hill. 2011

HIBBELER, R.C. **Resistência dos Materiais**. 5ª ed. São Paulo: Pearson Prentice Hall. 2008.

PFEIL, Walter; Pfeil, Michele. **Estruturas de aço: Dimensionamento Prático de Acordo com a NBR 8800:2008**. Rio de Janeiro, 2000.

Azevedo F.M, Álvaro, **MÉTODO DOS ELEMENTOS FINITOS**. Acessado em Julho de 2016. Disponível em:
< http://civil.fe.up.pt/pub/apoio/ano5/aae/pdf/Apontamentos/Livro_MEF_AA.pdf>

A INDÚSTRIA DE IMPLEMENTOS RODOVIÁRIOS E SUA IMPORTÂNCIA PARA O AUMENTO DA EFICIÊNCIA DO TRANSPORTE DE CARGAS NO BRASIL. Acessado em Julho de 2016. Disponível em:

http://www.bndes.gov.br/SiteBNDES/export/sites/default/bndes_pt/Galerias/Arquivos/conhecimento/bnset/set2408.pdf

OCTG Produtos Tubulares Petrolíferos, Acessado em Julho de 2016. Disponível em:

< <http://www.jfe-steel.co.jp/en/products/pipes/catalog/e1p-001.pdf>>

Solid Edge Scalable Simulation, Acessado em Julho de 2016. Disponível em:

<https://www.plm.automation.siemens.com/pt_br/products/solid-edge/design/scalable_simulation.shtml>

7 ANEXOS

Anexo A – Desenho técnico do chassi

