



Ivan Cezar Borgmann

**ANÁLISE POR ELEMENTOS FINITOS DE UM CARRO
TRANSPORTADOR DE PLATAFORMA DE CORTE**

Horizontina

2012

Ivan Cezar Borgmann

**ANÁLISE POR ELEMENTOS FINITOS DE UM CARRO
TRANSPORTADOR DE PLATAFORMA DE CORTE**

Trabalho Final de Curso apresentado como requisito parcial para a obtenção do título de Bacharel em Engenharia Mecânica, pelo Curso de Engenharia Mecânica da Faculdade Horizontina.

ORIENTADOR: Richard Thomas Lermen, Doutor.

Horizontina

2012

**FAHOR - FACULDADE HORIZONTINA
CURSO DE ENGENHARIA MECÂNICA**

A Comissão Examinadora, abaixo assinada, aprova a monografia:

**“Análise por elementos finitos de um carro transportador de plataforma de
corte”**

Elaborado por:

Ivan Cezar Borgmann

Como requisito parcial para a obtenção do grau de Bacharel em
Engenharia Mecânica

**Aprovado em: 27/11/2012
Pela Comissão Examinadora**

**Prof. Dr. Richard Thomas Lermen
Presidente da Comissão Examinadora - Orientador**

**Prof. Dr. Ademar Michels
FAHOR – Faculdade Horizontina**

**Prof. Me. Ricardo Ferreira Severo
FAHOR – Faculdade Horizontina**

**Prof. Me. Anderson Dal Molin
Coordenador do Curso de Engenharia Mecânica – FAHOR**

**Horizontina
2012**

DEDICATÓRIA

Aos meus pais, que me propiciaram uma vida digna onde eu pudesse crescer, acreditando que tudo é possível, desde que sejamos honestos, íntegros de caráter e tendo a convicção de que desistir nunca seja uma ação contínua em nossas vidas; que sonhar e concretizar os sonhos só dependerá de nossa vontade.

A minha esposa, que sempre me apoiou na busca e idealização de sonhos e a minha filha que é uma das razões importantes para que eu seja exemplo de pessoa, de pai e de amigo.

AGRADECIMENTOS

Agradeço a esta instituição que me deu o embasamento teórico necessário para a realização deste trabalho, a Empresa John Deere que me concedeu o estágio, aos colegas e professores que me ajudaram, ensinando e aconselhando no dia-a-dia e em especial a minha família, que sempre me apoiou e incentivou na busca desta conquista.

"Sonhe... Pois você jamais será substituído pela máquina. "Chegará o dia em que, talvez, elas pensem, porém elas nunca se compararão a você, porque elas nunca terão SONHOS."
(Autor Desconhecido)

RESUMO

O presente estudo relata uma análise estrutural parcial do dimensionamento do carro de transporte das plataformas de corte, produzidas por uma empresa multinacional. Neste trabalho foram aplicados os conceitos de mecânica dos sólidos e análise de elementos finitos, com o objetivo de conhecer os esforços aplicados no carro de transporte, certificando-se de que a estrutura do mesmo, suporte a carga e esforços necessários ao qual foi projetado. Para esta análise, foi utilizado o aplicativo ANSYS, disponível junto ao software PROE. Foram analisados os eixos traseiro e dianteiro, o engate da barra de tração nas duas extremidades, o qual é fixado no chassi do carro e no engate do pino com a barra de tração do trator. Os resultados foram interpretados a partir da escala de cores resultante das análises e dos valores das tensões e deformações encontradas, sendo que, devido ao centro de gravidade da plataforma estar sobre o eixo traseiro, este foi o ponto onde ocorreu a maior tensão, porém, esta deformação está abaixo do mínimo da tensão que o material pode suportar. Por fim, conclui-se que o estudo apresentou as tensões e deformações que o carro sofre e os locais que ocorrem os mesmos e que estas não afetam a estrutura do carro, demonstrando que o carro está bem dimensionado, sendo aprovado para a finalidade que lhe foi proposto.

Palavras-chave:

Carro de transporte - Dimensionamento Estrutural - Elementos Finitos.

ABSTRACT

This study reports an analysis of the structural part of the car design transport of cutting decks, produced by a multinational company. In this work we applied the concepts of solid mechanics and finite element analysis, with the aim of knowing the efforts invested in transport car, making sure that the structure of it, and support the efforts needed to load it was designed. For this analysis, we used the ANSYS application, available from the software PROE. We analyzed the front and rear axles, hitch drawbar at both ends, which is fixed to the chassis of the car and the hitch pin to the tractor drawbar. Results were interpreted from the color scale of analysis and resulting values of stresses and strains encountered, and because the center of gravity of the platform is on the rear axle, this was the point where there was the highest voltage, but this deformation is below the minimum tension the material can withstand. Finally, it is concluded that the study showed that the stresses and strains and the car suffers the same sites that occur and these do not affect the structure of the car, showing that the car is well designed, is approved for the purpose which has been proposed.

Keywords:

Car transport - Structural Sizing - Finite Elements.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Convenção de sinais adotada para o Método dos Deslocamentos	5
Figura 2: Diagrama de corpo livre	7
Figura 3: Aplicação do método das seções.....	7
Figura 4: Diagrama da força cortante e momento fletor	8
Figura 5: Diagrama de forças e momento aplicado ao corpo	13
Figura 6: Componentes de força normal de cisalhamento e momento fletor.....	13
Figura 7: Malha de elementos finitos	15
Figura 8: Carro de transporte.....	17
Figura 9: Chassi.....	18
Figura 10: Eixo completo	18
Figura 11: Engate barra de tração	19
Figura 12: Pontos de apoio e peso total do carro.....	19
Figura 13: Pontos que foram restringidos	20
Figura 14: Aplicação da força e as distâncias	20
Figura 15: Ponto de aplicação do cálculo do momento	21
Figura 16 – Rampa com os Sentidos das Forças.....	23
Figura 17: Malha aplicada no chassi.....	24
Figura 18: Local da carga aplicada e a distância entre a carga.....	25
Figura 19: Diagrama da viga analisada.....	25
Figura 20: Momento fletor.....	26
Figura 21: Diagrama de esforço cortante.....	26
Figura 22: Eixo traseiro com 239.7 MPa, local da maior deformação.....	27
Figura 23: LC1 - vertical.....	33
Figura 24: LC2 – frenagem	33
Figura 25: LC3 - rampa.....	33
Figura 26: LC1 - vertical.....	34
Figura 27: LC2 - frenagem.....	34
Figura 28: LC3 - rampa.....	34
Figura 29: Análise do engate da barra de tração com as aplicações de LC1, LC2 e LC3.	35
Figura 30: Análise do engate da barra de tração com o chassi aplicando LC1, LC2 e LC3..	36
Figura 31: Análise do eixo dianteiro aplicando LC1, LC2 e LC3.....	37
Figura 32: Análise do eixo traseiro aplicando LC1, LC2 e LC3	38

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO.....	1
2 REVISÃO DA LITERATURA	3
2.1 CARROS DE TRANSPORTE	3
2.2 ESTRUTURAS DE CONSTRUÇÃO MECÂNICA.....	3
2.3 MECÂNICA DOS SÓLIDOS.....	6
2.3.1 DIAGRAMA DE CORPO MECÂNICO	12
2.4 MÉTODOS DE ELEMENTOS FINITOS.....	14
3 METODOLOGIA	17
3.1 PROCEDIMENTO PARA ANÁLISE DIMENSIONAL.....	17
3.1.1 ANÁLISES QUANTO À MECÂNICA DOS SÓLIDOS	20
3.1.2 TRATAMENTO DIMENSIONAL POR ELEMENTOS FINITOS.....	21
3.1.3 ANÁLISE DO CHASSI POR ELEMENTOS FINITOS	22
4 APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DOS RESULTADOS	25
4.1 RESULTADOS OBTIDOS POR APLICAÇÃO DE MECÂNICA DOS SÓLIDOS	25
4.2 RESULTADOS DA ANÁLISE DE ELEMENTOS FINITOS.....	26
5 CONSIDERAÇÕES FINAIS	30
6 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS	31
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	32
APÊNDICE A – FIGURAS DAS ANÁLISES APLICANDO ELEMENOS FINITOS.....	33

1 INTRODUÇÃO

Em uma empresa multinacional do ramo metal mecânica, é utilizado um carro para transporte de plataformas de corte, porém, este carro está danificando o engate da barra de tração, sendo que o mesmo está dimensionado para transportar plataformas de até 4000 kg e devido ao aumento de tamanho da plataforma para 15m e peso para 5000 kg, há necessidade de fabricar um novo carro. Para garantir que este carro não danifique ou quebre é necessário realizar uma análise estrutural neste carro.

De acordo com Hibbeler (2000), o trabalho de projetar uma estrutura ou um equipamento mecânico, deve estabelecer uma tensão segura como sendo o limite de um material, no entanto, um equipamento em constante uso, pode necessitar uma análise para verificar se as cargas estão de acordo com o estabelecido.

A mecânica dos materiais é a seção que estuda um corpo deformável e seu comportamento diante de cargas externas nele aplicadas, analisando também as tensões e deformações das forças internas atuantes nesse corpo (HIBBELER, 2000).

O carro de transporte é um equipamento utilizado para transportar as plataformas após estarem concluídas, de dentro da fábrica até o local de armazenamento antes do embarque, sendo que este equipamento está sujeito a esforços mecânicos e, portanto, devem-se conhecer as forças atuantes no equipamento e se necessário, redimensionar e alterar materiais de fabricação do carro.

O carro apresenta apenas um projeto detalhado, sendo dimensionado sem qualquer cálculo de projeto, tomando apenas por base as tabelas de fornecedores de materiais e por isso, precisa-se realizar a análise de dimensionamento parcial de sua estrutura, de modo a visualizar onde ocorrem as maiores tensões e deformações, para que possa ser corrigido antes de sua fabricação.

Todas as peças e componentes de uma construção devem ter seus componentes dimensionados e definidos, para que deste modo, usufruam de uma proporção adequada de forças que deverão resistir em sua utilização (POPOV, 1978).

Na atual situação de transporte das plataformas de corte, o carro de transporte está flambando o engate da barra de tração, devido aos esforços realizados no mesmo, tendo riscos ergonômicos ao operador e danos ao patrimônio. Visando

sempre à melhoria do processo, qualidade do produto, segurança e ergonomia do operador, aumento de tamanho e peso das plataformas, foi necessário projetar um novo carro e a partir deste novo projeto, realizar uma análise estrutural no mesmo, para que após esta análise, possa ser fabricado o novo carro.

Este trabalho tem como objetivo principal à realização de uma análise parcial do dimensionamento da estrutura do carro de transporte de plataformas de corte, utilizando aplicações de análise de elementos finitos e mecânica dos sólidos.

Os objetivos específicos deste trabalho condizem em:

- Promover uma pesquisa de revisão bibliográfica sobre carros de transporte, estruturas de construção mecânica, mecânica dos sólidos e elementos finitos;
- Conhecer os esforços aplicados no carro de transporte, visando certificar-se de que a estrutura do mesmo suporta a carga e esforços estabelecidos;
- Utilizar análise de elementos finitos para determinar os esforços que ocorrem na estrutura do carro;
- Apresentar a análise do dimensionamento do carro de transporte, através da aplicação da análise por elementos finitos.

2 REVISÃO DA LITERATURA

Apresentada uma breve descrição sobre carros de transporte com sistema bidirecional, estruturas de construção mecânica, definições, seus métodos de análise de esforços e conceitos e equações da mecânica dos sólidos.

2.1 CARROS DE TRANSPORTE

O carro de transporte com sistema bidirecional é o mais eficiente sistema para movimentação interna de cargas industriais. As rodas traseiras fazem o mesmo percurso das dianteiras, possibilitando a realização de curvas com raio mínimo de forma a evitar o desgaste prematuro dos pneus e assegurando um menor esforço sobre a barra de tração. (FERRAL, 2012).

Podem ser usadas em comboio, garantindo economia e rapidez, pois possibilitam manobras em espaços mínimos e segurança nas curvas bastando apenas um trator para movimentar a carga. Podem utilizar suspensão rígida ou articulada, dependendo da regularidade do piso. (FERRAL, 2012).

2.2 ESTRUTURAS DE CONSTRUÇÃO MECÂNICA

Denomina-se estrutura, o conjunto de elementos de construção composto com a finalidade de receber e transmitir esforços. As estruturas podem ser classificadas de acordo com sua estabilidade como sendo hipoestáticas, isostáticas ou hiperestáticas. As estruturas hipoestáticas são instáveis quanto à elasticidade e sua classificação é devido ao fato de o número de equações da estática ser superior ao número de incógnitas. As estruturas isostáticas são assim determinadas por possuírem o número de reações a serem determinadas igual ao número de equações da estática e é assim classificada quando as equações da estática são insuficientes para determinar as reações nos apoios. Para tornar possível a solução destas estruturas, deve-se suplementar as equações da estática com as equações do deslocamento (SENAI, 2004).

Estruturas e máquinas são sistemas compostos por elementos submetidos a várias forças. As estruturas projetadas para suportar cargas são geralmente estacionárias e completamente vinculadas. Para se determinar as forças internas que mantém unidas as várias partes de uma estrutura, deve-se dividi-la e desenhar o diagrama de corpo livre, considerando primeiramente as partes submetidas a duas forças e em seguida, considerando-se as partes submetidas a várias forças (BEER, JOHNSTON, 1980).

Os esforços internos de uma estrutura podem ser geralmente determinados usando uma seguinte análise: análise de primeira ordem, usando a geometria inicial da estrutura; análise de segunda ordem, tornando em consideração a influência da deformação da estrutura. Os efeitos da deformação geométrica (efeitos de segunda ordem) deverão ser considerados se o aumento dos defeitos das ações for significativo ou o comportamento da estrutura seja modificado significativamente. A análise de primeira ordem pode ser usada se o aumento dos esforços internos for pouco relevante em função da deformação da estrutura, devido às ações aplicadas. Neste caso, o efeito das deformações laterais da estrutura no global e dos elementos no local, pode ser negligenciado. A verificação da estabilidade das estruturas, ou das peças, deve ser realizada considerando as imperfeições e os efeitos de segunda ordem. Efeitos de segunda ordem podem ser calculados usando qualquer análise apropriada para a estrutura (MARTINS, 2011).

As condições matemáticas que o modelo estrutural tem que satisfazer para representar adequadamente o comportamento da estrutura real pode ser dividido nos seguintes grupos: condições de equilíbrio, condições de compatibilidade entre deslocamentos e deformações e condições sobre o comportamento dos materiais que compõem a estrutura (MARTHA, 2011).

No contexto da análise estrutural, o cálculo correspondente à determinação dos esforços internos na estrutura, das reações de apoios, dos deslocamentos e rotações e das tensões e deformações. As metodologias de cálculo são procedimentos matemáticos que resultam das hipóteses adotadas na concepção do modelo estrutural. Dessa forma, uma vez concebido o modelo de análise para uma estrutura, as metodologias de cálculo podem ser expressas por um conjunto de equações matemáticas que garantem a satisfação às hipóteses adotadas (MARTHA, 2011).

O primeiro método básico da análise de estruturas é o chamado Método das Forças, nele as incógnitas principais do problema são as forças e momentos que podem ser reações de apoio ou esforços internos. As outras incógnitas são expressas em termos das incógnitas principais escolhidas e substituídas em equações de compatibilidade, que são então resolvidas. O Método das Forças tem como idéia básica determinar qual a solução que faz com que as condições de compatibilidade também sejam satisfeitas. Nesta formalização do Método das Forças existe uma seqüência de introdução das condições básicas do problema:

primeiro são utilizadas as condições de equilíbrio, em seguida são consideradas as leis constitutivas dos materiais e por fim, são utilizadas as condições de compatibilidade (MARTHA, 2011).

O segundo método básico de análise de estrutura é chamado Método do Deslocamento, nele, as incógnitas principais do problema são deslocamentos e rotações. Todas as outras incógnitas são expressas em termos das incógnitas principais escolhidas e substituídas em equações de equilíbrio, que são resolvidas. O Método do Deslocamento tem como idéia básica, determinar qual a solução que faz com que as condições de equilíbrio também sejam satisfeitas (MARTHA, 2011).

As equações finais do Método do Deslocamento expressam o equilíbrio dos nós da estrutura nas direções das deslocabilidades. Por isso, é conveniente introduzir uma convenção de sinais para as forças e momentos que facilite a definição de condições de equilíbrio (MARTHA, 2011).

A Figura 1 apresenta a convenção de sinais adotada para o Método do Deslocamento, onde os deslocamentos e forças horizontais são positivos quando tem sentido da esquerda para a direita e negativos quando tem sentido da direita para a esquerda.

<i>Deslocamentos horizontais:</i>		
<i>Deslocamentos verticais:</i>		
<i>Rotações:</i>		
<i>Forças horizontais:</i>		
<i>Forças verticais:</i>		
<i>Momentos:</i>		
<i>Esforços axiais em extremidades de barra:</i>		
<i>Esforços cortantes em extremidades de barra:</i>		
<i>Momentos fletores em extremidades de barra:</i>		

Figura 1: Convenção de sinais adotada para o Método dos Deslocamentos. Fonte: MARTHA, (2011).

Os deslocamentos e forças verticais são positivos quando tem sentido de baixo para cima e negativos quando voltados para baixo. As rotações e os momentos são positivos quando tem o sentido anti-horário e são negativos quando tem sentido

horário. A convenção para esforços atuando nas extremidades das barras é a mesma, porém se refere às direções no sistema de eixos locais da barra. Uma das utilidades da convenção de sinais é considerar informações sobre os esforços que atuam em uma barra (MARTHA, 2011).

2.3 MECÂNICA DOS SÓLIDOS

A Mecânica é definida como o ramo das ciências físicas que trata do estado de repouso ou de movimento de corpos sujeitos a ação de forças (HIBBELER, 2000).

Em geral, as forças internas que atuam em áreas infinitesimais de um corte têm magnitude e direções variadas. Essas forças são de natureza vetorial e mantêm equilíbrio com as forças externas aplicadas. Na mecânica dos sólidos é particularmente significativo definir a intensidade dessas forças nas várias partes do corte como a resistência a deformação (POPOV, 1978).

Um corpo pode ser substituído a diversos tipos de cargas externas, e estas, podem ser classificadas como forças de superfície ou de corpo. As forças de superfície são causadas pelo contato direto de um corpo com a superfície de outro. Em todos os casos, essas forças são distribuídas pela área de contato entre os corpos. Se a área for pequena comparada ao total da área da superfície do corpo, a força de superfície pode ser imaginada como uma única força concentrada, aplicada em um ponto do corpo. Já se a carga na superfície for aplicada ao longo de uma área estreita, a carga pode ser imaginada como uma carga linear distribuída. Quando um corpo desenvolve uma força sobre outro sem contato físico direto entre eles, desenvolve-se uma força de corpo (HIBBELER, 2000).

Para o projeto de uma viga reta, é importante saber como as forças internas normais N e o momento M variam sobre o eixo axial. A força normal N , geralmente, não é considerada porque muitas vezes a carga aplicada não causa o aparecimento de uma força normal e porque é mais importante que a peça resista a uma força cortante do que a uma força normal. Para a determinação das equações de variações de N , V (força cortante na direção do plano da seção) e M em função de uma posição x , deve-se aplicar o método das seções, aplicando-se o corte em uma distância arbitrária x . Em geral, as forças e o momento interno serão descontínuos, ou suas derivadas serão descontínuas, em pontos em que o tipo ou a magnitude da carga muda. Por causa disso, as funções de N , V e M deverão ser calculadas para

região localizadas entre duas descontinuidades de carga (BEER, JOHNSTON, 1980).

As reações de apoio são forças de superfície que se desenvolvem nos apoios ou pontos de contato entre corpos. Em geral, é possível determinar o tipo de reação de apoio imaginando o elemento a ele acoplado como sendo transladado ou girado em uma direção em particular. Se o apoio impede a translação em dada direção, então deve ser desenvolvida uma força naquela direção. Se da mesma forma, a rotação for impedida, deve-se aplicar um conjugado sobre o elemento (HIBBELER, 2000).

Primeiramente, determinam-se as reações de apoio, pelo diagrama de corpo livre, colocando as reações dos apoios e impondo as condições de equilíbrio, de acordo com a Figura 2, obtêm-se a Equação 1 (BEER, JOHNSTON, 1980):

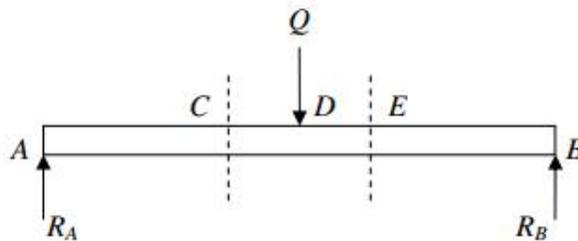


Figura 2: Diagrama de corpo livre. Fonte: (BEER, JOHNSTON, 1980).

onde R_A é a reação no ponto A, R_B é a reação no ponto B e Q representam a carga aplicada num determinado ponto, conforme a Equação 1.

$$R_A = R_B = \frac{Q}{2}$$

(1)

Em seguida corta-se a viga no ponto C entre A e D, desenha-se o diagrama de corpo livre de AC e CB de acordo com a figura 3. Adotando que as forças cortantes e momentos fletores são positivos, conforme Equação 2, impondo as condições de equilíbrio encontra-se a Equação 2 (BEER, JOHNSTON, 1980):

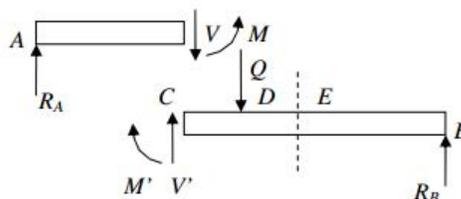


Figura 3: Aplicação do método das seções. Fonte: (BEER, JOHNSTON, 1980).

onde: V é o esforço cortante, M é o momento fletor, P é a carga aplicada, L é comprimento (mm) e x a direção do eixo, conforme Equação 2.

$$V = \frac{P}{2}, M = P \frac{(L-x)}{2} \quad (2)$$

Agora, conforme Figura 4, corta-se a viga no ponto E entre D e B e segue-se o mesmo procedimento anterior, adotando a Equação 3. (BEER, JOHNSTON, 1980).

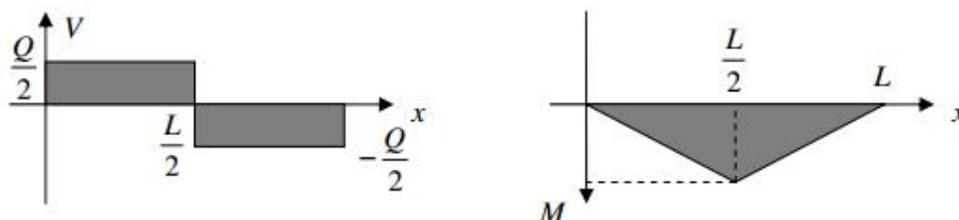


Figura 4: Diagrama da força cortante e momento fletor. Fonte: (BEER, JOHNSTON, 1980).

onde: V é o esforço cortante, M é o momento fletor, P é a carga aplicada, L é comprimento (mm) e x a direção do eixo, conforme Equação 3.

$$V = -\frac{P}{2}, M = P \frac{(L-x)}{2} \quad (3)$$

A intensidade da força perpendicular ou normal à seção é chamada de tensão normal em um ponto. É costume referir-se a tensões normais que causam tração na superfície do corte por tensões de tração e à aquelas que causam compressão na superfície do corte, por tensões de compressão. Essa tensão normal σ (sigma), de acordo com a Equação 4 é distribuída uniformemente na área da seção transversal e é expressa pela Equação 4 (POPOV, 1978):

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

onde: P é a força (Newton), A é a área dada em m^2 através da multiplicação de π pelo raio elevado ao quadrado para a seção circular e pela multiplicação da base pela altura para a seção quadrada e P é a carga.

Quando uma força é aplicada a um corpo, tende a mudar sua forma e tamanho. Esta mudança é denominada deformação e pode ser perfeitamente visível ou

praticamente imperceptível, sem o uso de equipamentos para fazer medições precisas. O corpo também pode sofrer deformação quando a sua temperatura muda. De modo geral, a deformação não é uniforme em todo o seu volume e assim, a mudança na geometria de qualquer segmento de reta do corpo pode variar ao longo do comprimento. As deformações normais provocam mudança de volume do elemento retangular, enquanto as deformações por cisalhamento provocam mudança no seu formato. A deformação específica nominal ε é obtida diretamente pela elongação δ , dividida pelo comprimento nominal original L_o , segundo a Equação 5. (HIBBELER, 2000):

$$\varepsilon = \frac{\delta}{L_o} \quad (5)$$

De acordo com a Lei de Hooke, existe uma relação linear entre tensão e deformação específica na região elástica para muitos materiais. Essa condição é representada pela constante de proporcionalidade ϵ (resultante da divisão de duas grandezas diretamente proporcionais) na Equação 6 que segue (HIBBELER, 2000):

$$\sigma = \epsilon \cdot \varepsilon \quad (6)$$

onde: σ é a tensão admissível, ϵ é a constante de proporcionalidade e ε é a deformação específica do material.

A tensão admissível σ_{adm} é a ideal de trabalho para o material geralmente deverá ser mantida na região de deformação elástica do material, podendo também haver casos em que ela esteja na região de deformação plástica do material. A tensão admissível é determinada pela Equação 7, através da relação σ_e dividida pelo coeficiente de segurança, conforme segue (MELCONIAN, 1999):

$$\sigma_{adm} = \frac{\sigma_e}{K} \quad (7)$$

onde: σ_e é tensão de escoamento (MPa), K é o coeficiente de segurança e σ_{adm} é a tensão admissível.

A ação da carga cortante sobre a área de seção transversal da peça, causa nesta, uma tensão de cisalhamento, que é definida através da relação entre a intensidade da carga aplicada e a área da seção transversal da peça sujeita ao cisalhamento, conforme a Equação 8, (MELCONIAN, 1999):

$$\tau = \frac{Q}{K} \quad (8)$$

onde: τ é a tensão de cisalhamento (Mpa), Q é a carga cortante (Newton) e A_{cis} é a área da seção transversal da peça (mm²).

Ao receber a ação da carga cortante, um determinado ponto do material pode deslocar-se para outra posição, gerando um ângulo denominado distorção. A distorção é medida em radianos através da relação entre a tensão de cisalhamento atuante e o módulo de elasticidade transversal do material, conforme apresentado na Equação 9 (MELCONIAN, 1999):

$$\gamma = \frac{\tau}{G} \quad (9)$$

onde: τ tensão de cisalhamento atuante (Pa) e G o módulo de elasticidade transversal do material (Pa).

O esforço de flexão ocorre na peça quando esta sofre a ação de cargas cortantes que venha a gerar momento fletor significativo. A tensão de flexão é determinada em relação à fibra mais distante da seção transversal, através da Equação 10, que traz a relação entre o produto do momento fletor atuante e a distância entre a linha neutra e a fibra e o momento de inércia baricêntrico da secção (ARIVABENE, 1994):

$$\sigma = \frac{M}{J} \quad (10)$$

onde, σ é a tensão na flexão (Mpa), M é o momento fletor atuante e J é o momento de inércia. A tensão máxima nas fibras comprimidas será sempre negativa.

O fenômeno de decréscimos da resistência de um material proveniente da aplicação de tensões que variam com o tempo é denominada fadiga. As tensões que originam a fadiga podem ser de tração, compressão, cisalhamento, flexão, torção ou ainda combinações destas tensões. A falha por fadiga começa por uma pequena fissura que não pode ser percebida a olho nu, sendo difícil localizá-la através de raio X. Essa fissura aparece num ponto de descontinuidade do material, como uma mudança de seção reta, um rasgo de chapeta ou um furo. Uma vez iniciada a

fissura, o efeito de concentração de tensões torna-se maior e a fissura progride mais depressa (ARIVABENE, 1994).

A ductibilidade é outra importante propriedade mecânica. Ela é uma medida do grau de deformação plástica que foi sustentada da fratura. Pode ser expressa quantitativamente tanto como porcentagem de alongação quanto como porcentagem de redução de área, pela Equação 11:

$$EL = \frac{(l_f - l_o)}{l_o} \quad (11)$$

onde: EL é a ductibilidade, l_f é o comprimento de fratura (mm) e l_o é o comprimento original (mm).

Materiais frágeis são considerados como aqueles que possuem uma deformação de fratura de menos de cerca de 5% (CALLISTER, 2002).

O alongamento sofrido por um corpo é determinado pela Equação 12:

$$\Delta L = \frac{F \cdot l}{A \cdot E} \quad (12)$$

onde: ΔL é o alongamento da peça, F é a carga normal aplicada, A é a área da secção transversal, l é o comprimento inicial da peça e E é o módulo de elasticidade do material (MELCONIAN, 1999).

Potencialmente todos os materiais de engenharia exibem uma variabilidade em suas propriedades mecânicas. Além disso, as incertezas também existirão na magnitude das cargas aplicadas para aplicações em serviços, ordinariamente, cálculos de tensão são apenas aproximados. Portanto, tolerâncias de projeto devem ser aplicadas para proteger-se contra uma falha não antecipada. Isto é realizado estabelecendo-se para o particular material usado, uma tensão de segurança ou tensão de trabalho. Naturalmente, a escolha de um apropriado valor de N (tensão de segurança) é necessária. Se N é elevado, então resultará um superdimensionamento do componente, ou demasiada quantidade de material, ou uma liga tendo uma resistência maior que a necessária será utilizada. Valores normalmente usados variam entre 1,2 e 4,0, um bom valor médio é 2,0, valor este referente à tensão de segurança. A seleção de N dependerá de um número de fatores, incluindo a economia, experiência anterior, precisão com a qual forças

mecânicas e propriedades de materiais podem ser determinadas (CALLISTER, 2002).

2.3.1 Diagrama de corpo Mecânico

O equilíbrio de um corpo requer tanto o equilíbrio de forças, para evitar que o corpo sofra translação ou tenha movimento acelerado ao longo de uma trajetória retilínea ou curvilínea, como o equilíbrio de momentos, para evitar a rotação do corpo (HIBBELER, 2000).

$$\sum F = 0 \quad (13)$$

onde, $\sum F$ é a soma de todas as forças que atuam sobre o corpo.

$$\sum M_o = 0 \quad (14)$$

onde $\sum M_o$, é a soma dos momentos de todas as forças em relação a um ponto qualquer.

Estabelecendo-se um sistema de coordenadas x, y, z com origem no ponto O, os vetores força e momento podem ser decompostos em componentes ao longo dos eixos de coordenadas e as duas equações anteriores podem ser escritas em forma de escala (HIBBELER, 2000).

$$\sum F_x = 0 \quad \sum F_z = 0 \quad (15)$$

$$\sum M_x = 0 \quad \sum M_y = 0 \quad \sum M_z = 0 \quad (16)$$

Sistema coplanar de forças.

$$\sum F_x = 0 \quad \sum F_y = 0 \quad \sum M_o = 0 \quad (17)$$

Se o ponto O for a origem das coordenadas, então os momentos serão sempre direcionados ao longo do eixo de z, que é perpendicular ao plano que contém as forças (HIBBELER, 2000).

Utilizam-se as equações de equilíbrio para relacionar as forças externas sobre o corpo a força resultante e o momento em qualquer ponto específico O da área selecionada conforme Figura 5 (HIBBELER, 2000).

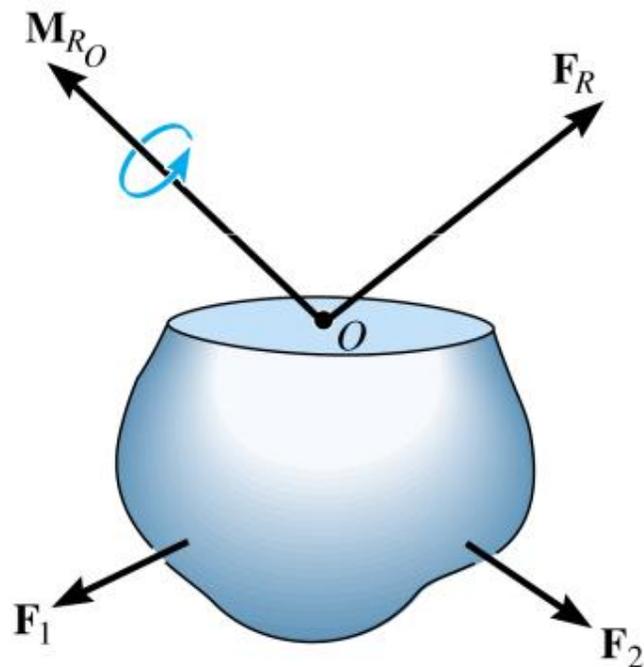


Figura 5: Diagrama de forças e momento aplicado ao corpo (HIBBELER, 2000, p. 6)

Em um sistema de coordenadas x, y, z , conforme apresentado na Figura 6, cada uma das cargas apresentadas e determinada diretamente pelas seis equações de equilíbrio aplicadas a qualquer segmento do corpo (HIBBELER, 2000).

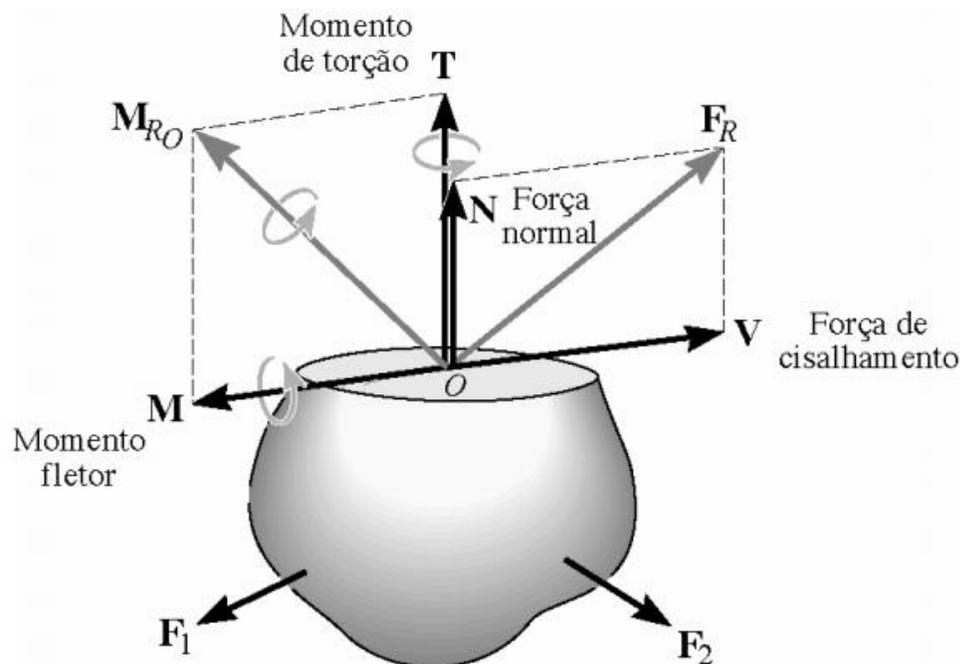


Figura 6: Componentes de força normal de cisalhamento e momento fletor (HIBBELER, 2000 p. 6)

A força normal que atua perpendicularmente a área, e criada sempre que as forças externas tendem a empurrar ou puxar as duas partes do corpo. A força de cisalhamento localiza-se no plano da área e é criada quando as cargas externas tendem a provocar o deslizamento das duas partes do corpo, uma sobre a outra. O torque é criado quando as cargas externas tendem a torcer uma parte do corpo em relação a outra. O momento fletor é provocado pelas cargas externas que tendem a fletir o corpo em relação ao eixo localizado no plano da área (HIBBELER, 2000).

2.4 MÉTODOS DE ELEMENTOS FINITOS

O método dos elementos finitos baseia-se na discretização do meio contínuo (estrutura sólida, o fluido, os gases, etc.). O método dos elementos finitos é um dos métodos mais difundidos na discretização dos meios contínuos. A sua utilização se deve ao fato de poder ser aplicado em problemas clássicos da mecânica estrutural elástico-linear tais como mecânica dos sólidos, mecânica dos fluidos, transmissão de calor, acústica, etc. (SMITH, 2005).

Através da convergência e aproximação do modelo, valendo-se de conceitos variacionais, o campo de deslocamento da estrutura discretizada pode ser encontrado com erros que normalmente podem ser estimados. Com o uso desta metodologia, as equações diferenciais não lineares que descrevem um problema, transformam-se em uma série de equações lineares, solucionadas uma a uma. O método faz parte de um conjunto de técnicas de programação numérica para construção de soluções aproximadas do estado de tensões e deformação numérica para construção de soluções aproximadas do estado de tensões de deformação de um sólido em problemas definidos por valores de contorno (SOMMER, 2010).

A versatilidade é uma notável característica do método dos elementos finitos que pode ser aplicado a problemas de natureza diversa. A região sob análise pode ter forma arbitrária e cargas e condições de contorno quaisquer. A malha pode ser constituída de elementos de diferentes tipos, formas e propriedades físicas. Esta grande versatilidade pode muitas vezes ser colocada em um programa computacional simples, desde que se controle a seleção do tipo de problema a abordar, especificando a geometria, condições de contorno, seleção de elementos, etc. Outra característica muito positiva do método é a semelhança entre o modelo físico e o modelo real fazendo com que a abstração matemática seja fácil de visualizar (SMITH, 2005).

A idéia principal do Método de Elementos Finitos consiste em se dividir o domínio (meio contínuo) do problema em sub-regiões de geometria simples (formato triangular, quadrilateral, cúbico, etc.), conforme mostra a Figura 7 (SOUZA, 2003):

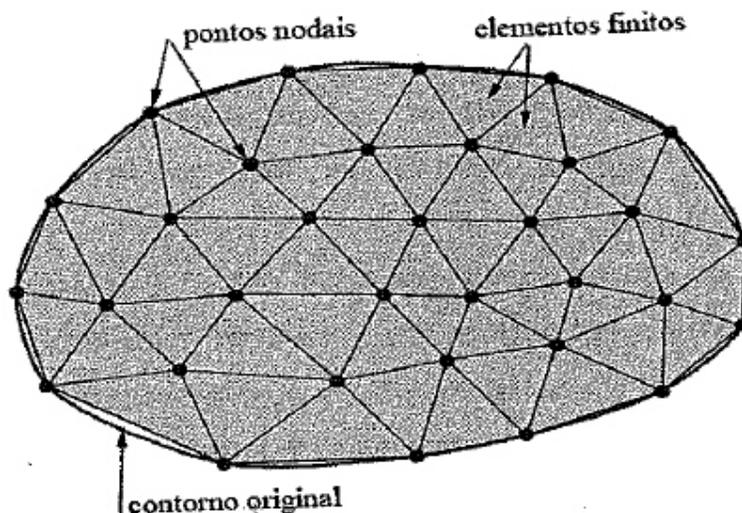


Figura 7: Malha de elementos finitos (SOUZA, 2003, p.2).

Esta idéia é bastante utilizada na engenharia, onde usualmente tenta-se resolver um problema complexo, subdividindo-o em uma série de problemas mais simples. Os elementos finitos utilizados na discretização (subdivisão) do domínio do problema são conectados entre si através de determinados pontos, denominados nós ou pontos nodais, conforme indica a Figura 7. Ao conjunto de elementos finitos e pontos nodais, dá-se o nome de malha de elementos finitos. Diversos tipos de elementos finitos já foram desenvolvidos. Estes apresentam formas geométricas diversas em função do tipo e da dimensão do problema (SOUZA, 2003).

Considera-se que por serem de fácil manipulação matemática, os polinômios são frequentemente empregados para este propósito. Para o caso unidimensional, a alternativa mais simples é um polinômio de primeira ordem ou uma linha reta:

$$U_{(x)} = a_0 + a_1x \quad (18)$$

onde $U_{(x)}$ é a variável dependente; a_0 e a_1 são constantes e x é variável independente.

Matematicamente o resultado das equações dos elementos irá consistir de um conjunto de equações lineares algébricas, podendo ser expressa na forma matricial:

$$[k] \{u\} = \{F\}$$

(19)

Na Equação 19, $[k]$ é uma matriz propriedade ou rigidez do elemento; $\{u\}$ é um vetor coluna de valores desconhecidos dos nós e $\{F\}$ é um vetor coluna, refletindo o efeito de quaisquer influências externas aplicadas nos nós (CHAPRA, 1997).

Depois de se obter as equações dos elementos individuais, elas devem ser colocadas juntas ou montadas para caracterizar o comportamento unificado do sistema inteiro. O processo de montagem é governado pelo conceito de continuidade. Isto é, as soluções de elementos contínuos são combinadas e os valores desconhecidos de seus comuns nós, são equivalentes. Assim, a solução total será contínua. Quando todas as versões individuais são facilmente montadas, o sistema inteiro é expresso sob forma matricial, como:

$$[k] \{u'\} = \{F'\} \quad (20)$$

Na equação 20, $[k]$ é a matriz propriedade montada e $\{u'\}$ e $\{F'\}$ são vetores colunas de valores desconhecidos dos nós e forças externas com apóstrofes, para determinar uma montagem dos vetores $\{u\}$ e $\{F\}$ dos elementos individuais (CHAPRA, 1997).

3 METODOLOGIA

A metodologia utilizada para realizar a análise estrutural e dimensional foi o método da análise por elementos finitos para mecânica estrutural. Para isto, utilizou-se o aplicativo ANSYS no PROE. O ANSYS é um sistema de análise de projetos que está integrado ao PROE sendo que este fornece soluções para análises térmicas, de tensões, de frequência, flambagem e otimização.

Para o desenvolvimento das análises, foi necessário fazer o projeto do novo carro e a partir daí, aplicar as forças no mesmo para gerar as figuras com as cores e valores de tensão e deformação, as quais são as referências para interpretação dos resultados.

Também, foram utilizados alguns conceitos para embasamento teórico e aplicação de cálculos.

3.1 PROCEDIMENTO PARA ANÁLISE DIMENSIONAL

O carro apresentado na Figura 8 trata-se de um equipamento destinado ao transporte das plataformas de corte, o qual é acoplado na barra de tração do trator e manuseado em terrenos de diferentes situações, como asfalto e terreno pedregoso.

A sua fabricação consiste em um chassi constituído de viga I de 0,3048m polegadas, onde neste, estão fixados os 4 cubos de roda, ambos giratórios e 8 pneus 6.50 R16 com capacidade de carga de 1010 kg cada pneu e o cabeçalho com o engate para a barra de tração constituída de viga U soldadas. O restante da estrutura compreende cantoneiras, barras redondas, tubos e chapas, ambos de material SAE1020 e seu peso total é de 3350 kg. Sua estrutura divide-se em 4 partes. Sendo elas, o chassi, os 4 apoios para as plataformas, os cubos de roda com as rodas e a lança para engate da barra de tração.



Figura 8: Carro de transporte.

O chassi, conforme Figura 9, é um conjunto soldado, onde são fixados os eixos, a lança de engate da barra de tração e os pontos de apoio e engate das plataformas. Fabricado em aço SAE 1020, tendo 10.4m de comprimento e pesando 3070 kg.

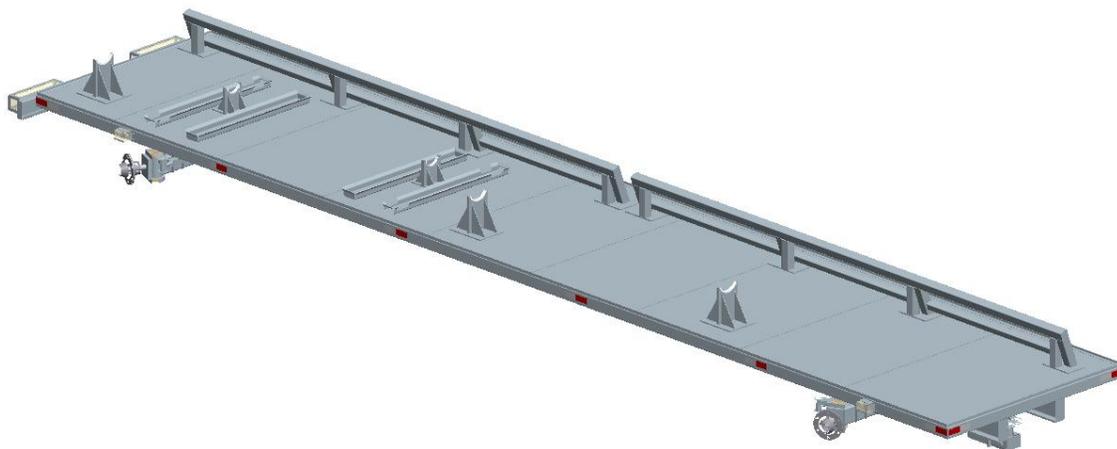


Figura 9: Chassi

Os eixos conforme Figura 10 são soldados e nele são fixados os cubos de roda através de parafusos.

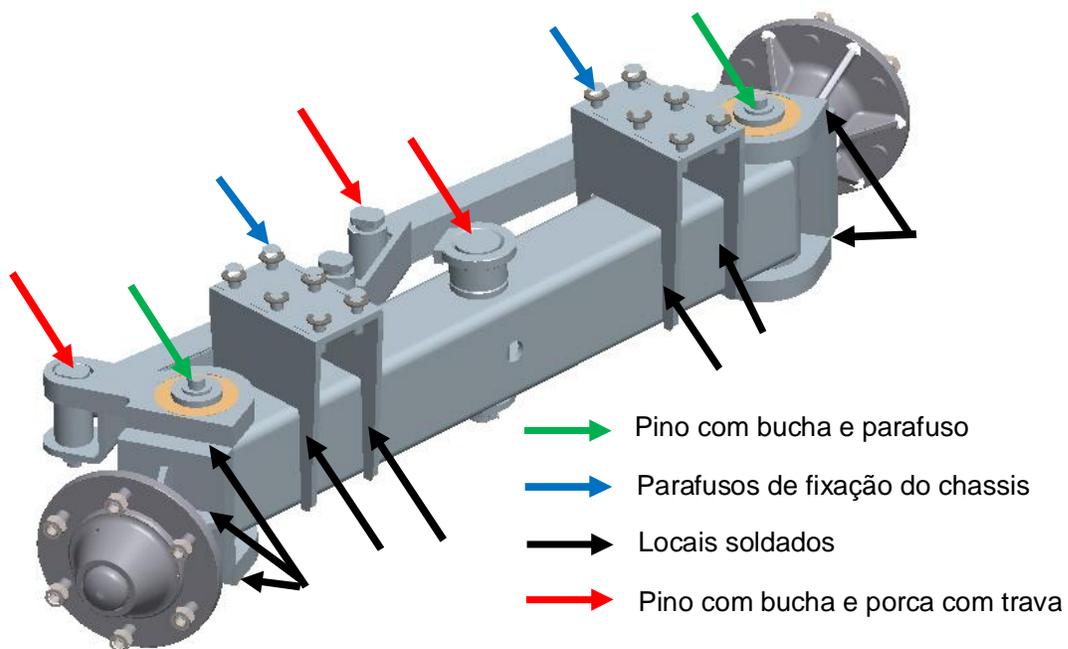


Figura 10: Eixo completo

A lança de engate da barra de tração, Figura 11, é um conjunto soldado e fixado no chassi por pinos e parafusos.

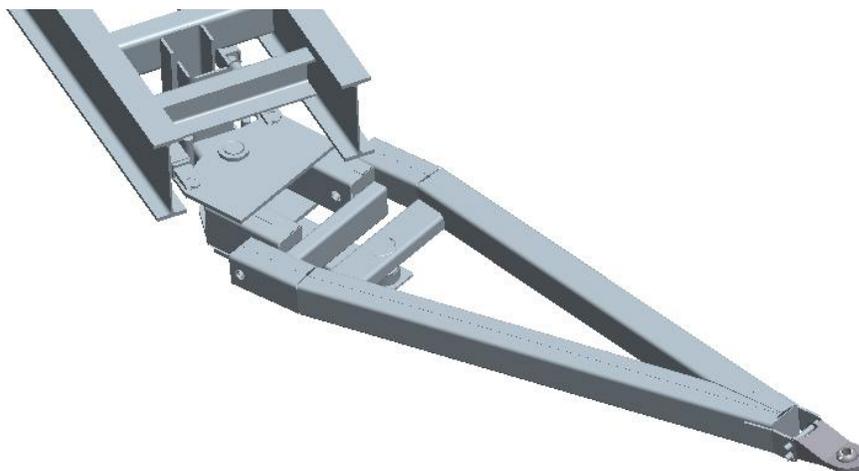


Figura 11: Engate barra de tração

Para fins de cálculo, considerou-se o carro de transporte dividindo em três seções conforme ilustrado nas Figuras 09, 10 e 11, considerando-se as rodas fixas no eixo.

Na Figura 12, podemos ver que a plataforma Flex Draper está apoiada em dois pontos, os quais estão indicados na cor azul e que o peso total da plataforma com o peso do carro, somam 8353 kg.

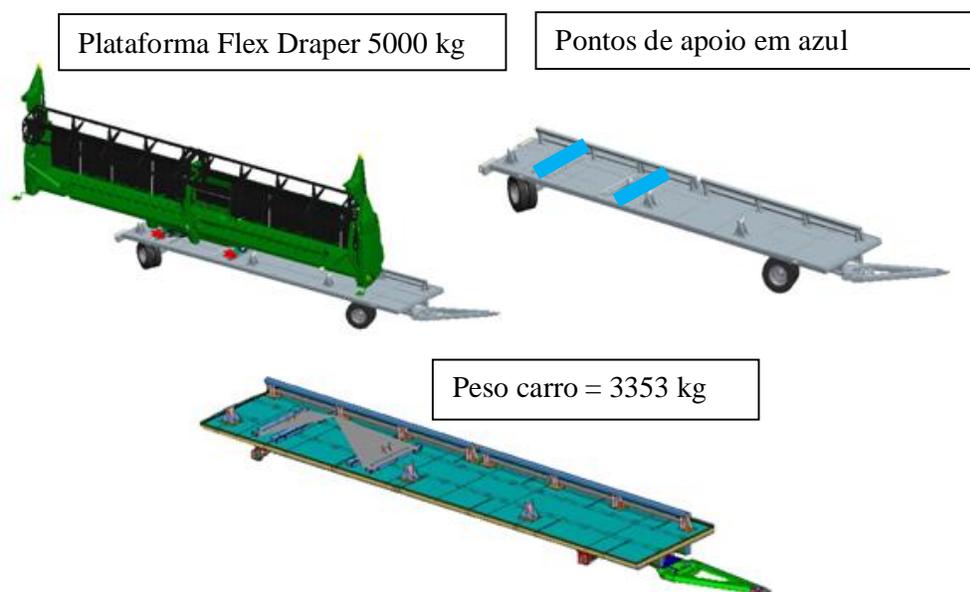


Figura 12: Pontos de apoio e peso total do carro

Para definir as partes do carro de transporte a serem analisadas, admitiu-se que os pontos mais susceptíveis a deformação devido às cargas, seria o chassi nos pontos de apoio, o engate da barra de tração e os eixos dianteiro e traseiro. Foi selecionado estas seções devido às plataformas terem aumentado seu dimensional de tamanho e peso. Dividiu-se o carro de transporte em seções restringindo seus movimentos, conforme Figura 13. Para analisar as tensões que atuam na estrutura, considerou-se a mesma em seu ponto mais crítico, ou seja, com a plataforma mais pesada, Flex Draper, que pesa 5000kg.

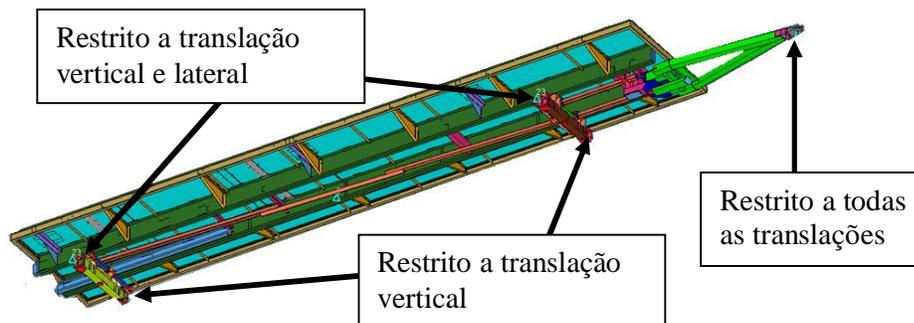


Figura 13: Pontos que foram restringidos

3.1.1 Análises quanto à mecânica dos sólidos

Baseando-se nos conceitos de mecânica dos sólidos, realizaram-se os cálculos do momento fletor , que é provocado pelas cargas externas exercidas pelo peso das plataformas e a força exercida no engate da barra de tração. Para calcular o momento aplicou-se a Equação 21, onde é a força aplicada e é a distância entre os pontos de aplicação da carga.

(21)

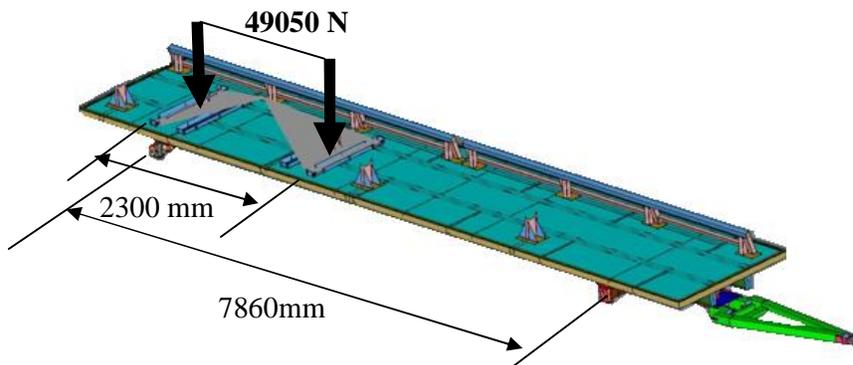


Figura 14: Aplicação da força e as distâncias

Para a carga F aplicada no ponto indicado na Figura 14, utilizou-se a carga total de 49050 N, obtida através da multiplicação da capacidade atribuída (5000 kg) pela intensidade do campo gravitacional local ($9,81\text{m/s}^2$), o resultado foi dividido entre as duas vigas “I” que fazem a estrutura do carro.

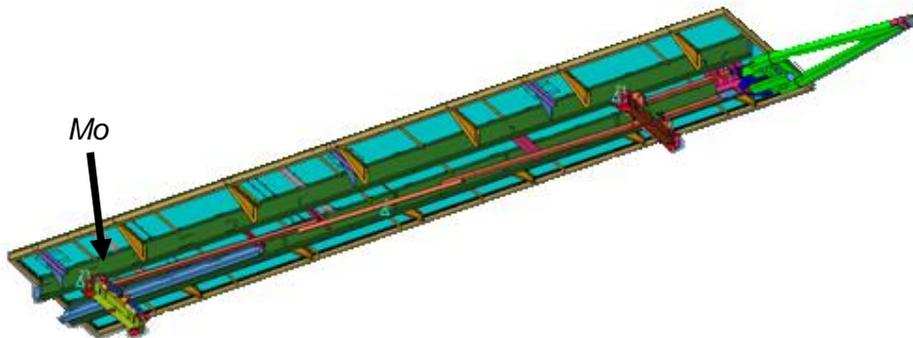


Figura 15: Ponto de aplicação do cálculo do momento

3.1.2 Tratamento dimensional por elementos finitos

De modo a assegurar que o carro irá suportar a carga estabelecida, realizou-se a simulação do comportamento da estrutura considerando o carro com a carga máxima sendo aplicada e o local onde foi aplicada a carga, conforme apresentado na Figura 12, definindo com esta análise se o carro sustentaria a carga ou se teria alguma deformação excessiva.

O modelo matemático utilizado para o cálculo da tensão pelo software é a da tensão de Von Misses que em termos das tensões normais de corte é definida por:

$$\sigma_{\text{vonnises}} = \sqrt{\frac{\sigma_x^2 + \sigma_y^2 + \sigma_z^2 - \sigma_x\sigma_y - \sigma_x\sigma_z - \sigma_y\sigma_z}{3} + \tau_{xy}^2 + \tau_{xz}^2 + \tau_{yz}^2} \quad (22)$$

onde:

- Tensão Normal na direção X
- Tensão Normal na direção Y
- Tensão Normal na direção Z
 - Tensão de corte na direção Y no plano YZ
 - Tensão de corte na direção Z no plano YZ
 - Tensão de corte na direção Z no plano XZ

Em termos das tensões principais, a Tensão de Von Misses é dada por:

$$\sigma_{\text{vonmises}} = \frac{\sqrt{(P1-P2)^2 + (P2-P3)^2 + (P3-P1)^2}}{2} \quad (23)$$

onde:

$P1$ – Tensão normal na primeira direção principal (maior)

$P2$ – Tensão normal na segunda direção principal (intermédia)

$P3$ – Tensão normal na terceira direção principal (menor)

3.1.3 Análise do chassi por elementos finitos

O corpo de prova selecionado para fazer a análise foi o chassi, apresentado na Figura 12, o qual foi tratado como um corpo sólido, onde aplicou-se uma análise estática com malha sólida e uma temperatura de deformação zero, de 298 Kelvin.

Para a análise estrutural, foram aplicados três casos de carga, os quais possuem valores atribuídos pelo software ANSYS, sendo eles:

- LC1 – Aceleração vertical – 2.0g para baixo,
- LC2 – Frear bruscamente – 0.5g para frente + 1.0g para baixo
- LC3 – Subida de rampa (50% de inclinação ~ 26.5 grau) – 0.5g para trás + 1.0g para baixo.

Aplicando a aceleração necessária para parar o carro em um segundo (LC2), operando a 20 km/h, obtemos o seguinte resultado:

$$v = v_o + a \cdot t \quad (24)$$

onde:

v = Velocidade Final

v_o = Velocidade Inicial

a = Aceleração

t = Tempo

$$\begin{aligned} v &= v_o + a \cdot t \\ 0 &= \frac{20}{3.6} + a \cdot 1 \\ a &= -5.55 \text{ m/s}^2 \end{aligned} \quad (25)$$

Para subida de uma rampa (LC3), Figura 16, o carro deve sofrer basicamente duas forças. A resistência ao rolamento e os componentes do próprio peso.

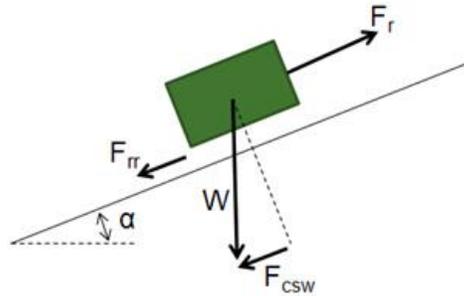


Figura 16 – Rampa com os Sentidos das Forças

Considerando uma rampa de 50% de inclinação, a força de subir é a seguinte:

$$F_r = F_{csw} + F_{rr} \quad (26)$$

onde:

F_{csw} - Força do próprio peso

F_{rr} – Força de resistência ao rolamento

F_r - Força para levantar

$$F_r = W * \sin(\alpha) + \mu * W * \cos(\alpha)$$

$$F_r = W * \sin(26.5) + 0.01 * W * \cos(26.5)$$

$$F_r \approx 0.5 * W$$

(27)

O tipo de modelo linear selecionado foi o linear estático isotrópico e a Tensão de Von Mises foi o critério de falha predeterminado.

Na Tabela 1 são apresentados os dados da malha aplicada no chassi.

Tabela 1: Informações da malha do chassi

Tipo de malha	Malha sólida
Gerador de malhas usado:	Malha com base em curvatura
Pontos Jacobianos	4 Pontos
Tamanho máximo de elemento	0 mm
Tamanho de elemento mínimo	0 mm
Qualidade da malha	Malha com qualidade Rascunho
Total de nós	179601
Total de elementos	552206
Proporção máxima	29.331
% de elementos com Proporção < 3	25.6
% de elementos com Proporção < 10	0.996

Na Figura 17 podemos observar a malha resultante do ensaio realizado no chassi.

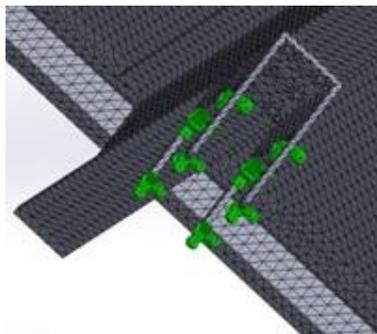


Figura 17: Malha aplicada no chassi

A malha está com qualidade rascunho, pois como é um conjunto complexo e os computadores que foram utilizados para gerar a mesma, não tiveram capacidade suficiente para gerar uma malha normal.

4 APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DOS RESULTADOS

4.1 RESULTADOS OBTIDOS POR APLICAÇÃO DE MECÂNICA DOS SÓLIDOS

Após aplicar as equações de mecânica dos sólidos e desenvolver as operações, obtiveram-se os seguintes resultados:

Para o cálculo do momento fletor que ocorre sobre a estrutura do chassi, utilizou-se a Equação 21, para a qual, a força () é igual a 49050 N e a distância é de 2300mm, obtendo-se então o momento de 12490 Nm.

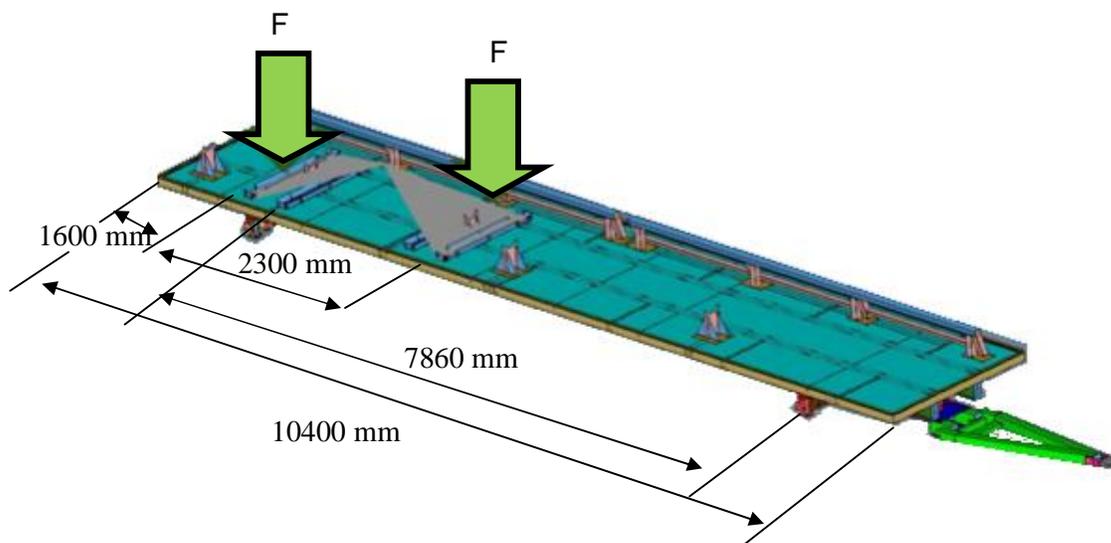


Figura 18: Local da carga aplicada e a distância entre a carga.

A Figura 19 representa o diagrama da viga analisada.

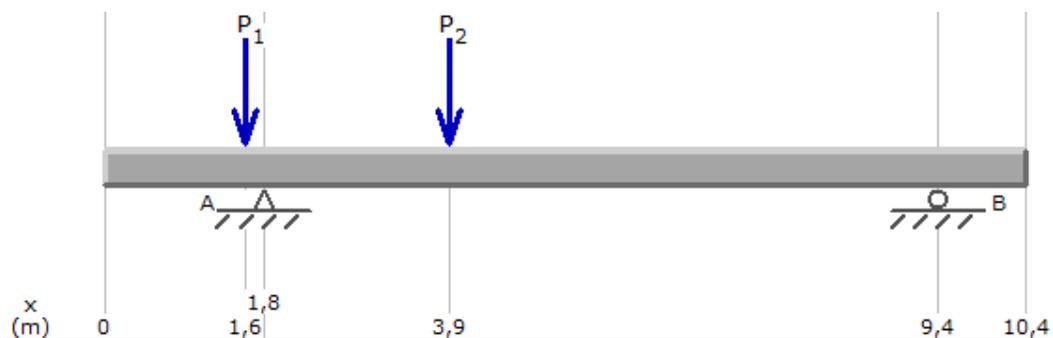


Figura 19: Diagrama da viga analisada.

A Figura 20 representa o momento fletor respectivamente, para a viga analisada em kN.

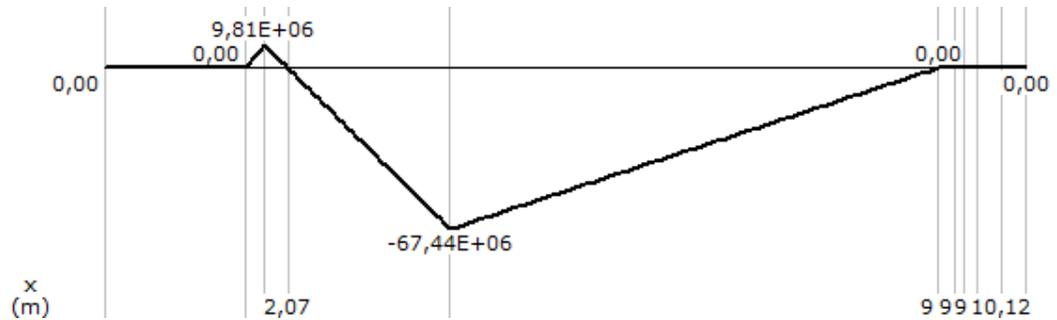


Figura 20: Momento fletor.

A Figura 21 representa os diagramas de esforço cortante para a viga analisada.

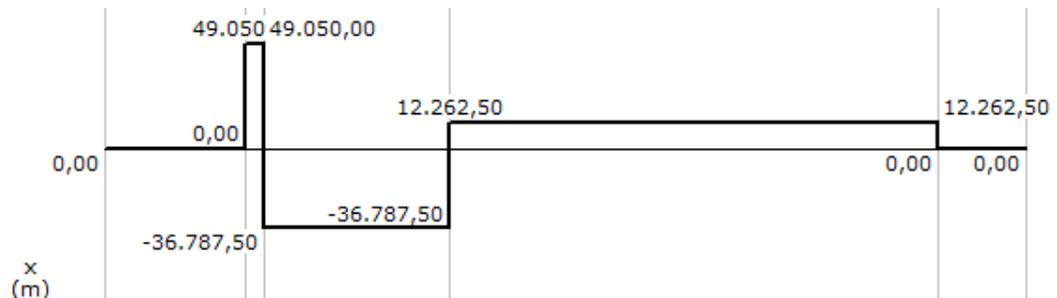


Figura 21: Diagrama de esforço cortante.

O momento fletor maior ocorrido no chassi demonstrou ser sob o meio do chassi, e o ponto de maior esforço ocorreu no sob o eixo traseiro, o que evidencia com o uso do Software ANSYS.

4.2 RESULTADOS DA ANÁLISE DE ELEMENTOS FINITOS

Os resultados das análises de elementos finitos apresentam-se em uma linha graduada de cores, onde cada cor é correspondente a uma tensão ou deslocamento diferente ocorridos na estrutura, sendo que a cor vermelha sempre indica onde devemos dar atenção.

A Figura 22 apresenta a deformação estática sofrida pelo corpo quando aplicada no chassi a carga de 49050 N. Pode-se observar que apenas num pequeno ponto como indicado, tem-se uma deformação mais significativa, devido à carga estar centralizada sobre este local.

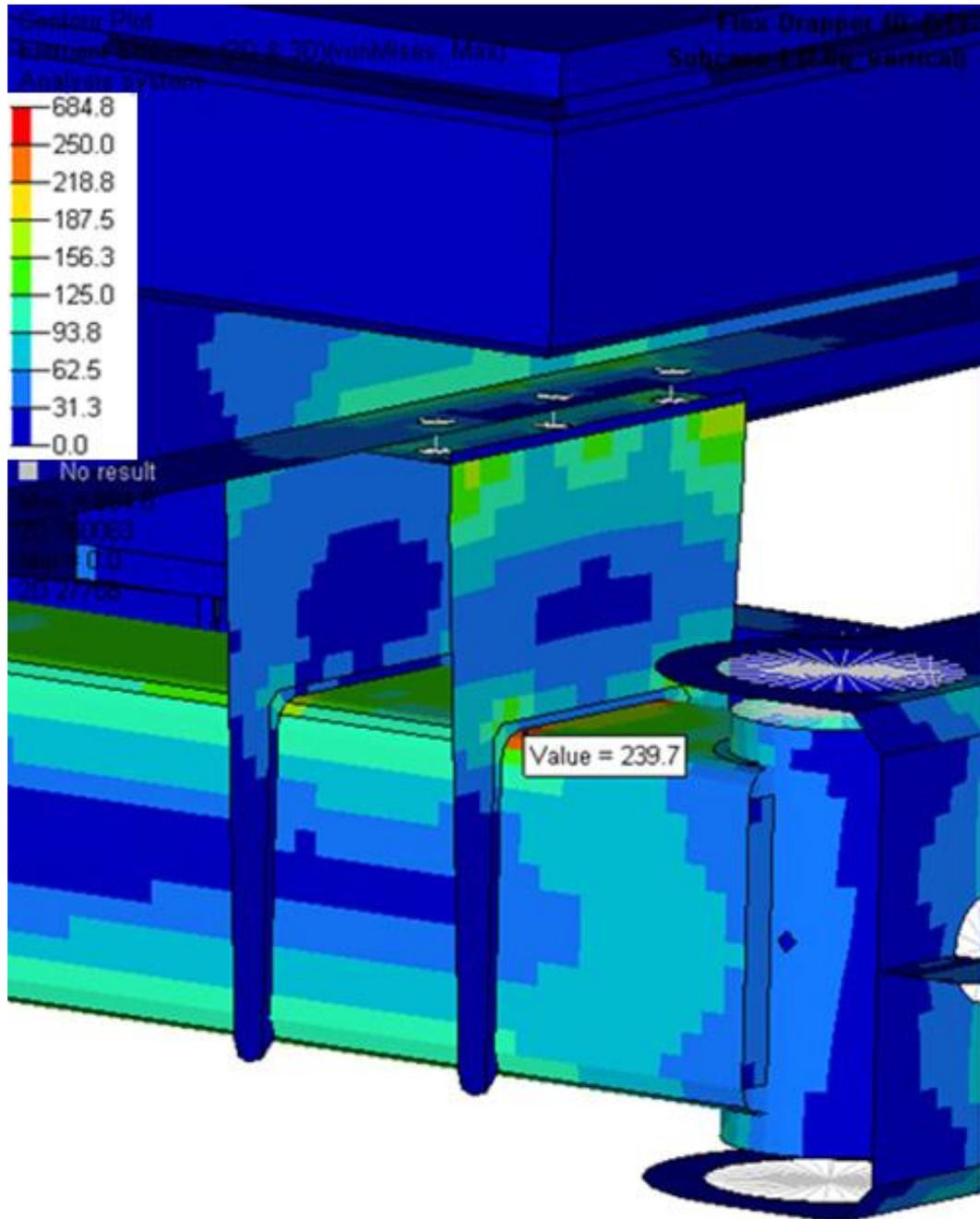


Figura 22: Eixo traseiro com 239.7 MPa, local da maior deformação

As Figuras 23, 24 e 25 mostram a deformação máxima do chassi, se aplicada a carga de 5000 kg divididas em dois apoios. Observa-se então que a deformação máxima sofrida pela estrutura do carro, nas 3 condições de análise, foi de 19,2 mm (Magnitude), representada na cor vermelha da Figura 23 e quando aplicado a carga de LC1, sendo que esta deformação ocorre devido a carga está apoiada mais sobre o eixo traseiro e a grande distância entre os eixos. Nas Figuras 24 e 25, esta

deformação é menor, pois o método de aplicação de cargas, LC2 e LC3, exercem esforços diferentes, em sentido de frenagem e rampa.

Nas Figuras 26, 27 e 28, são demonstrados os resultados das análises nas regiões consideradas de risco. Através da Figura 26, pode-se observar a máxima tensão ocorrida no eixo traseiro, a qual foi de 239.7 MPa, sendo que esta tensão é referente ao LC1, situação de maior tensão sofrida pelo material.

As tensões sofridas pelas Figuras 26, 27 e 28 apresentam resultado de forma que, de acordo com a aplicação da carga, gera uma condição de tensão diferente, ou seja, quando aplicamos a carga de LC1 temos a maior deformação por estar aplicando as forças na vertical, em contrapartida, quando aplicamos as cargas de deslizamento (LC2) e a carga de inclinação de rampa (LC3), resulta em uma menor tensão que LC1.

A Figura 29 apresenta uma maior deformação que é de 125.9 MPa, quando aplicado o LC3, que trabalha com o deslocamento em rampa, mas não há problemas com esta estrutura por apresentar uma deformação baixa em relação a máxima deformação que o material resiste.

A Figura 30 apresenta as análises realizadas no engate da barra de tração com o chassi. Pode-se observar que não teve partes com deformação que pudessem danificar a estrutura, pois o valor máximo foi de 68.9 MPa quando aplicamos o LC3, considerando que esta estrutura apresenta uma deformação baixa, em relação ao permitido pelo material.

A Figura 31 apresenta as deformações sofridas pelo eixo dianteiro. Pode-se observar, que não teve partes com deformação que pudessem danificar a estrutura, pois o valor máximo de tensão encontrado foi de 81.2 MPa quando aplicamos o LC1, considerando que esta estrutura apresenta uma deformação baixa.

A Figura 32 apresenta as deformações sofridas pelo eixo traseiro. Pode-se observar que apenas num pequeno ponto como indicado, ou seja, na união soldada que liga o eixo com a estrutura de fixação do chassi temos uma deformação sofrida e que neste ponto é onde pode haver danificação da estrutura ao longo do tempo, sendo que a deformação máxima resultou em 239.7 MPa, quando aplicamos o LC1, não sendo um problema para a estrutura, pois o material aplicado atende até 379 MPa de deformação.

Após as análises realizadas nos pontos considerados críticos, conforme Figuras 29, 30, 31 e 32, constatou-se que a máxima deformação sofrida pela

estrutura do carro ocorre na união soldada do eixo traseiro com o suporte de fixação do chassi, pois é neste ponto onde está aplicada a maior carga, porém como a deformação do material é 379 MPa e nas análises foram encontradas 239,7 MPa, não há problemas de deformação que irão danificar o carro, ou seja, o carro atende as especificação as quais foi projetado e pode está liberado para trabalho sem necessidade de reforçar ou redimensionar sua estrutura.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Através de uma pesquisa de revisão bibliográfica e da simulação computacional realizada com o aplicativo ANSYS, foi possível verificar o dimensionamento parcial da estrutura do carro de transporte das plataformas, onde mostrou as partes do carro que mais sofreram deformações significativas.

Os resultados obtidos e interpretados de acordo com a escala de cor das figuras e o valor das tensões e deformações encontradas mostraram que o eixo traseiro sofreu maior deformação, devido ao peso e ao posicionamento do centro de gravidade da plataforma ser sobre o eixo traseiro, o que já era previsto, confirmando a hipótese com a análise e o trabalho realizado.

As deformações resultantes das análises, não atingiram os limites máximos permitidos pelos materiais, demonstrando que o carro não necessita ser redimensionado ou reforçado nestes pontos e que o mesmo está dimensionado de forma que atenda a necessidade pela qual foi projetado, cabe salientar que é necessária manutenção preventiva do carro, garantindo ainda mais sua vida útil.

6 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

Como sugestão para trabalhos futuros, mencionaria construir o carro e medir estas tensões e deformações por experimentos práticos, pois através desta experiência irá se confirmar o que a análise computacional resultou.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ARRIVABENE, V. **Resistência dos Materiais**. São Paulo: Makron Books, 1994.
- BEER, F. P.; JOHNSTON, E. R. JR. **Mecânica Vetorial Para Engenheiros ESTÁTICA**. 3 ed. São Paulo: McGraw Hill. 1980.
- CALLISTER, W. D. **Ciência e Engenharia de Materiais: Uma Introdução**. 5 ed. LTC, São Paulo, 2002.
- CHAPRA, STEVEN C. & CANALE, RAYMOND P. **Numerical methods for engineers with programming and software applications**. 3 ed. McGraw-Hill International Editions, 1997.
- FERRAL, **Equipamentos Industriais**, 2012. Disponível em: http://www.ferral.com.br/index.php?option=com_content&view=article&id=56&Itemid=67&lang=pt. Acesso em 01 setembro de 2012
- HIBBELER, R. C. **Resistência dos Materiais**. 3 ed. Rio de Janeiro: LTC, 2000.
- MARTINS, J. G. **Estruturas Metálicas**. 6 ed. Vol. II. 2011. Disponível em: <HTTP://www2.ufp.pt/~jguerra/PDF/Construcao%20Metalica%20e%20Mista/EC3%20-%20Parte%202.pdf>. Acesso em 22 de agosto de 2012.
- MARTHA, LUIZ F. **Método Básico da Análise de Estruturas**. Rio de Janeiro: Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro – PUC-Rio – Departamento de engenharia Civil. 2011.
- MELCONIAN, S. **Mecânica Técnica e Resistência dos Materiais**. São Paulo: Erica. 1999.
- POPOV, E. P. **Introdução a Mecânica dos Sólidos**. 1 ed. São Paulo: EDGARD BLÜTCHER LTDA, 1978.
- SENAI. SC. **Resistência dos materiais**. Florianópolis, FIESC/SENAI 2004.
- SMITH, P. NETO. **Fundamentos para o Projeto de Componentes de Máquina**. Belo Horizonte: Pontifícia Universidade Católica de Minas Gerais, 2005.
- SOMMER, R.C. **Otimização de Estruturas Por Algoritmos Genéricos Submetidas a Restrições de Flexibilidade e Flambagem**. 2010. Dissertação (Mestre em Engenharia). Universidade Federal do Rio Grande do Sul – Programa de Pós Graduação em Engenharia Mecânica, Porto Alegre, 2010
- SOUZA, R. M. **O Método dos Elementos Finitos Aplicado ao Problema de Condução de Calor**. Belém, 2003.

APÊNDICE A – FIGURAS DAS ANÁLISES APLICANDO ELEMENOS FINITOS

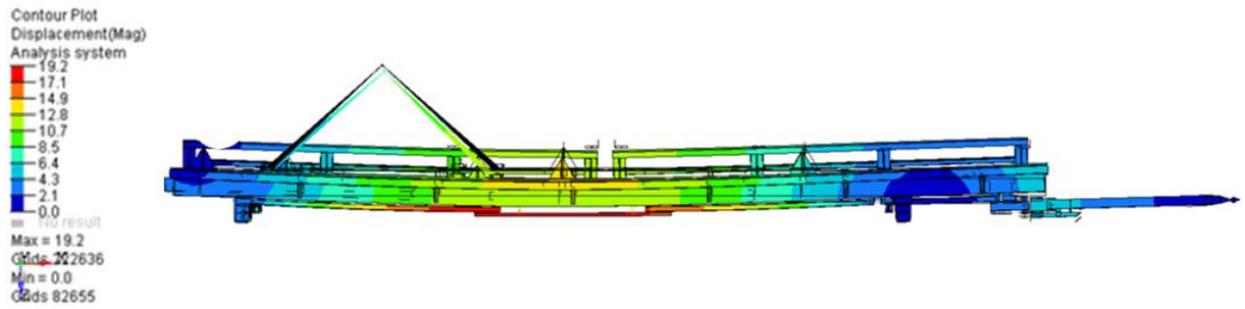


Figura 23: LC1 - vertical

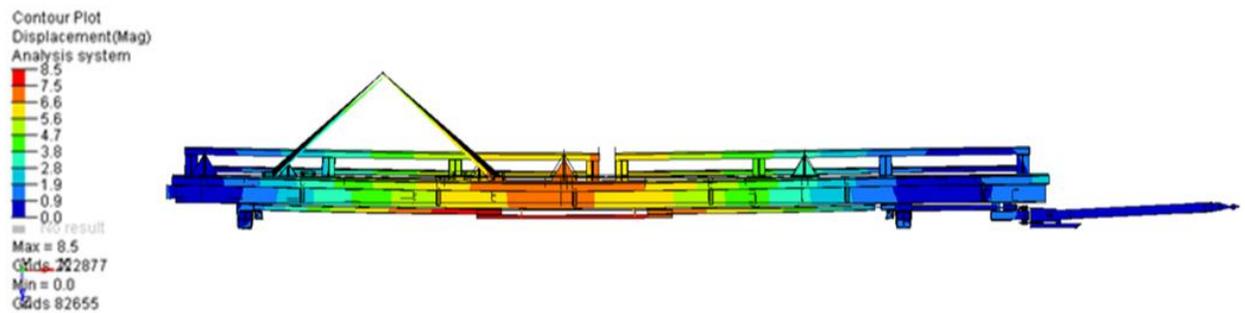


Figura 24: LC2 – frenagem

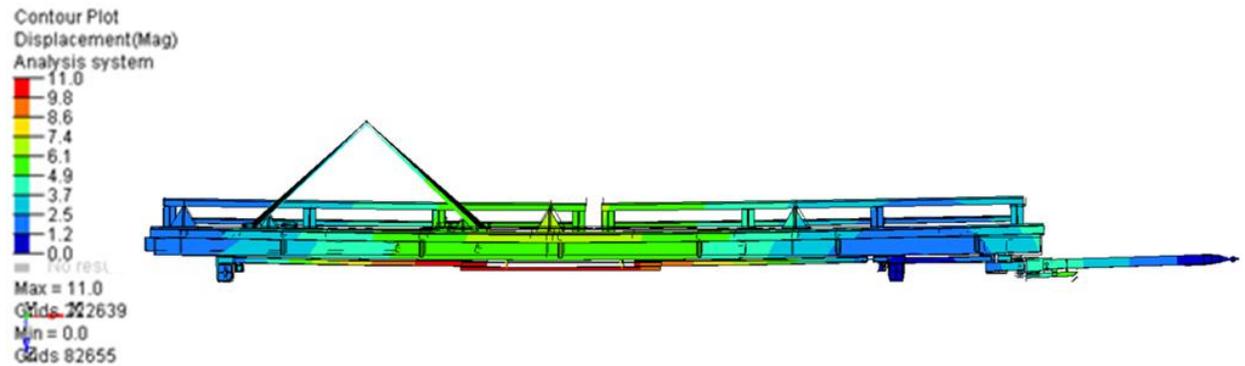


Figura 25: LC3 - rampa

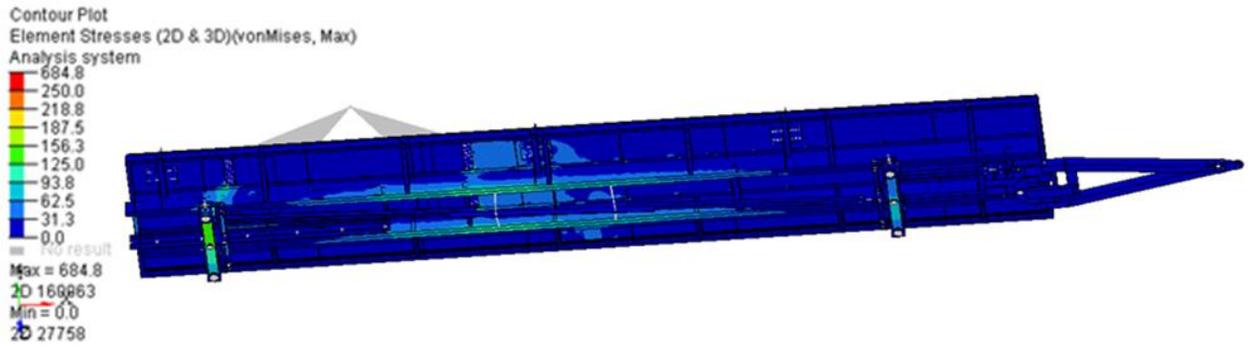


Figura 26: LC1 - vertical

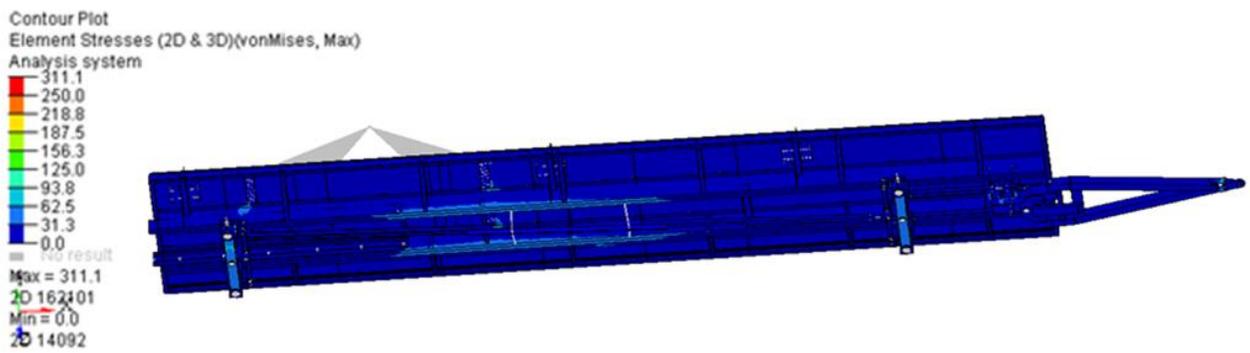


Figura 27: LC2 - frenagem

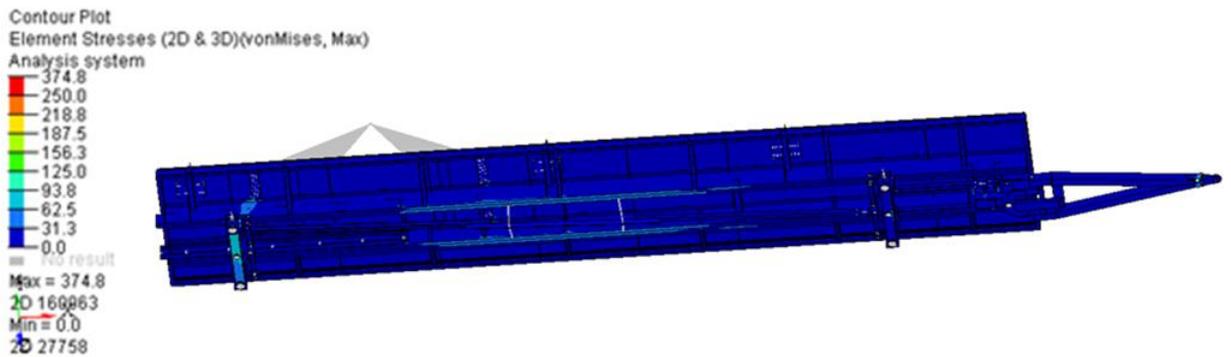


Figura 28: LC3 - rampa

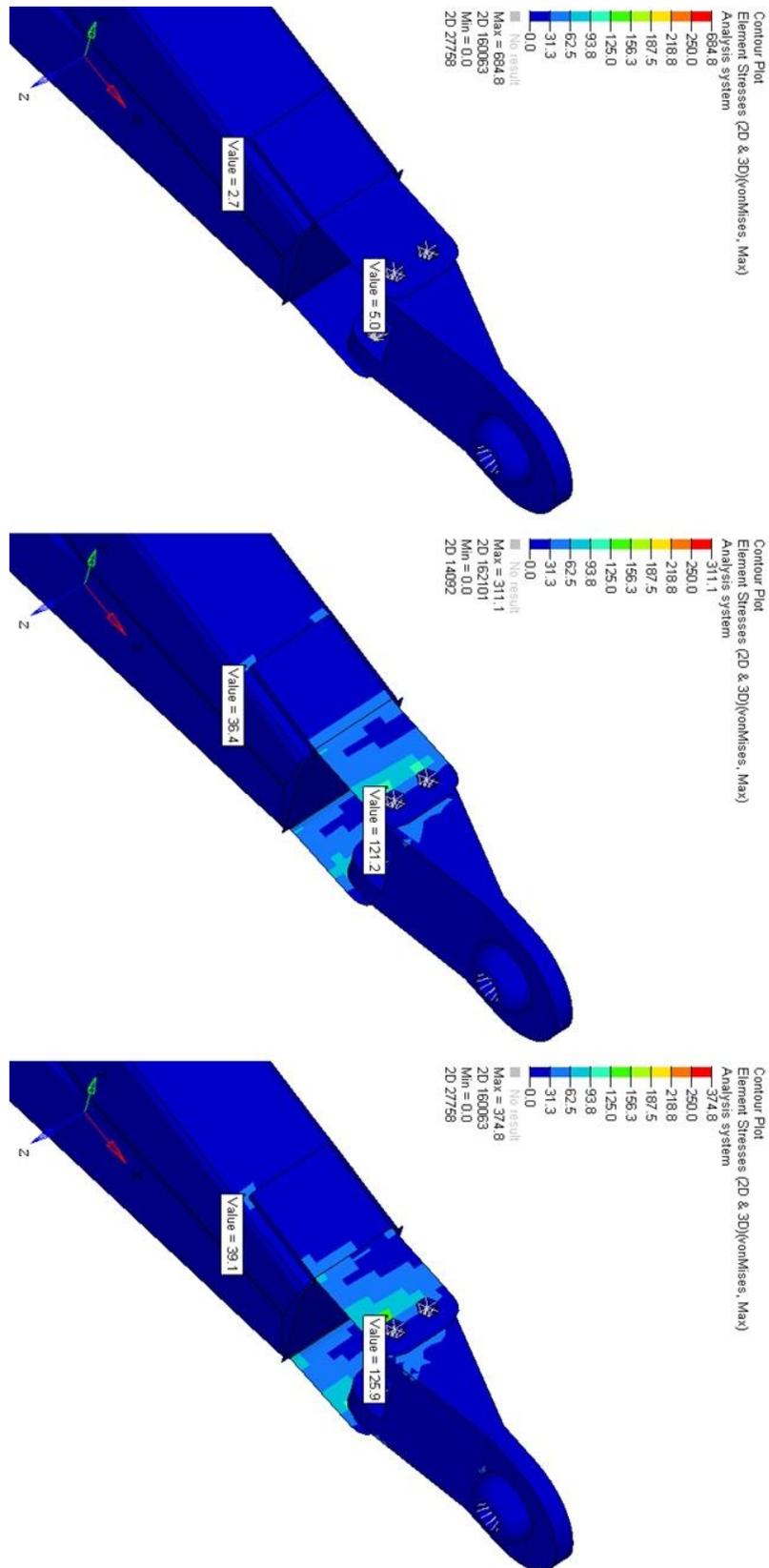


Figura 29: Análise do engate da barra de tração com as aplicações de LC1, LC2 e LC3.

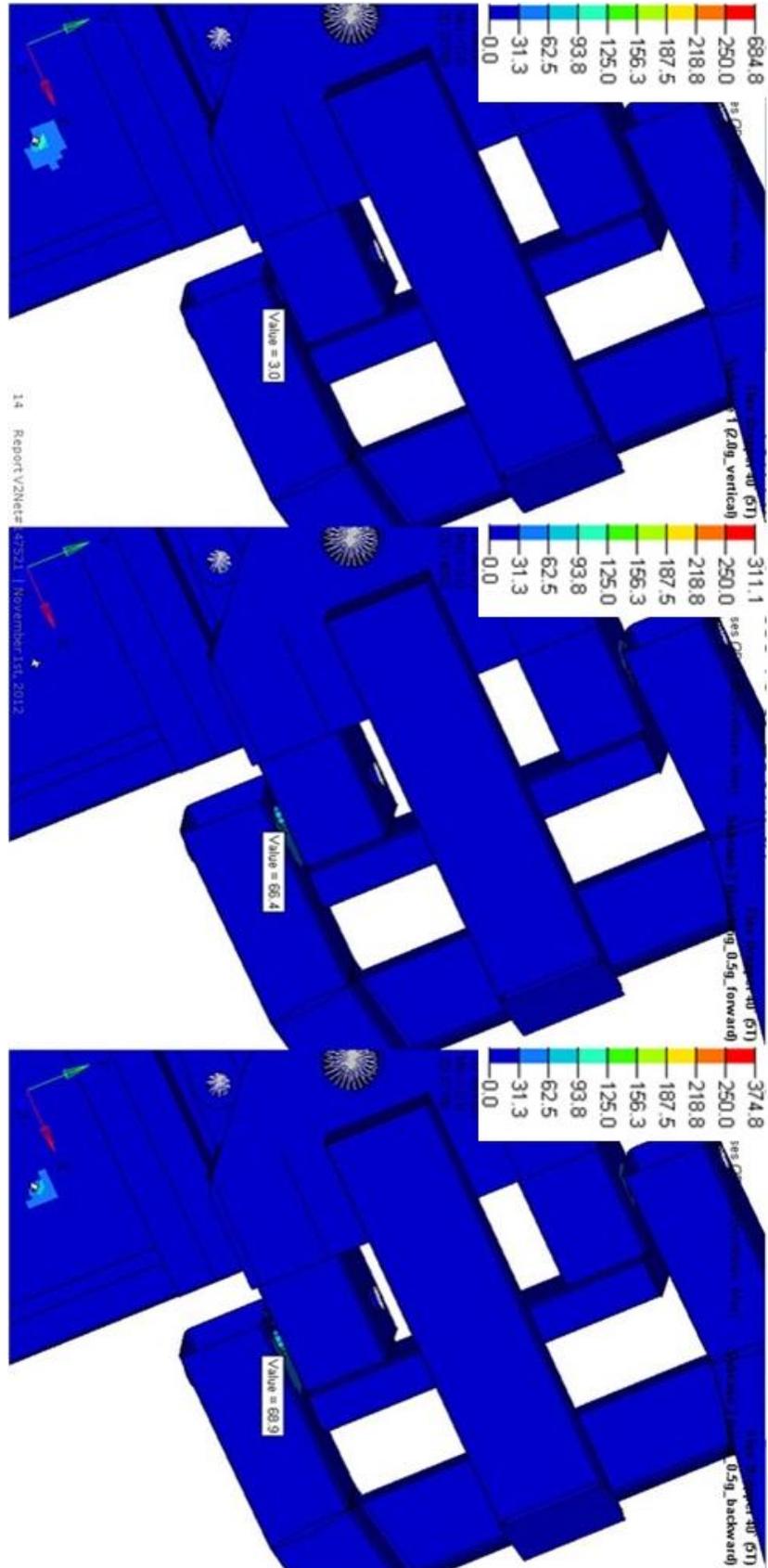


Figura 30: Análise do engate da barra de tração com o chassi aplicando LC1, LC2 e LC3.

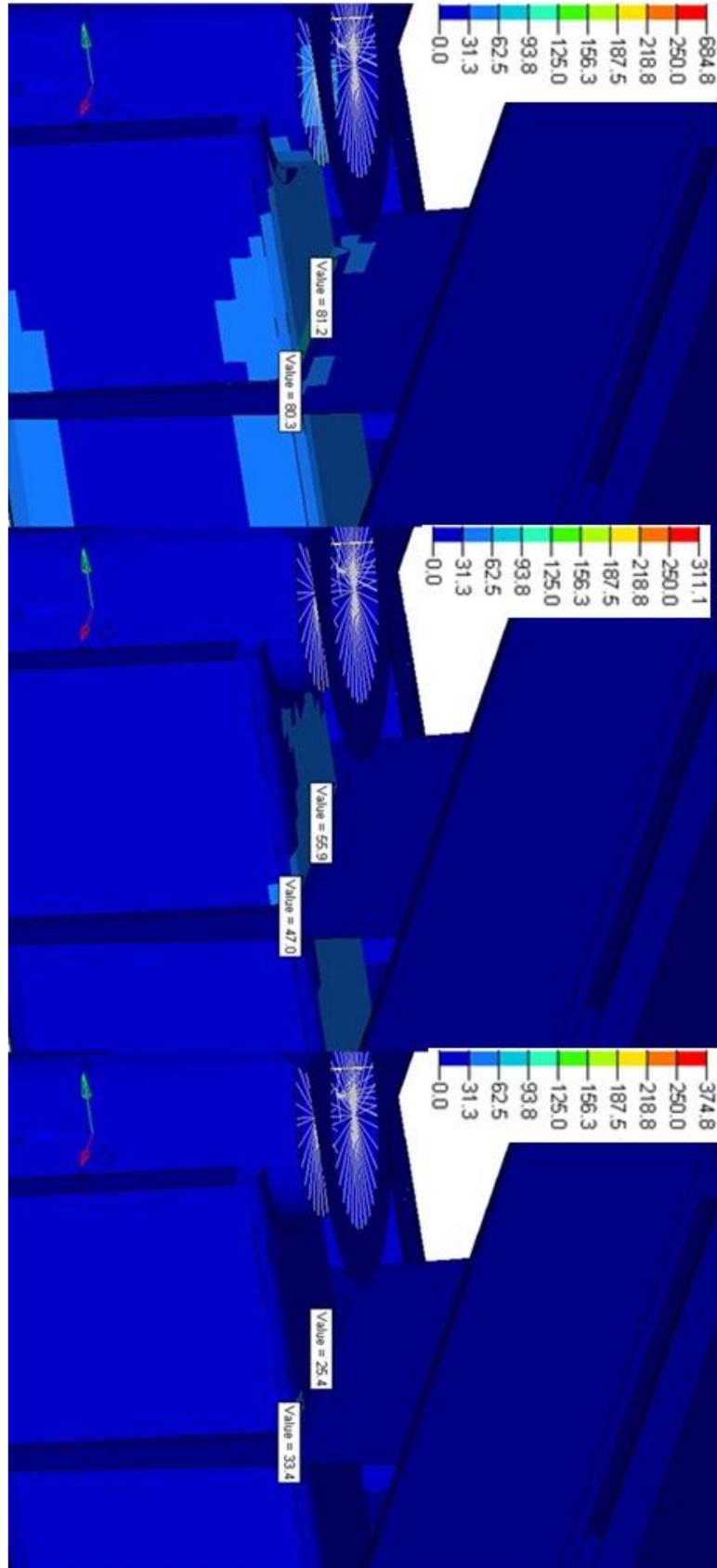


Figura 31: Análise do eixo dianteiro aplicando LC1, LC2 e LC3

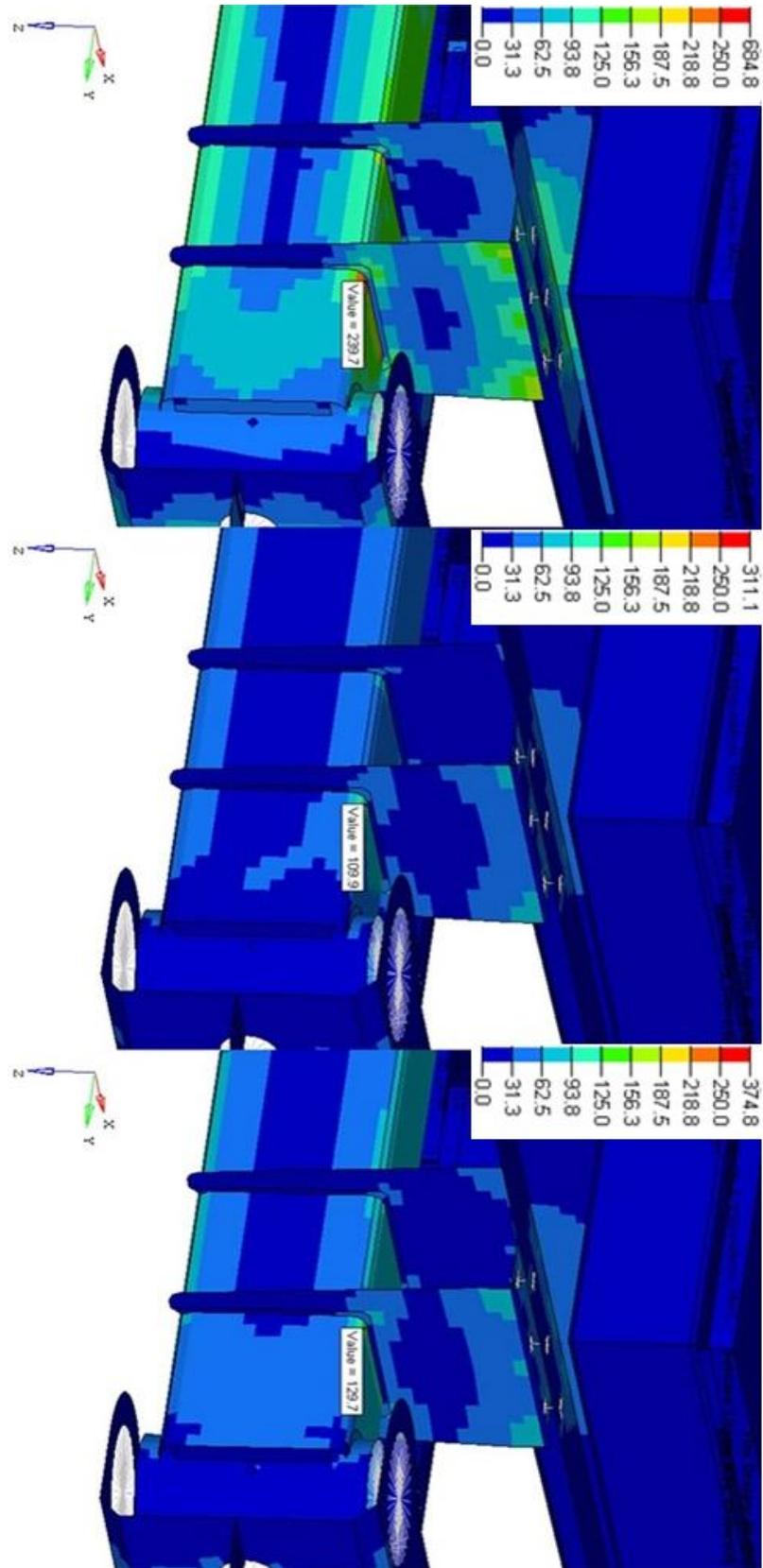


Figura 32: Análise do eixo traseiro aplicando LC1, LC2 e LC3