

**CENTRO UNIVERSITARIO ASSIS GURGACZ
FERNANDO RAUBER KLEIN**

**ANÁLISE DE COMPORTAMENTO ESTRUTURAL DE UM GUINDASTE TIPO
TORRE CRIANDO UM GRÁFICO DE CARGAS POR MEIO DA TEORIA DO
MÉTODO DOS ELEMENTOS FINITOS**

**CASCADEL
2018**

**CENTRO UNIVERSITARIO ASSIS GURGACZ
FERNANDO RAUBER KLEIN**

**ANÁLISE DE COMPORTAMENTO ESTRUTURAL DE UM GUINDASTE TIPO
TORRE CRIANDO UM GRÁFICO DE CARGAS POR MEIO DA TEORIA DO
MÉTODO DOS ELEMENTOS FINITOS**

Trabalho apresentado à disciplina Trabalho de conclusão de curso 2 – do curso de Engenharia Mecânica, do Centro Universitário Assis Gurgacz – FAG, como requisito parcial para obtenção do título de Bacharel em Engenharia Mecânica.

**Professor Orientador: José Claudio
Terra**

**CASCADEL
2018**

**CENTRO UNIVERSITÁRIO ASSIS GURGACZ
FERNANDO RAUBER KLEIN**

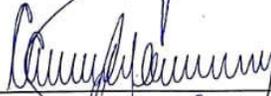
**ANÁLISE DE COMPORTAMENTO ESTRUTURAL DE UM GUINDASTE TIPO
TORRE CRIANDO UM GRÁFICO DE CARGAS POR MEIO DA TEORIA DO
MÉTODO DOS ELEMENTOS FINITOS**

Trabalho apresentado no Curso de Engenharia Mecânica, do Centro Universitário Fundação Assis Gurgacz – FAG, como requisito parcial para obtenção do título de Bacharel em Engenharia Mecânica, sob a orientação do Professor José Claudio Terra Silveira.

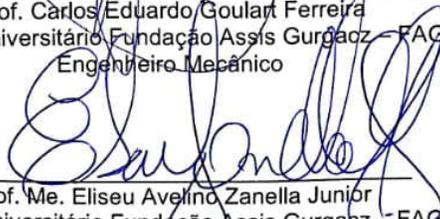
BANCA EXAMINADORA



Orientador Prof. José Claudio Terra Silveira
Centro Universitário Fundação Assis Gurgacz – FAG
Engenheiro Mecânico



Prof. Carlos Eduardo Goulart Ferreira
Centro Universitário Fundação Assis Gurgacz – FAG
Engenheiro Mecânico



Prof. Me. Eliseu Avelino Zanella Júnior
Centro Universitário Fundação Assis Gurgacz – FAG
Engenheiro Mecânico

Cascavel, 07 de dezembro de 2018

DEDICATÓRIA

Dedico este trabalho aos meus pais, minha irmã e meus avós pelo amor, paciência, apoio e pela confiança depositada em mim, fontes de minha extrema motivação.

AGRADECIMENTOS

Primeiramente agradeço a Deus, pela capacitação, força, saúde, e por ter permitido que tudo isso fosse possível.

A minha família, em especial minha mãe, meu pai e minha irmã que com todo amor, sempre me deram força, suporte e apoio, contribuindo assim para que eu chegasse até aqui.

Ao meu orientador José Claudio Terra, pela dedicação ao me orientar, com suas correções e incentivos.

Agradeço a todos os professores por me proporcionar o conhecimento não apenas racional, mas a manifestação do caráter e afetividade da educação no processo de formação profissional.

Agradeço também as empresas Consilos, Mascarello e Getac Engenharia, pelas oportunidades, incentivo e por todo aprendizado oferecido, durante o período da graduação.

Agradeço ao José Leonardo por tornar possível a medição do guindaste.

E por fim, agradeço meus amigos e irmãos que fiz durante a graduação, por ficarmos unidos e termos batalhado firme durante todos esses anos.

RESUMO

Também conhecido como grua, o guindaste de torre consiste em um equipamento de estrutura treliçada que é utilizado para a elevação e movimentação de cargas e materiais pesados a elevadas alturas e grandes distâncias horizontais. Este tema foi escolhido pois um guindaste de torre está sendo cada vez mais utilizado na construção civil, pois garante vantagens em relação à movimentação de cargas com rapidez e segurança. Atentando-se a necessidade cada vez maior de projetos especiais para manuseio do guindaste de torre, depara-se com a necessidade do desenvolvimento e aperfeiçoamento do conhecimento em métodos mais precisos e práticos de cálculo como, por exemplo, o método dos elementos finitos, para uma maior agilidade e precisão de um projeto. O objetivo deste trabalho é criar um gráfico de cargas pela análise estrutural estática utilizando o método dos elementos finitos, garantindo segurança na utilização do guindaste. Foi feita medição dos componentes estruturais em um guindaste tipo torre existente, desenhado sua geometria no AutoCAD, importado a estrutura para o software de elementos finitos ANSYS, estipulando um coeficiente de segurança, realizado as análises de tensões e por fim criado um gráfico de cargas para a operação do guindaste. A partir dos resultados podemos concluir que o método dos elementos finitos para análise de tensões pelo software ANSYS se mantém preciso aos valores reais, e que é possível a criação de um gráfico de cargas para a operação do guindaste.

Palavras-chave: Mecânica dos materiais, ANSYS, Tensão.

ABSTRACT

Also known as a crane, the tower crane consists of a lattice structure that is used for lifting and moving heavy loads and materials at high altitudes and great horizontal distances. This theme was chosen because a tower crane is being increasingly used in civil construction, as it ensures advantages in relation to the movement of cargo quickly and safely. In view of the increasing need for special designs for tower crane handling, there is a need for the development and improvement of knowledge in more precise and practical methods of calculation, such as the finite element method, for greater agility and accuracy of a project. The objective of this work is to create a load graph by static structural analysis using the finite element method, ensuring safety in the use of the crane. It was measured the structural components in an existing tower crane, designed its geometry in AutoCAD, imported the structure for ANSYS finite element software, stipulating a safety coefficient, carried out the stress analysis and finally created a load chart for operation of the crane. From the results we can conclude that the finite element method for stress analysis by the ANSYS software remains accurate to the real values, and that it is possible to create a load chart for the crane operation.

Key words: Mechanics of the materials, ANSYS, Stress.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Guindaste de torre Liebherr modelo torre fixa	21
Figura 2 – Modelo tridimensional do guindaste de torre representado no Autocad...	23
Figura 3 – Medidas externas do guindaste de torre (em mm)	24
Figura 4 – Vista explodida do guindaste de torre separados por seus módulos	24
Figura 5 – Área da secção transversal dos perfis do conjunto de giro	26
Figura 6 – Área da secção transversal dos perfis da contra lança	26
Figura 7 – Área da secção transversal dos perfis diagonais da lança.....	27
Figura 8 – Área da secção transversal dos perfis longitudinais da lança	27
Figura 9 – Área da secção transversal dos perfis da torre	28
Figura 10 – Estrutura completa com todos os perfis determinados.....	28
Figura 11 – Aceleração da gravidade no modelo	29
Figura 12 – Fixação dos pés no solo.....	30
Figura 13 – Aplicação do esforço do conjunto de contrapeso na contra lança	31
Figura 14 – Aplicações do esforços do conjunto de giro e da cabine.....	32
Figura 15 – Aplicação da carga de trabalho referente a Análise 1	33
Figura 16 – Aplicação da carga de trabalho referente a Análise 2	34
Figura 17 – Aplicação da carga de trabalho referente a Análise 3	34
Figura 18 – Aplicação da carga de trabalho referente a Análise 4	35
Figura 19 – Aplicação da carga de trabalho referente a Análise 5	36
Figura 20 – Aplicação da carga de trabalho referente a Análise 6	36
Figura 21 – Aplicação da carga de trabalho referente a Análise 7	37
Figura 22 – Resultados das tensões da análise 1	39
Figura 23 – Resultados das tensões da análise 2.....	40
Figura 24 – Resultados das tensões da análise 3.....	40
Figura 25 – Resultados das tensões da análise 4.....	41
Figura 26 – Resultados das tensões da análise 5.....	41
Figura 27 – Resultados das tensões da análise 6.....	42
Figura 28 – Resultados das tensões da análise 7	42

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Descrição dos perfis estruturais utilizados no guindaste de torre.....	25
Tabela 2 – Cargas efetivas atuantes no guindaste.....	37
Tabela 3 – Tensões máximas encontradas nas análises realizadas.....	43

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 – Carga máxima suportada pelo guindaste em função do comprimento da lança.....	44
--	----

LISTA DE ABREVIATURAS

MEF – Método dos Elementos Finitos

CAD – Computer Aided Design (Desenho Assistido por Computador)

CAE – Computer Aided Engineering (Engenharia Assistida por Computador)

ASTM – American Society for Testing and Materials

MPa – Mega Pascal

LISTA DE SIMBOLOS

σ – Tensão normal

τ – Tensão de cisalhamento

σ_{adm} – Tensão admissível normal

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	13
1.1.JUSTIFICATIVA	13
1.2. OBJETIVO GERAL	14
1.3. OBJETIVOS ESPECÍFICOS	14
2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	15
2.1. MECÂNICA DOS MATERIAIS	15
2.2. TENSÃO.....	15
2.3. MÉTODO DOS ELEMENTOS FINITOS.....	16
2.4. DESENHO 3D PELO SOFTWARE AUTOCAD.....	17
2.5. ANÁLISE DE MEF PELO SOFTWARE ANSYS.....	18
2.6. COEFICIENTE DE SEGURANÇA.....	18
2.7. GUINDASTE TIPO TORRE.....	19
3. MATERIAIS E MÉTODOS	22
3.1. MEDIÇÃO DE UM GUINDASTE EXISTENTE	22
3.2. DESENHO DA ESTRUTURA NO SOFTWARE AUTOCAD.....	22
3.3. ANÁLISE PELO MÉTODO DOS ELEMENTOS FINITOS	24
3.3.1. Determinação dos perfis.....	24
3.3.2. Determinação das cargas, fixações e geração da malha da estrutura.....	29
4. RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	39
5. CONSIDERAÇÕES FINAIS	45
5.1. SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS	46
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	47
ANEXOS	49

1. INTRODUÇÃO

Como os guindastes de torre são equipamentos que cada vez estão sendo mais utilizados na construção civil aqui no Brasil e por ser um produto que envolve alto risco se calculado ou manuseado incorretamente, o mesmo precisa ser analisado e calculado com muita cautela do ponto de vista estático e dinâmico.

Apesar de já ser muito utilizado e difundido em nosso país, a experiência prática em métodos mais modernos de análise e cálculo deve ser considerada. Uma alternativa além do cálculo analítico, tanto em relação à precisão e velocidade de resposta quanto em relação a segurança é a utilização da análise pelo método dos elementos finitos com poderosos *softwares* de cálculo e modelagem, como o ANSYS, ÁBACUS e NASTRAN, sendo o primeiro utilizado nesse trabalho de graduação.

Portanto, esse trabalho constituirá em fazer uma medição em um guindaste de torre existente, desenhar o modelo tridimensional do guindaste de torre a partir de linhas, considerar diversas cargas envolvidas quando o mesmo está montado, realizar uma análise de tensões pelo método dos elementos finitos pelo *software* ANSYS e criar um gráfico de cargas a partir dos resultados.

1.1. JUSTIFICATIVA

De acordo com ANGEL e FERREIRA (2008), atualmente o volume de obras na construção civil vem aumentando significativamente, com a demanda por moradias impondo um forte ritmo de produção das construtoras com a verticalização das habitações nas grandes metrópoles. Com isso, tem-se exigido cada vez mais o uso de equipamentos eficientes e capazes de atender aos curtos prazos impostos à execução das obras.

Nesse âmbito são necessários equipamentos que fazem transporte vertical e transporte horizontal para movimentação de grandes cargas. Existem guias com lança horizontal que dispõem de formas de movimentações específicas, classificadas em fixas ou estacionárias, ascensionais e móveis sobre trilhos.

A utilização de guindastes na construção civil está cada vez mais presente nas obras, principalmente com o advento dos pré-moldados empregados em diversos tipos de obras. Para CASILIO, o equipamento, que é normalmente aplicado nas

indústrias, terminais portuários e aeroportuários, permite a movimentação e o transporte de cargas grandes ou pesadas pela obra, diminuindo o tempo de execução dos serviços.

As guias são equipamentos indispensáveis para a construção de edifícios, substituindo a mão de obra braçal e possibilitando a construção de edifícios mais altos com menos tempo. Dito isso, surge a necessidade de guias eficientes e bem dimensionadas para o menor custo de sua fabricação e garantia da segurança dos operadores do equipamento. Além de serem utilizadas para a elevação e a movimentação de cargas e materiais pesados, as guias se destacam pela utilização de peças pré-montadas de grande porte que facilitam a montagem e desmontagem do equipamento, ocupando um espaço menor no canteiro de obras, e gerando velocidade no prazo de execução das obras.

Este equipamento pode atender às exigências de curto prazo, quando se faz um planejamento bem elaborado, com estudo de recebimentos e movimentações de cargas e materiais, além da disposição do canteiro de obra, através de parâmetros logísticos, para o emprego máximo da guia.

1.2. OBJETIVO GERAL

O objetivo desse trabalho de graduação é criar um gráfico de cargas de um guindaste de torre, fazendo uma análise de tensões pelo método dos elementos finitos utilizando o software ANSYS.

1.3. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Fazer a medição de um guindaste de torre;
- Modelar o guindaste com o software Autocad;
- Lançar as cargas atuantes no guindaste;
- Fazer a análise de tensão por elementos finitos pelo software ANSYS;
- Criar um gráfico de cargas em função do comprimento da lança.

2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

2.1. MECÂNICA DOS MATERIAIS

A mecânica dos materiais é um ramo da mecânica que estuda as cargas externas aplicadas e a intensidade das forças internas que atuam no interior de um corpo deformável. (HIBBELER, 2009)

O principal objetivo desse estudo é proporcionar ao futuro engenheiro os meios para analisar e projetar estruturas e máquinas portadoras de carga. Tanto a análise quanto o projeto de uma dada estrutura envolvem a determinação das tensões e deformações. (BEER & JOHNSTON, 2011)

Em um projeto de qualquer máquina ou estrutura, em primeiro lugar, é necessário usar os princípios da mecânica estática para determinar as forças que agem sobre os seus componentes. A dimensão dos elementos, sua deformação e estabilidade dependem não só das cargas internas, mas também das características do material utilizado. (HIBBELER, 2009)

2.2. TENSÃO

Quando uma força qualquer é aplicada em um corpo sólido e distribuída por sua área da seção transversal, é chamado de tensão. (BEER & JOHNSTON, 2011)

Em um corpo sujeito a algumas forças, a tensão é geralmente distribuída dentro de uma porção contínua do material. Todo elemento infinitesimal do material pode experimentar tensões diferentes ao mesmo tempo. (NORTON, 2013)

A distribuição que atua em um ponto da superfície terá componentes nas direções normal e tangencial denominadas, respectivamente, tensão normal e tensão de cisalhamento. Tensões normais e de cisalhamento são indicadas pelos símbolos gregos σ e τ , respectivamente. Se o sentido de σ apontar para fora da superfície, ela é considerada uma tensão de tração e é uma tensão normal positiva. Se σ apontar para dentro da superfície, ela é uma tensão de compressão e normalmente é considerada uma quantidade negativa. A unidade normalmente utilizada é newtons por metro quadrado (N/m²). (SHIGLEY, 2011)

2.3. MÉTODO DOS ELEMENTOS FINITOS

O método dos elementos finitos (MEF) é a mais eficiente ferramenta numérica de resolução de equação diferenciais com condições de contorno (e iniciais), como as que regem os modelos matemáticos dos sistemas físicos contínuos, seja da mecânica dos sólidos deformáveis, condução de calor e de massa ou eletromagnetismo. E isso o faz imprescindível em ensino, pesquisa e desenvolvimento de projeto de projetos de engenharia. (SORIANO, 2009)

No campo da Engenharia Estrutural, o Método dos Elementos Finitos (MEF) tem como objetivo a determinação do estado de tensão e de deformação de um sólido de geometria aleatória sujeito a cargas externas. Este tipo de cálculo é empregado, por exemplo, no estudo de edifícios, pontes, suportes etc. Quando existe a necessidade de projetar uma estrutura, é comum proceder-se a um procedimento de análises e mudanças das suas características, com o objetivo de se alcançar uma solução satisfatória, quer em termos económicos e na verificação dos pré-requisitos funcionais e regulamentares. (AZEVEDO, 2003)

As técnicas descritas nesta publicação apenas consistem à fase de análise do comportamento de uma estrutura cuja geometria, materiais e ações são conhecidos. Nos cursos de Engenharia Civil e de Engenharia Mecânica é tradicional começar-se por ensinar a análise de estruturas limitada às vigas, pórticos, treliças e grelhas. As estruturas deste tipo recebem a denominação de reticuladas, por serem constituídas por barras prismáticas cuja seção transversal apresenta dimensões muito inferiores ao comprimento do seu eixo. Nas estruturas reticuladas surgem já muitos conceitos que são comuns à maioria das estruturas, tais como o de equilíbrio, compatibilidade, tensão, deformação, etc. No campo das estruturas reticuladas torna-se particularmente simples explicar o método das forças e o método dos deslocamentos, bem como outras técnicas que, em geral, são difíceis de estender aos meios contínuos. (AZEVEDO, 2003)

Antes do aparecimento do MEF, a análise dos meios contínuos era efetuada por resolução direta dos sistemas de equações de derivadas parciais que regem o fenómeno, tendo em consideração as necessárias condições fronteira. Para facilitar a aplicação desta técnica a problemas não elementares, era comum recorrer a séries de Fourier. Devido à sua complexidade, estes procedimentos só eram aplicáveis a meios contínuos homogéneos e de geometria simples. Para tentar ultrapassar

algumas destas limitações, era frequente a substituição de derivadas exatas por derivadas aproximadas, calculadas com base em grelhas de pontos. Da aplicação desta técnica resulta o método das diferenças finitas, que, antes do aparecimento dos computadores, apresentava o inconveniente de requerer a resolução de grandes sistemas de equações lineares. Para evitar este inconveniente foram propostos diversos métodos de relaxação baseados na sucessiva diminuição de um conjunto de resíduos. Devido à lentidão associada à aplicação de qualquer um destes métodos, tornava-se muito atrativa a substituição do problema real por outro semelhante, de modo a se poder recorrer a resultados publicados em tabelas ou ábacos. Com o grande desenvolvimento que o MEF teve na década de 60 e com a divulgação do recurso ao computador, passou a ser prática a análise de estruturas de geometria aleatória, constituídas por vários materiais e sujeitas a qualquer tipo de carregamento. Este avanço é tão significativo que os outros métodos deixaram praticamente de ser utilizados. (AZEVEDO, 2003)

A formulação do MEF pode ser baseada no método dos deslocamentos, em modelos de equilíbrio, ou em métodos híbridos e mistos. De todos estes métodos, aquele que apresenta uma maior simplicidade e, conseqüentemente, uma maior versatilidade é o método dos deslocamentos, sendo este o único que é abordado nesta publicação. Associado ao método dos deslocamentos surgem muitos conceitos que se supõe que o leitor já domina no âmbito das estruturas reticuladas, como por exemplo as noções de grau de liberdade, deslocamento generalizado, força generalizada, equilíbrio, matriz de rigidez, vetor solicitação, montagem, introdução de condições de apoio, etc. Nesta publicação, alguns destes conceitos são de novo abordados, sendo dada particular ênfase à sua generalização aos meios contínuos bidimensionais e tridimensionais. (AZEVEDO, 2003)

2.4. DESENHO 3D PELO SOFTWARE AUTOCAD

AutoCAD é um software do tipo CAD (computer aided design ou desenho auxiliado por computador) criado e comercializado pela Autodesk, Inc. desde 1982. É utilizado principalmente para a elaboração de peças de desenho técnico em duas dimensões (2D) e para criação de modelos tridimensionais (3D).

O AutoCAD contém um conjunto de ferramentas para auxiliar o desenvolvimento de desenho técnico em alguma área, seja ela na área civil em projetos de arquitetura, hidráulica, elétrica, estrutura, etc., ou então em projetos de mecânica desenhando peças para a indústria, entre muitos outros tipos de projetos. Além dos desenhos técnicos, o software vem disponibilizando, em suas versões mais recentes, vários recursos para visualização em diversos formatos. É amplamente utilizado em arquitetura, design de interiores, engenharia civil, engenharia mecânica, engenharia geográfica, engenharia elétrica e em vários outros ramos da indústria. (ACADIG. Disponível em: <<http://www.acadig.com.br/o-que-e-autocad/>>)

2.5. ANÁLISE DE MEF PELO SOFTWARE ANSYS

O programa ANSYS Workbench é um dos vários programas de análises pelo método de elementos finitos (MEF) existentes no mundo. Outros programas, por exemplo, são: SAP2000, Abaqus, Comsol, MSC Software, Nastran, Adina, Lisa, etc. (AZEVEDO, 2013).

O ANSYS Workbench se enquadra na categoria de programas de Engenharia Auxiliada por Computadores (CAE) e tem a finalidade de auxiliar o engenheiro nas decisões de algumas das etapas do desenvolvimento de projeto, em particular para o dimensionamento e a validação de projetos. (AZEVEDO, 2013)

De maneira geral os programas de CAE permitem a redução do custo e tempo necessário no processo de desenvolvimento do projeto, pois é acelerado pela rapidez de análise, a otimização coerente da peça ou conjunto antes da sua fabricação reduzindo os custos associados ao material, a manufatura e final, a redução da probabilidade de falha dos componentes, pois uma eventual falha pode ser percebida antes de sua execução. (AZEVEDO, 2013)

O programa ANSYS Workbench mostra os resultados graficamente na tela permitindo identificação visual da geometria e resultados facilitando a interpretação do que está ocorrendo na peça ou conjunto. (AZEVEDO, 2013)

2.6. COEFICIENTE DE SEGURANÇA

Para o dimensionamento de máquinas e estruturas, devemos calcular os elementos de forma que eles não venham a falhar. As tensões atuantes devem ser restringidas a um nível seguro. Então devemos selecionar uma tensão admissível para ser usada nos cálculos de dimensionamento. Afim de restringir a carga aplicada a um valor menor que a real resistência do elemento. (HIBBELER, 2010)

Hibbeler (2010) ainda nos traz que o uso da tensão admissível (σ_{adm}), é necessário devido as incertezas, como vibrações, impactos ou cargas acidentais desconhecidas, erros de fabricações, futuros desgastes e vários outros fatores. Para a escolha de uma tensão admissível, podemos usar o método do fator de segurança (FS), esse fator de segurança garante o que as incertezas citadas foram consideradas.

Para Norton (2013), o fator de segurança deve ser baseado também, na incerteza do projetista, quanto ao modelo analítico, informações do material usado, e com base em estatísticas de falha. Diz ainda que deve ser levado em consideração se o material é frágil ou dúctil, uma vez que para materiais frágil são projetados pela tensão de ruptura, já os dúcteis são dimensionados pelo seu limite de escoamento.

2.7. GUINDASTE TIPO TORRE

Conhecidos também como guias, servem para viabilizar e melhorar a movimentação vertical e horizontal de cargas e materiais nos canteiros de obras. Para Nakamura (2015), as guias são fundamentais para o construtor que deseja obter mais produtividade. De maneira geral, quanto maior for a altura do prédio em construção e mais alto for a taxa de industrialização da obra, maior será a demanda por esse tipo de equipamento. (NAKAMURA, 2015)

As guias podem ser fixas no chão ou quando os edifícios são muito grandes, podem ser fixadas no espaço do elevador, podendo elevar as cargas a uma altura maior. Os tipos de bases do guindaste são: sobre chumbadores, móvel sobre trilhos e estacionária sobre base cruciforme. Para esse trabalho, será feita uma análise com a base fixa no chão, feita for chumbadores fixados em uma base de concreto e aço, impedindo a translação e rotação dos perfis ligados nos chumbadores. (NAKAMURA, 2015)

Entre Os tipos de guias mais utilizadas pelas construtoras destacam-se as ascensionais. O guindaste é montado dentro do edifício em construção, quase sempre no fosso do elevador ou em um poço aberto na laje. Conforme os pavimentos vão sendo construídos, o guindaste vai subindo através de um conjunto de pistões hidráulicos. As guias ascensionais são indicadas para construção de edifícios de torre única e com muitos andares, que não necessitem de uma alta capacidade para movimentação de cargas. (NAKAMURA, 2015)

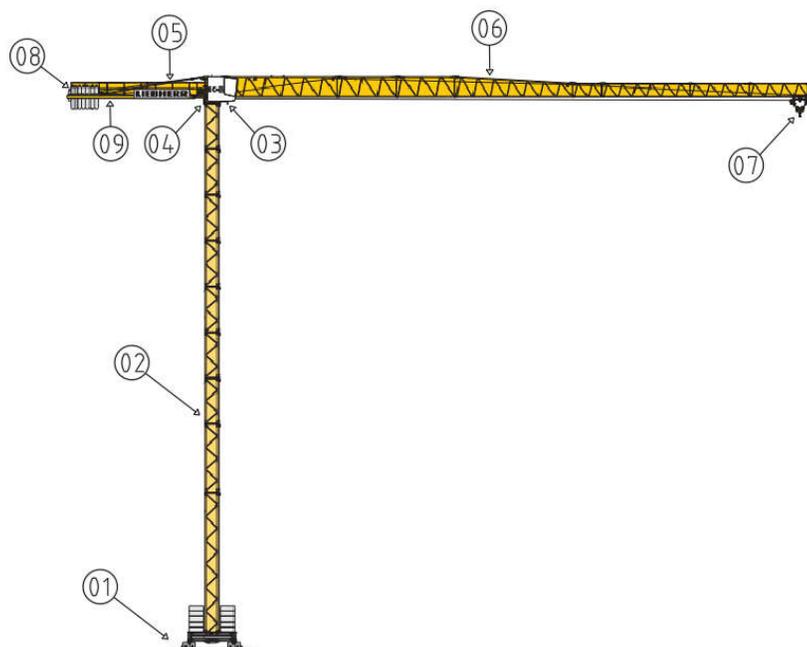
Outro tipo de guisa são as de torres fixas, que suportam maiores cargas que as ascensionais, porém com custo mais elevado. Elas se caracterizam por ter base chumbada dentro de um bloco de concreto. Esses modelos são posicionados no lado externo da edificação, podendo ser estaiados ou não. As guias de torre fixa podem ter lança fixa ou móvel. No segundo caso, a possibilidade de movimentar a lança garante maior versatilidade para a realização de movimentos verticais. Em função da relação entre peso e altura, as de torre fixa necessitam de uma fundação de concreto própria. (NAKAMURA, 2015)

O último modelo comum de guindaste de torre, é a guisa com torre móvel, montada sobre uma base metálica, se movimentam sobre trilhos permitindo que todo conjunto se desloque horizontalmente. Esse tipo de equipamento cobre uma área maior do que as guias fixas, sendo indicadas em obras com bastante área em construção, como conjuntos habitacionais ou condomínios com muitos edifícios. (NAKAMURA, 2015)

Acima dos chumbadores, o guindaste de torre é formado por segmentos de torre, montados uns aos outros com fixados por pinos ou parafusos, dependendo das características do guindaste. Logo acima temos a coroa giratória com sua plataforma, que é uma engrenagem que permite a rotação da guisa em 360°. Sustentado pela plataforma, normalmente fica a cabine de comando, e uma estrutura soldada onde é fixada a lança e a contra lança, posicionadas 180° entre si. (ANGEL; FERREIRA (2008)

De acordo com ANGEL e FERREIRA (2008), a lança é uma estrutura que permite ser fixado um carrinho, que se movimento em todo o seu comprimento, que por sua vez é fixado um guincho para a movimentação das cargas. A contra lança é onde fica os contra pesos, que servem para dar equilíbrio para a guisa. Para melhor detalhamento do guindaste, uma figura contendo os componentes de uma guisa e suas respectivas funções:

Figura 1 – Guindaste de torre Liebherr modelo torre fixa



Fonte: Catalogo Liebherr

- 01) Base fixa sobre chumbadores ou carro móvel sobre trilhos – Responsável pela fixação do guindaste;
- 02) Segmentos de torre – Responsável pelo altura do guindaste;
- 03) Cabine de operação – Onde se localizam os acionadores dos mecanismos do guindaste;
- 04) Coroa giratória + plataforma giratória + mecanismo de giro – Responsáveis pelo giro do guindaste;
- 05) Contra lança – Comporta os contra pesos e o mecanismo de elevação, auxiliando na estabilidade do guindaste;
- 06) Lança – Componente treliçado modular que determina o raio de giro/operação do guindaste, podendo ser montado com diferentes alcances em função da necessidade de trabalho;
- 07) Carrinho – Responsável pela translação da carga ao longo do comprimento da lança;
- 08) Contra peso – Responsável por dar equilíbrio ao guindaste de torre;
- 09) Mecanismos de elevação – Responsável por erguer e abaixar a carga.

3. MATERIAIS E MÉTODOS

3.1. MEDIÇÃO DE UM GUINDASTE EXISTENTE

Para esse trabalho foi feito uma medição dos perfis de um guindaste de torre existente quando estava desmontado no terreno de uma empresa. Para a realização da medição externa do guindaste foi utilizado uma trena, e para medir os perfis do equipamento, foi utilizado um paquímetro.

O guindaste terá 4 segmentos de torre de 6 metros cada fixados um em cima do outros, totalizando 24 metros de altura. A contra lança terá 6 metros de comprimento e a lança contará com 6 segmentos de 6 metros cada, totalizando um comprimento de 36 metros.

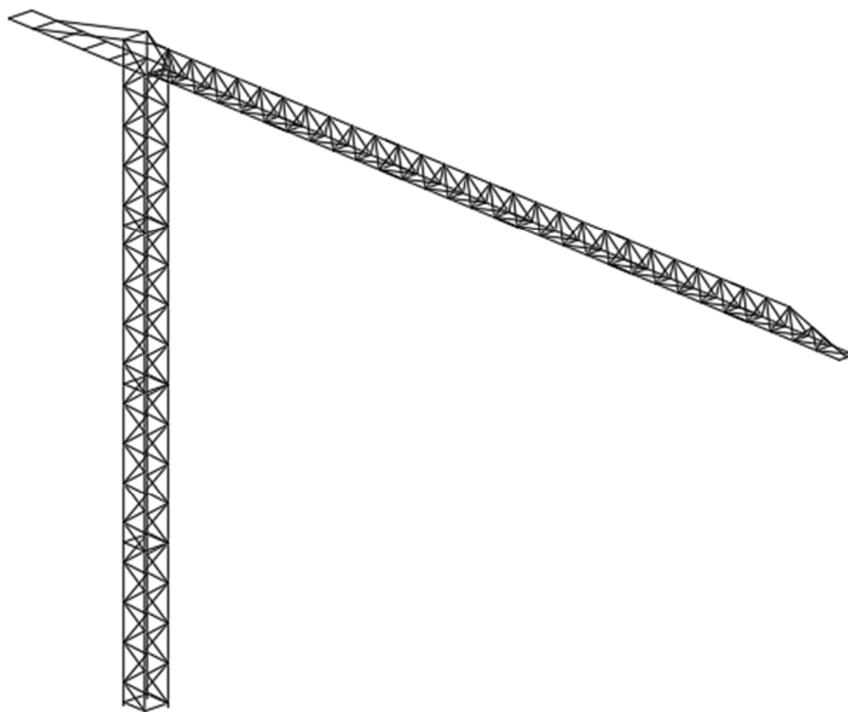
Existe um maior número de itens que compõem um guindaste de torre, porém, não será levado em consideração nesta análise, pois levaria muito tempo para a medição destes componentes e maior capacidade de processamento do computador.

3.2. DESENHO DA ESTRUTURA NO SOFTWARE AUTOCAD

A estrutura desenhada no Autocad será representada por linhas, e então salva em formato *.iges* e importada para o software ANSYS.

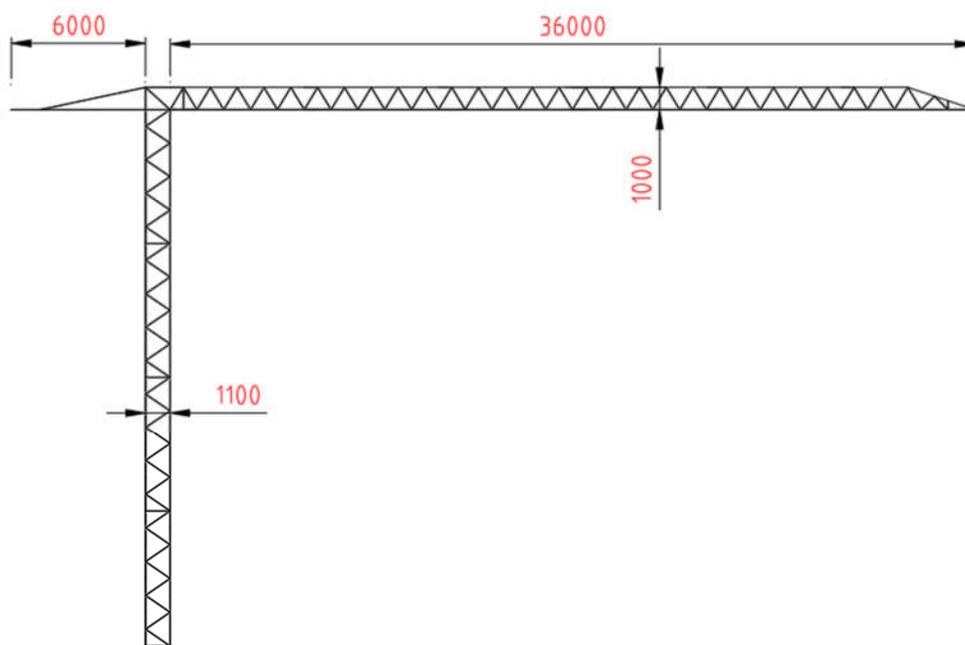
As figuras 3, 4 mostram em um modelo tridimensional como é de fato a estrutura do guindaste desenhado no software Autocad e com suas respectivas medidas.

Figura 2 – Modelo tridimensional do guindaste de torre representado no Autocad



Fonte: Autor

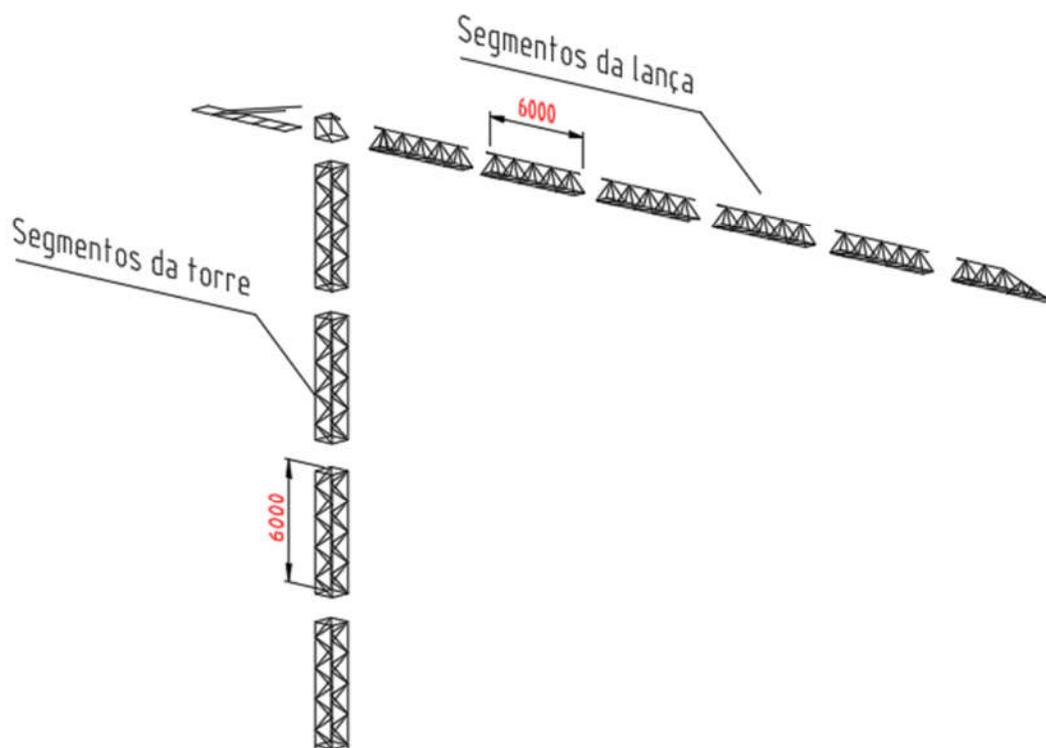
Figura 3 – Medidas externas do guindaste de torre (em mm)



Fonte: Autor

A figura 5 demonstra uma vista explodida do guindaste, as partes em que estão divididas são as mesmas em que são desmontadas quando não é utilizado.

Figura 4 – Vista explodida do guindaste de torre separados por seus módulos



Fonte: Autor

3.3. ANÁLISE PELO MÉTODO DOS ELEMENTOS FINITOS

3.3.1. Determinação dos perfis

Após geometria ser completada no software Autocad, a mesma é convertida para a extensão de arquivo *.iges* para poder ser importada no software ANSYS e a análise ser realizada. Após tal conversão, o ANSYS foi selecionado em seu módulo *Static Structural* para a análise estática dos elementos estruturais.

Para a análise, o material utilizado para os perfis estruturais será o aço estrutural ASTM A36. A densidade deste aço é 7850 Kg/m^3 , seu limite de escoamento

a tração e a compressão é de 250 MPa, e a resistência a ruptura do material a tração e compressão fica entre 400 MPa .

Após a aplicação dos dados do material à estrutura, a geometria fora exportada para o módulo *Geometry* do ANSYS para que as áreas das secções transversais dos componentes sejam aplicados.

As áreas de secção transversal consideradas para cada componente da estrutura foram classificadas e divididas conforme quadro 1.

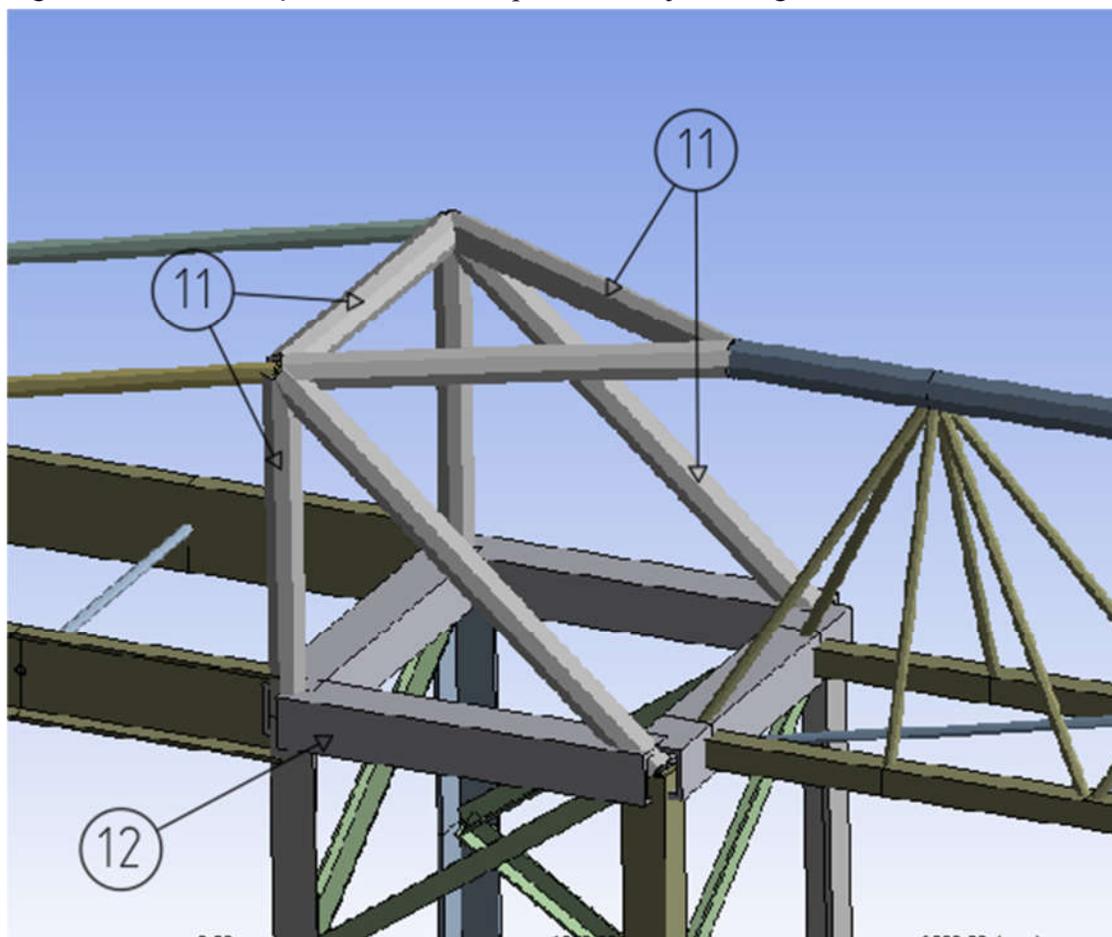
Tabela 1 – Descrição dos perfis estruturais utilizados no guindaste de torre

Sequência	Descrição do perfil	Dimensões
Perfil 1	Cantoneira	127 x 127 x 15,9 mm
Perfil 2	Cantoneira	63,5 x 63,5 x 7,94 mm
Perfil 3	Tubo retangular	80 x 80 x 10 mm
Perfil 4	Perfil C laminado	254 mm x 29,76 kg/m
Perfil 5	Tubo redondo	114,3 x 20 mm
Perfil 6	Tubo redondo	38 x 4,8 mm
Perfil 7	Tubo redondo	33,4 x 2,9 mm
Perfil 8	Tubo redondo	88,9 x 10 mm
Perfil 9	Tubo redondo	63,5 x 8 mm
Perfil 10	Barra redonda	40 mm
Perfil 11	Tubo redondo	108 x 20 mm
Perfil 12	Tubo retangular	150 x 150 x 17,5 mm

Fonte: Autor

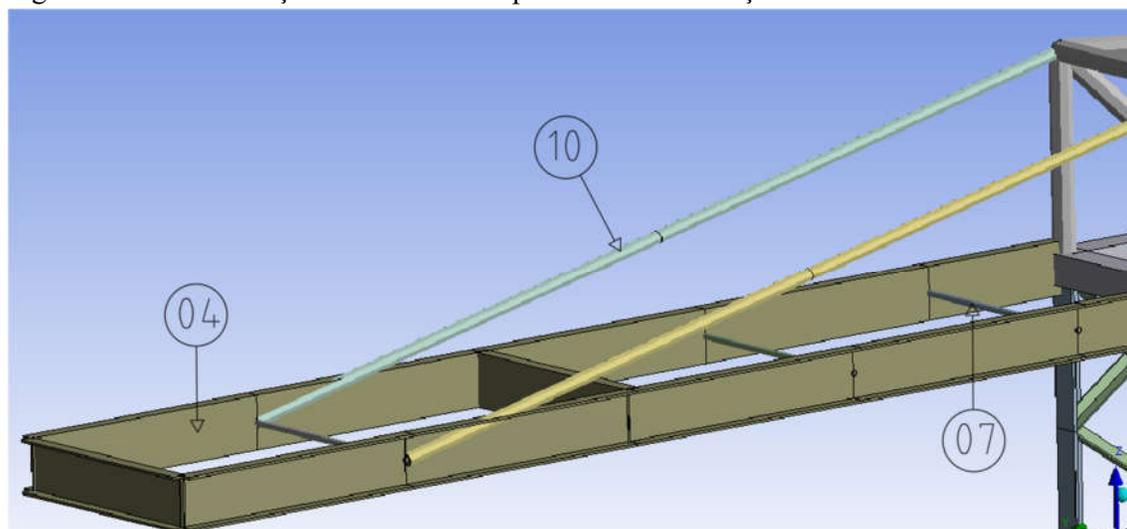
Cada perfil determinado na tabela acima assumiu um componente no modelo tridimensional do guindaste de torre conforme identificação da tabela 1 e sequência de figuras logo abaixo, figuras 6, 7, 8, 9 e 10, lembrando que todas essas dimensões foram extraídas de um modelo real de guindaste de torre:

Figura 5 – Área da secção transversal dos perfis do conjunto de giro



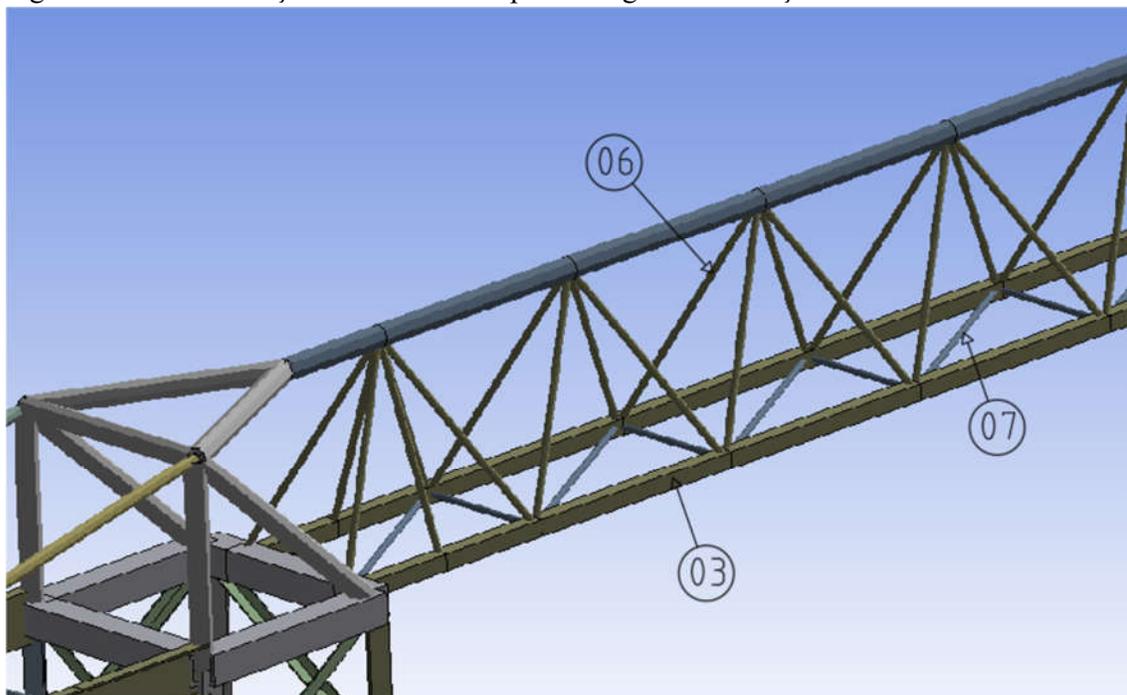
Fonte: Autor

Figura 6 – Área da secção transversal dos perfis da contra lança



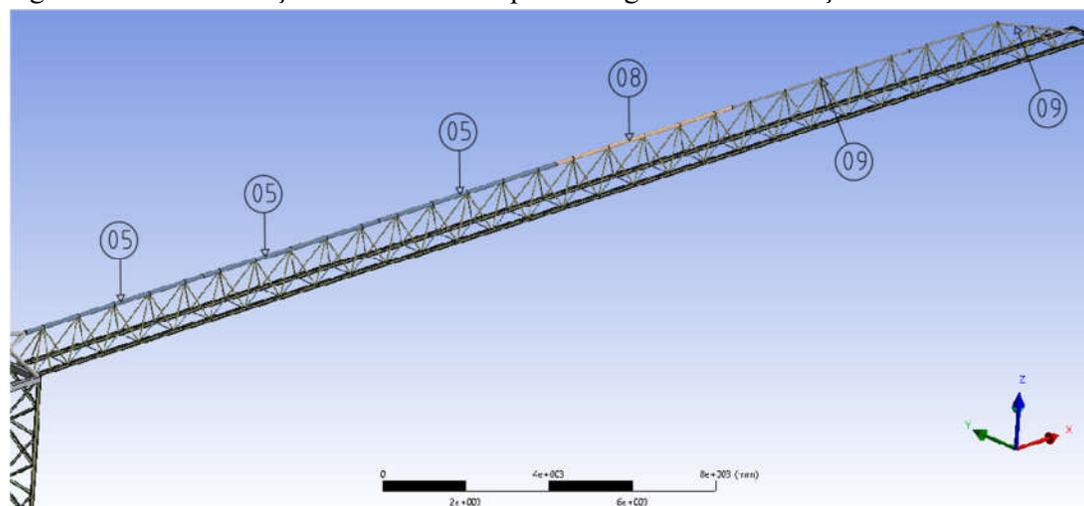
Fonte: Autor

Figura 7 – Área da secção transversal dos perfis diagonais da lança



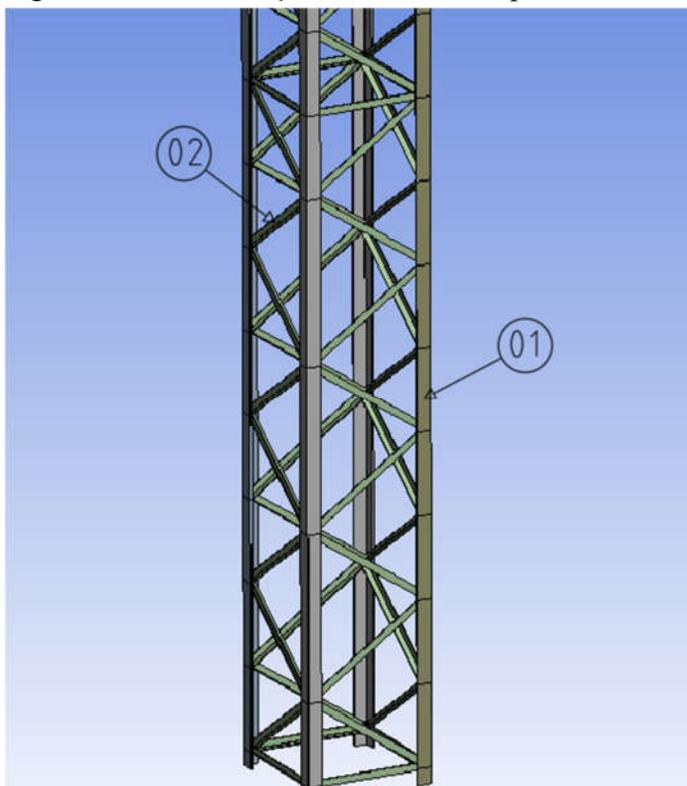
Fonte: Autor

Figura 8 – Área da secção transversal dos perfis longitudinais da lança



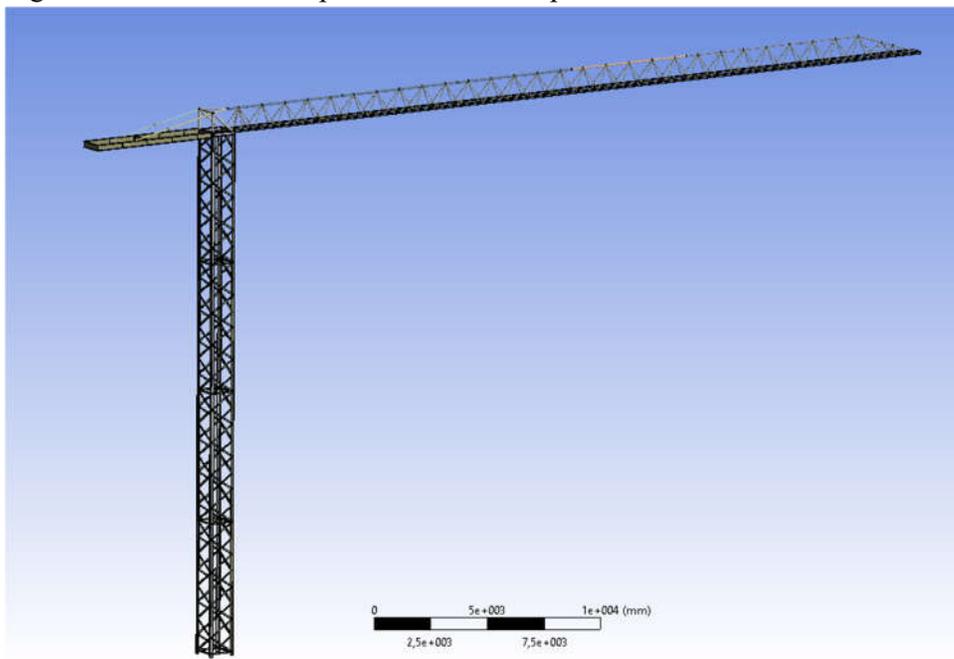
Fonte: Autor

Figura 9 – Área da secção transversal dos perfis da torre



Fonte: Autor

Figura 10 – Estrutura completa com todos os perfis determinados



Fonte: Autor

Após todas as secções transversais serem devidamente demarcadas em todo o perfil do guindaste, o resultado fora de 557 barras ao longo de toda estrutura.

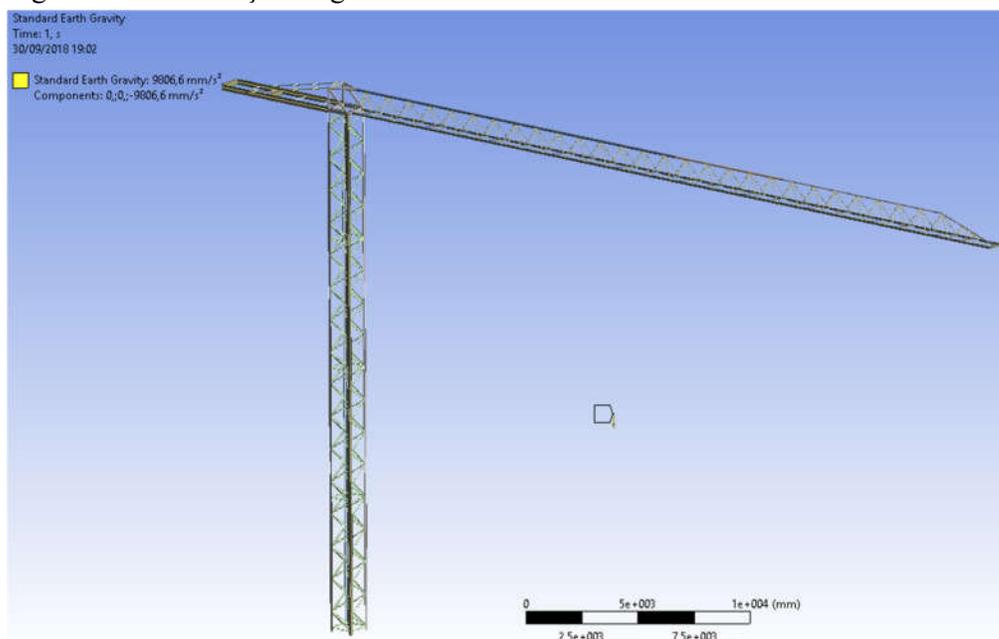
3.3.2. Determinação das cargas, fixações e geração de malha da estrutura

Após a determinação dos perfis na estrutura, o próximo passo a ser realizado é determinar as condições de contorno da estrutura, que são as fixações, distribuição das cargas atuantes e geração da malha para que o cálculo seja realizado. Essa parte do processo é realizada dentro do módulo *Static Structural*, na parte *Módel*. Lembrando que neste trabalho será analisado somente as tensões nos perfis estruturais, as ligações, chumbadores, componentes do mecanismo de elevação como os cabos de aço, moto-redutor e carrinho não serão levados em consideração.

O coeficiente de segurança, com base nos livros de referência, será mantido acima de 1,35, pois o objetivo desses guindastes é ter alto rendimento estrutural, por mais que seja um equipamento de alto risco.

Antes de lançar qualquer carga será adicionado a aceleração da gravidade, para que o peso próprio da estrutura e os pontos de massa que serão adicionados posteriormente seja considerado no cálculo.

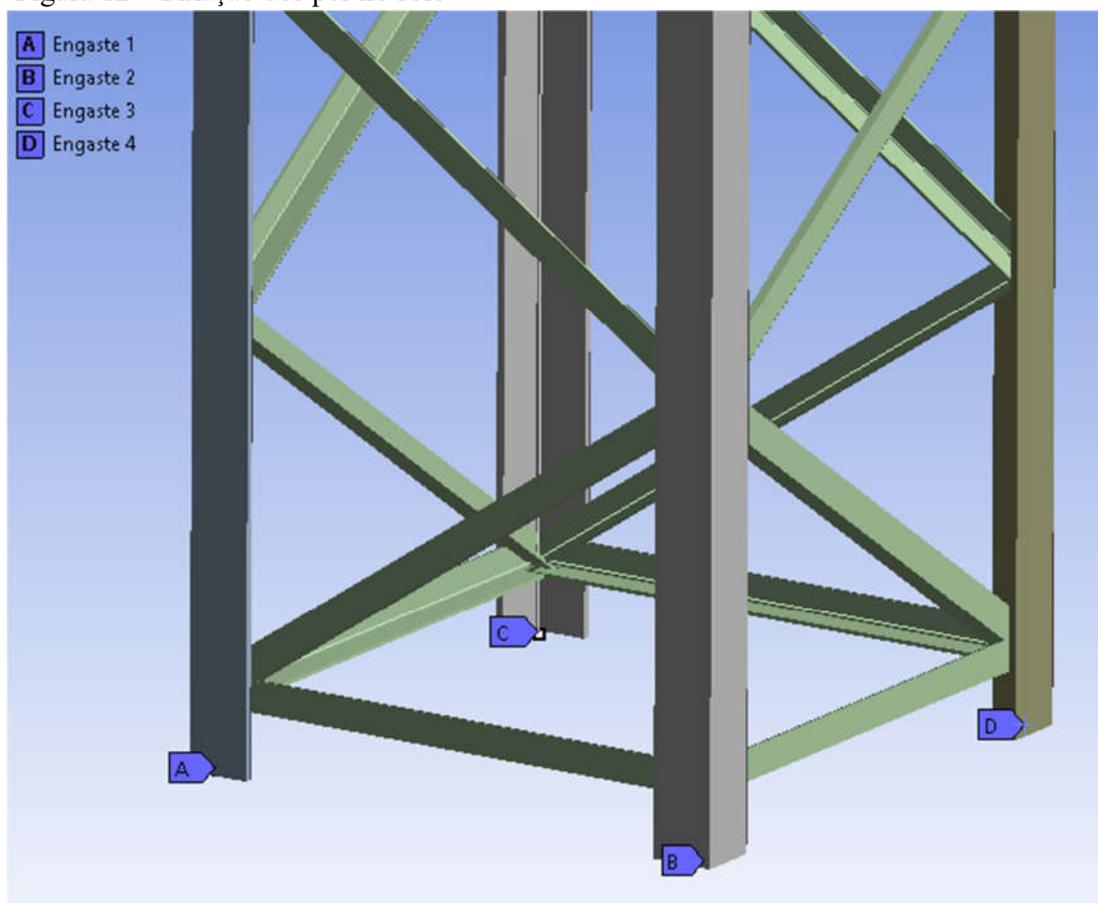
Figura 11 – Aceleração da gravidade no modelo



Fonte: Autor

Como dito anteriormente, este trabalho será feito um estudo com o guindaste de torre fixado no chão, por meio de chumbadores fixados em um bloco de concreto, impedindo a translação e rotação dos pés fixados. Portanto, na parte inferior da torre, deverá ser inserido engastes para que o mesmo fique devidamente fixo.

Figura 12 – Fixação dos pés no solo



Fonte: Autor

Após as fixações serem definidas, o próximo passo é definir as cargas a serem consideradas no guindaste de torre. As primeiras forças a serem aplicadas foram os esforços que o contrapeso, instalado na contra lança, exerce sobre a estrutura.

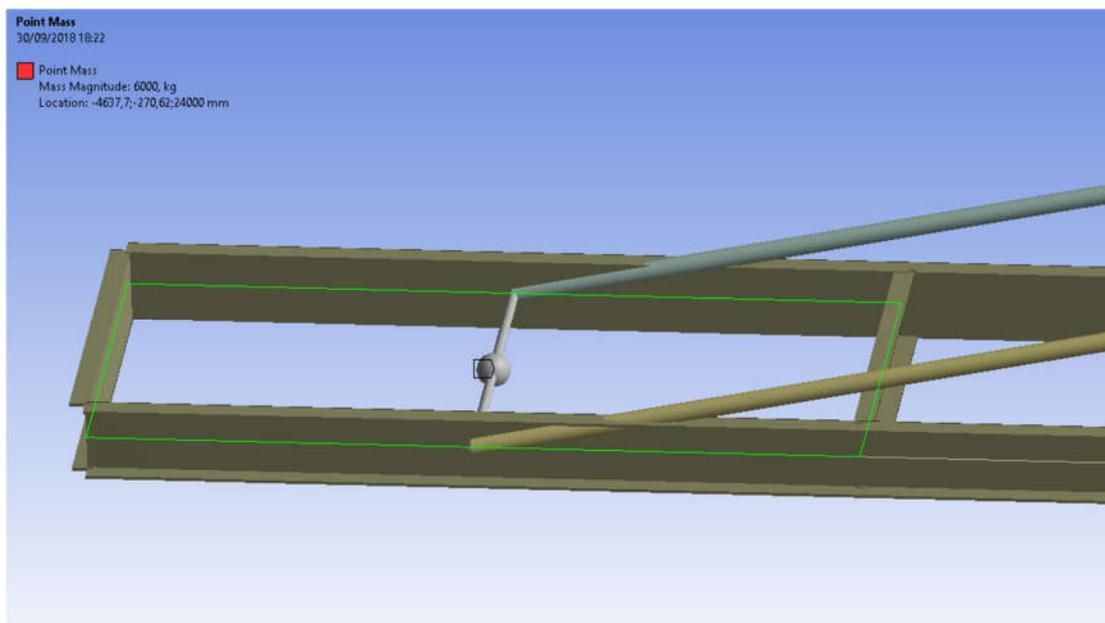
Conforme catálogo Liebherr, a quantidade de contra pesos depende do comprimento da lança utilizada. A partir desse comprimento de lança, será determinada a carga que o guindaste de torre consegue içar, tanto no ponto mais próximo a torre quanto no ponto mais extremo à frente da lança.

Os contrapesos devem, então, manter o equilíbrio do guindaste de torre quando o mesmo está em trabalho, ou seja, içando uma carga. Como o guindaste de torre

para esse trabalho possui uma configuração de lança de 36m, a quantidade de contrapesos necessária, conforme catalogo é de 6 toneladas.

O esforço de contrapeso será aplicado na ponta da contra lança, distribuído em um comprimento de 2,6 metros e será fixado nas vigas laterais e transversais da contra lança. O mesmo será lançado como um ponto de massa que a estrutura deve resistir. A figura 13 ilustra a aplicação desse esforço.

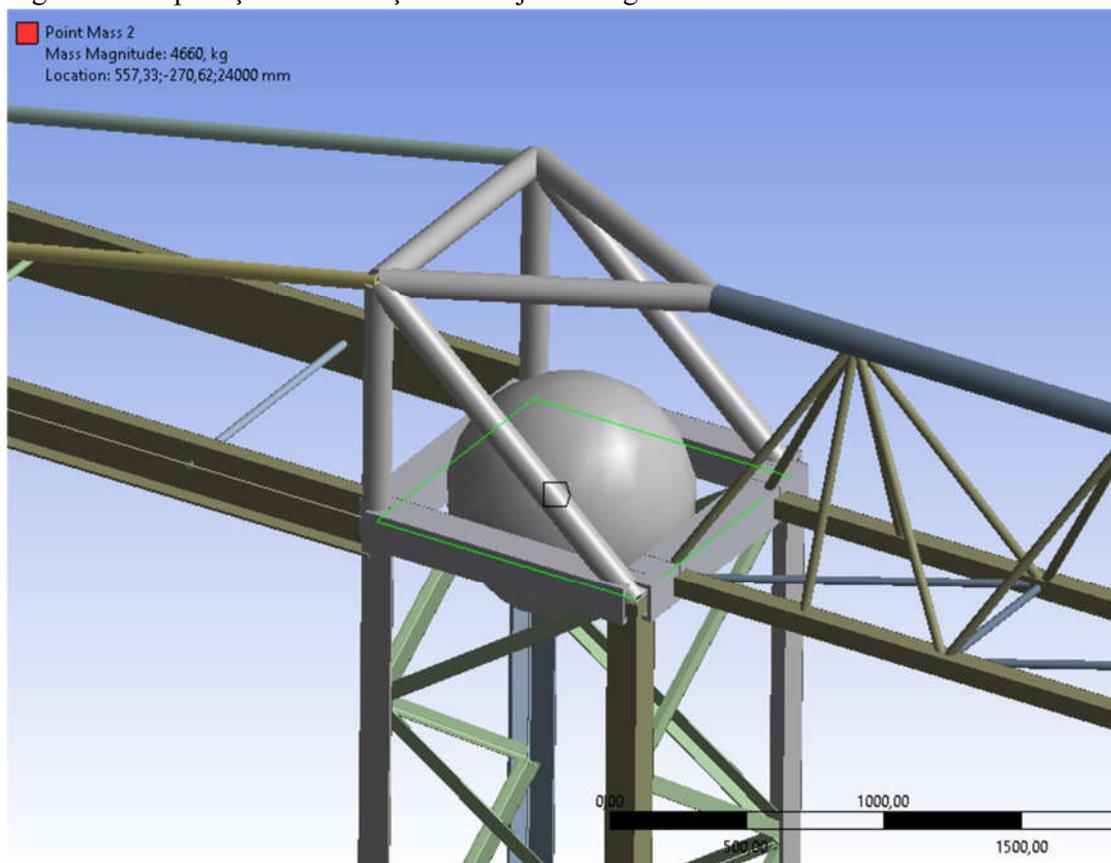
Figura 13 – Aplicação do esforço do conjunto de contrapeso na contra lança



Fonte: Autor

A próxima carga a ser lançada na estrutura é a referente a carga do conjunto de giro e a carga da cabine de operação que, conforme catálogos Liebherr, consiste em 3850 Kg e 810 Kg respectivamente, totalizando 4660 Kg. Será representado por outro ponto de massa e distribuído em 4 barras, conforme figura 14.

Figura 14 – Aplicações do esforços do conjunto de giro e da cabine



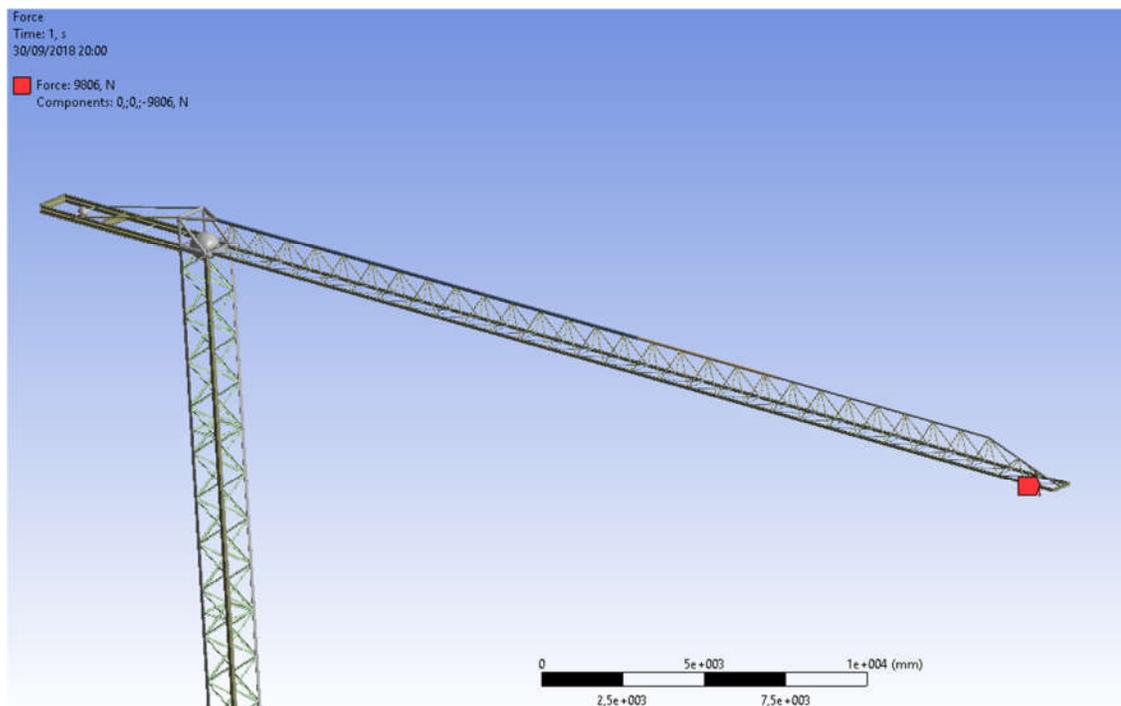
Fonte: Autor

A próxima e última carga que será considerada no guindaste de torre será o peso que o guindaste levantará durante sua jornada de trabalho. Como o propósito deste trabalho é criar um gráfico que represente o peso máximo que suporta a estrutura ao longo da lança, será inserido diversos pontos de força que representará a carga que representará o peso sendo levantado.

As cargas lançadas até agora serão mantidas em todas as análises realizadas, e as que serão lançadas posteriormente, serão estimadas conforme catálogos de fabricantes de guindastes de torre com características semelhantes ao analisado neste trabalho. Será mantida uma proporcionalidade de carga em função do comprimento da lança, que gerará um momento fletor na estrutura de aproximadamente 36000 Kg.m (Quilograma x metro) ou 353016 N.m (Newton x metro).

Para a Análise 1, será lançado uma carga na ponta da lança, ou seja, a 36 metros do início da mesma. Mantendo o momento fletor de 36000 Kg.m, a carga atuante será de 36000 Kg.m/36 m = 1000 kg (9806 N).

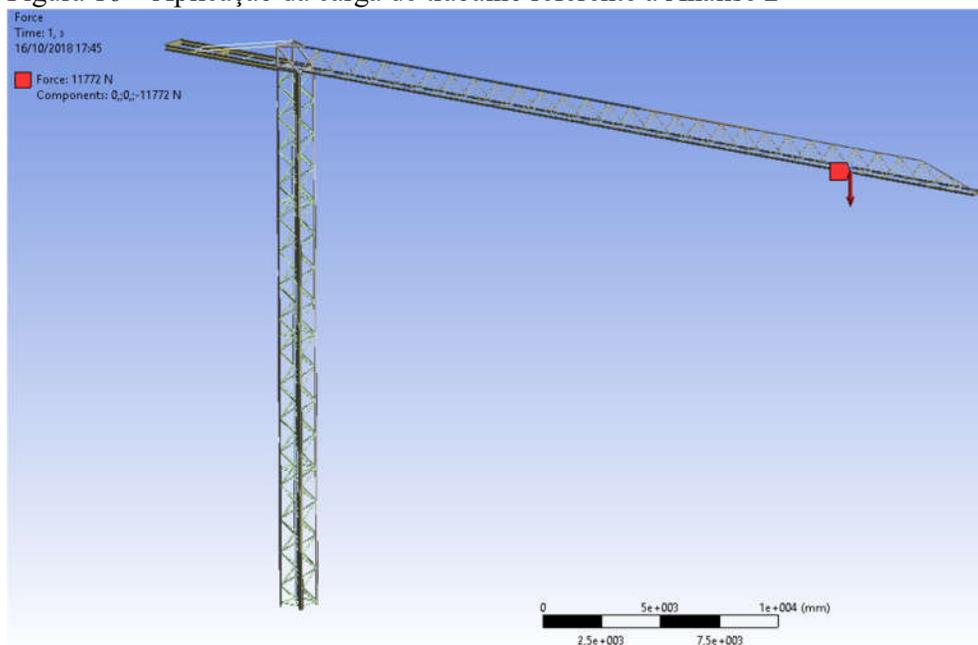
Figura 15 – Aplicação da carga de trabalho referente a Análise 1



Fonte: Autor

Para a Análise 2, será lançada a carga a 30 metros do início da lança. Mantendo o momento fletor de 36000 Kg.m, a carga atuante será de 36000 Kg.m/30 m = 1200 kg, equivalente a 11772 N, conforme figura 17.

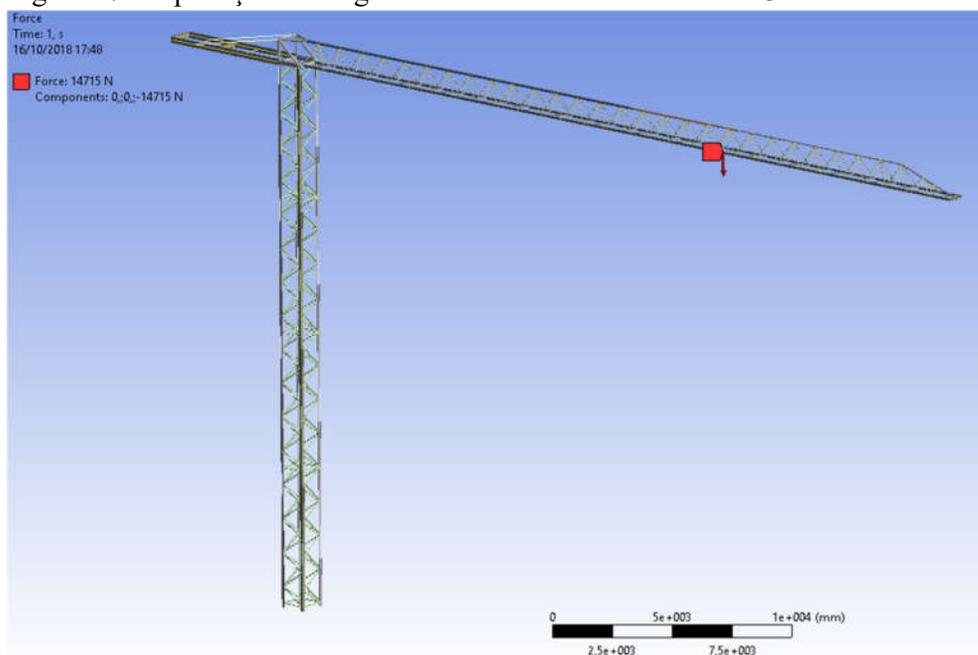
Figura 16 – Aplicação da carga de trabalho referente a Análise 2



Fonte: Autor

Para a Análise 3, será lançada a carga a 24 metros do início da lança. Mantendo o mesmo momento fletor, a carga atuante será de $36000 \text{ Kg.m}/24 \text{ m} = 1500 \text{ kg}$, equivalente a 14715 N , conforme figura 18.

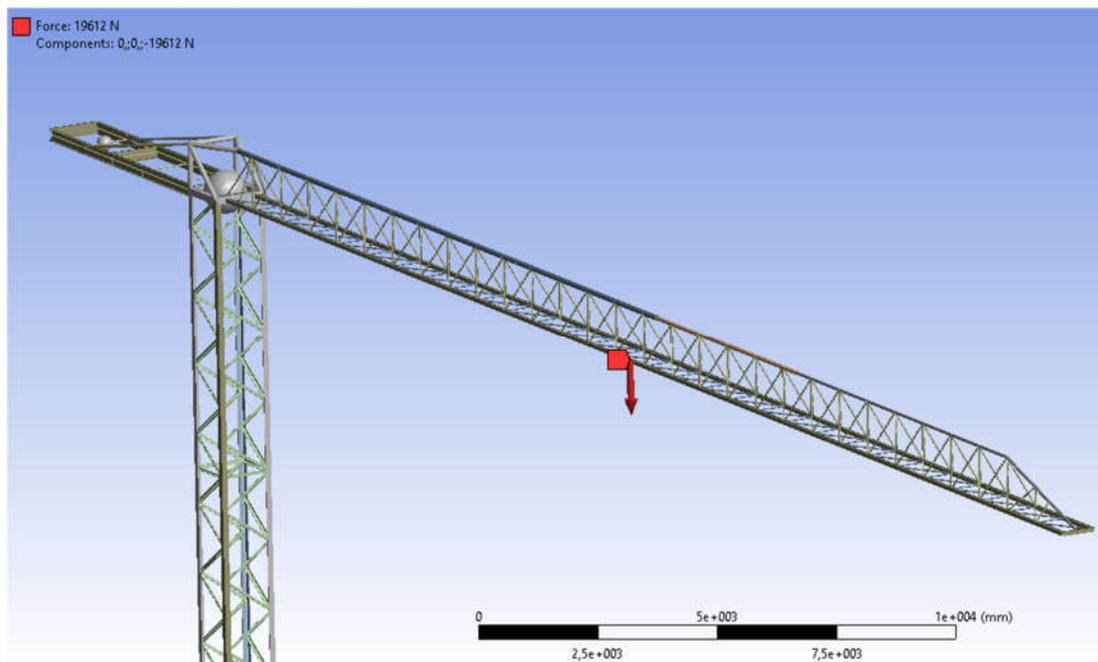
Figura 17 – Aplicação da carga de trabalho referente a Análise 3



Fonte: Autor

Para a Análise 4, será lançada a carga a 18 metros do início da lança. Mantendo o momento fletor determinado anteriormente, a carga atuante será de $36000 \text{ Kg.m}/18 \text{ m} = 2000 \text{ kg}$, equivalente a 19602 N , conforme figura 19.

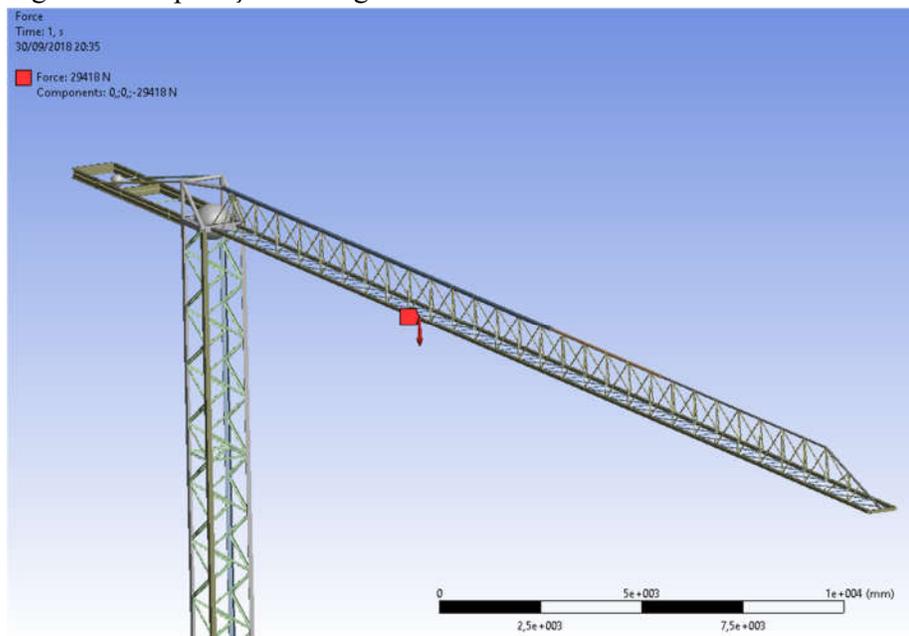
Figura 18 – Aplicação da carga de trabalho referente a Análise 4



Fonte: Autor

Para a Análise 5, será lançada a carga a 12 metros do início da lança. Mantendo o momento fletor determinado anteriormente, a carga atuante será de $36000 \text{ Kg.m}/12 \text{ m} = 3000 \text{ kg}$, equivalente a 29418 N , conforme figura 20.

Figura 19 – Aplicação da carga de trabalho referente a Análise 5



Fonte: Autor

Para a Análise 6, será lançada a carga a 6 metros do início da lança. Mantendo o momento fletor, a carga atuante será de $36000 \text{ Kg.m}/6 \text{ m} = 6000 \text{ kg}$, equivalente a 58836 N, conforme figura 21.

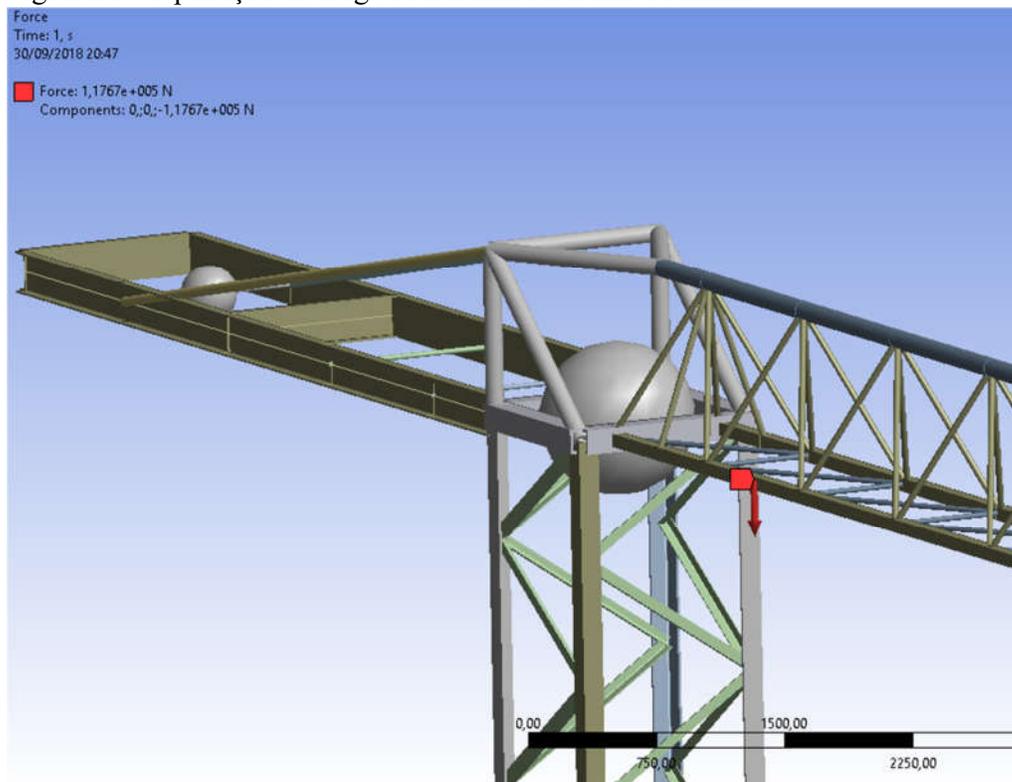
Figura 20 – Aplicação da carga de trabalho referente a Análise 6



Fonte: Autor

Para a Análise 7, será lançada a carga a 1,8 metros do início da lança. Mantendo o momento fletor, a carga atuante será de $36000 \text{ Kg.m}/1,8 \text{ m} = 20000 \text{ kg}$, equivalente a 196200 N , conforme figura 22.

Figura 21 – Aplicação da carga de trabalho referente a Análise 7



Fonte: Autor

A tabela a seguir, mostra as cargas que foram lançadas na estrutura e suas respectivas distâncias no decorrer da lança, mantendo o momento fletor citado anteriormente.

Tabela 2 – Cargas efetivas atuantes no guindaste

Análise	Carga	Distância do início da lança
01	1000 Kg (9806 N)	36 metros
02	1200 Kg (11772 N)	30 metros
03	1500 Kg (14715 N)	24 metros
04	2000 Kg (19612 N)	18 metros

05	3000 Kg (29418 N)	12 metros
06	6000 Kg (58836 N)	6 metros
07	20000 Kg (196200 N)	1,8 metros

Fonte: Autor

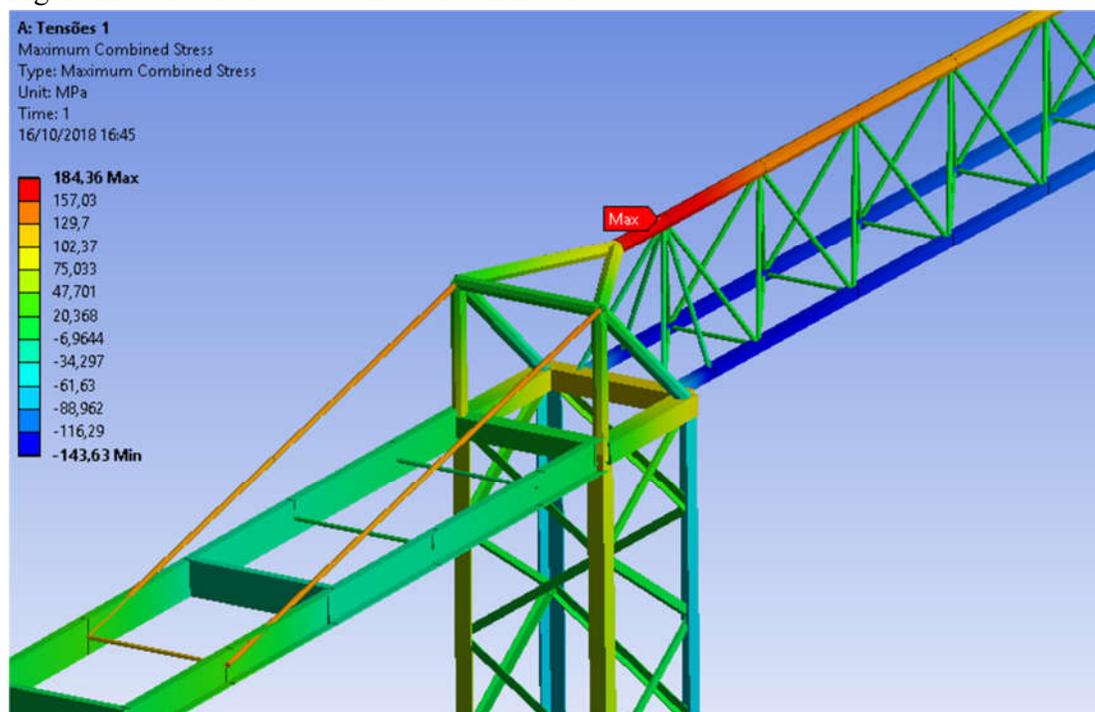
Em seguida, foi realizado a criação da malha da geometria, pelo comando Mesh no software ANSYS, tendo os elementos com tamanho padrão definido pelo programa.

4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Após a malha definida, a simulação do modelo pôde ser realizada, levando em consideração as condições de contorno anteriormente expostas. As condições para que o cálculo fosse realizado foi a condição de viga ou conforme o ANSYS a condição *Beam Tool*. Dentro da mesma, para o critério de falha foi considerado um tipo de resposta a ser obtida pelo cálculo, a tensão combinada máxima, que computa as tensões causadas pelas flexões e as que são causados pelos esforços axiais na direção da barra.

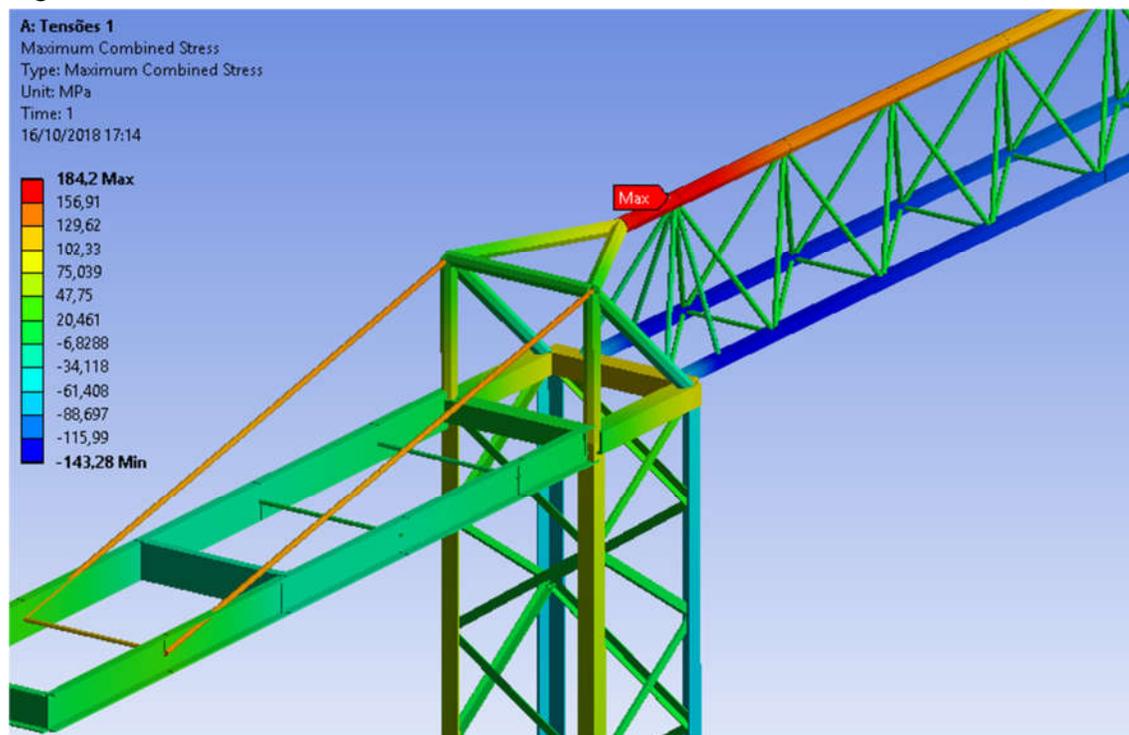
Através da condição Solve do software ANSYS a estrutura foi calculada como um todo e os resultados obtidos. As imagens a seguir mostram os resultados das tensões obtidas pelas sete análises realizadas:

Figura 22 – Resultados das tensões da análise 1



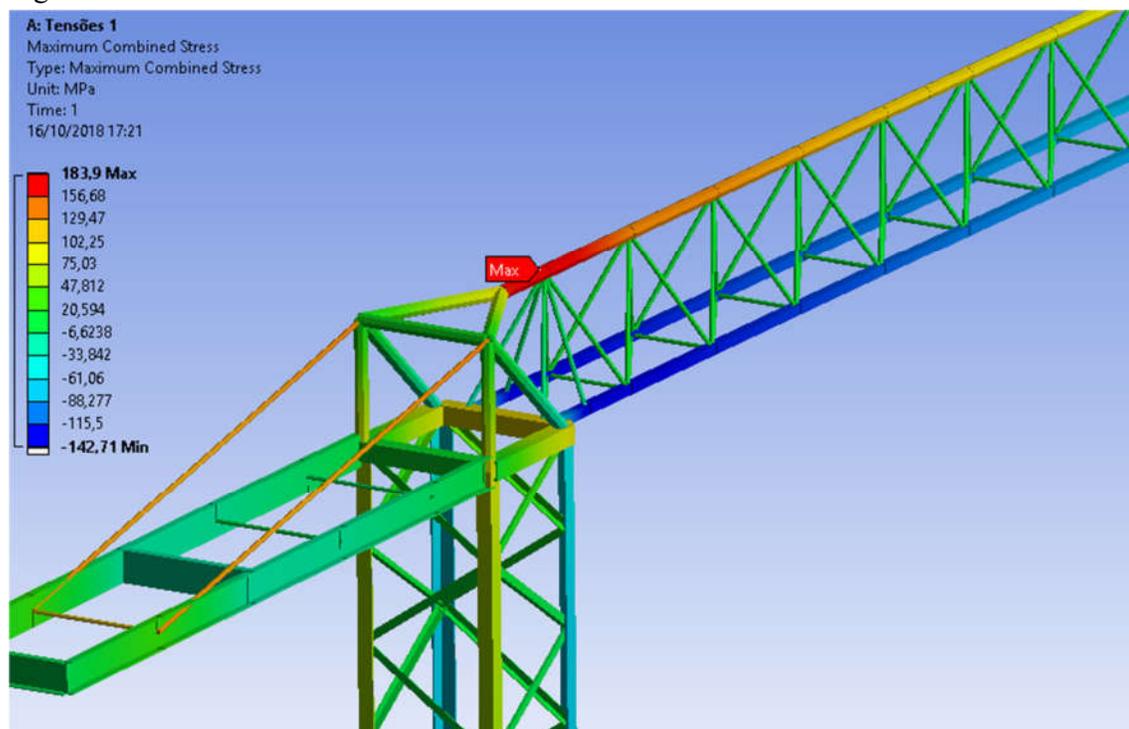
Fonte: Autor

Figura 23 – Resultados das tensões da análise 2



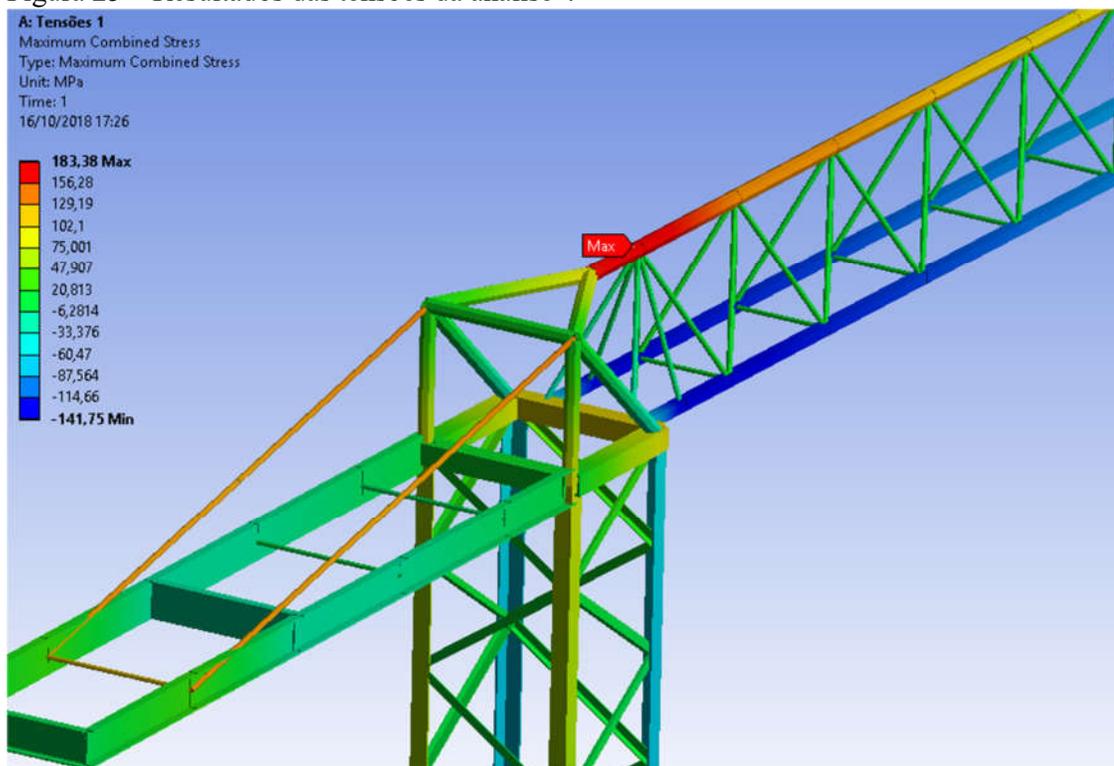
Fonte: Autor

Figura 24 – Resultados das tensões da análise 3



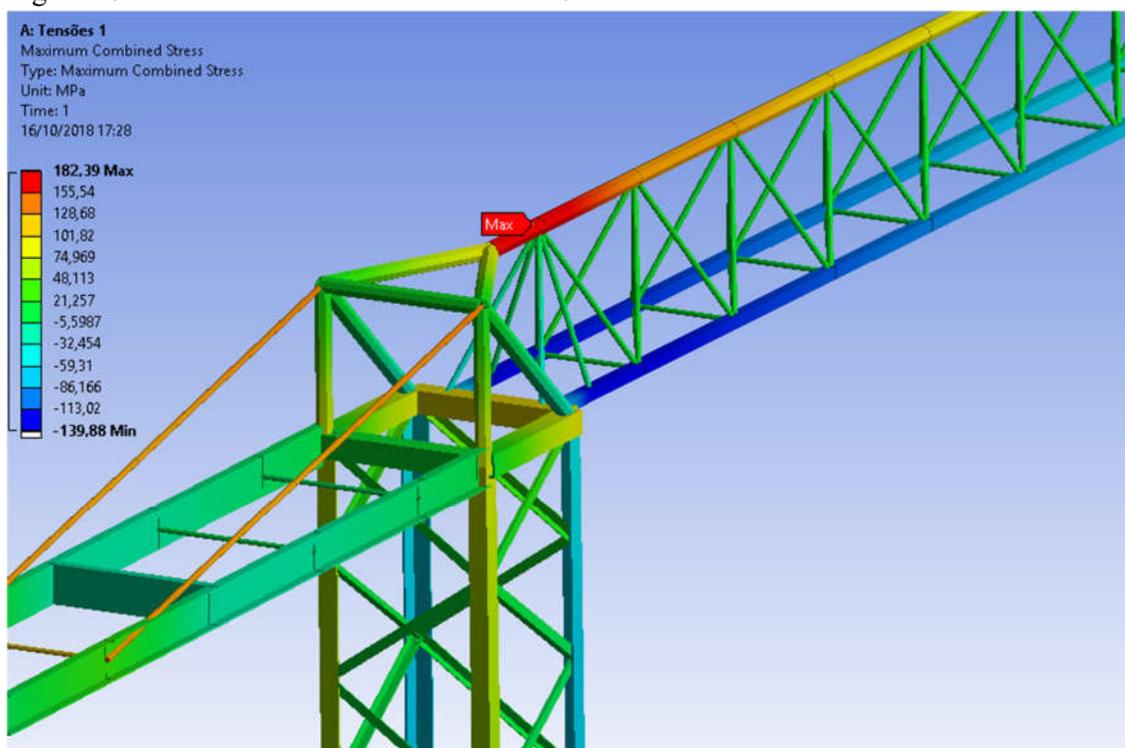
Fonte: Autor

Figura 25 – Resultados das tensões da análise 4



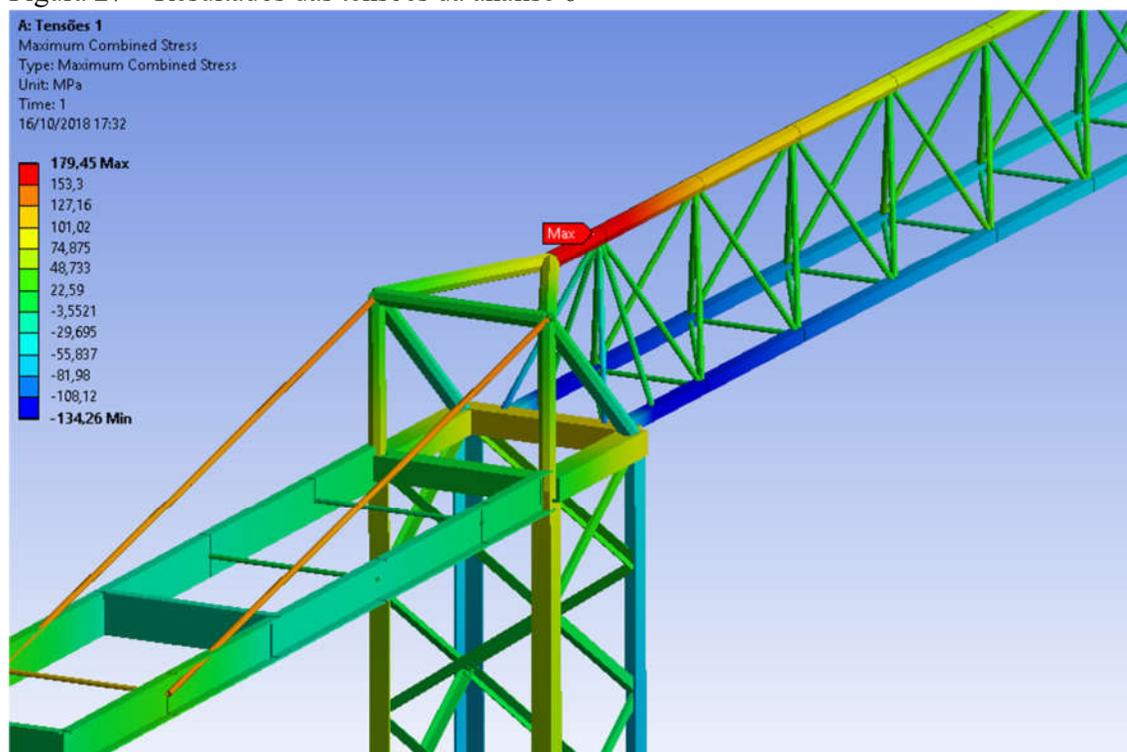
Fonte: Autor

Figura 26 – Resultados das tensões da análise 5



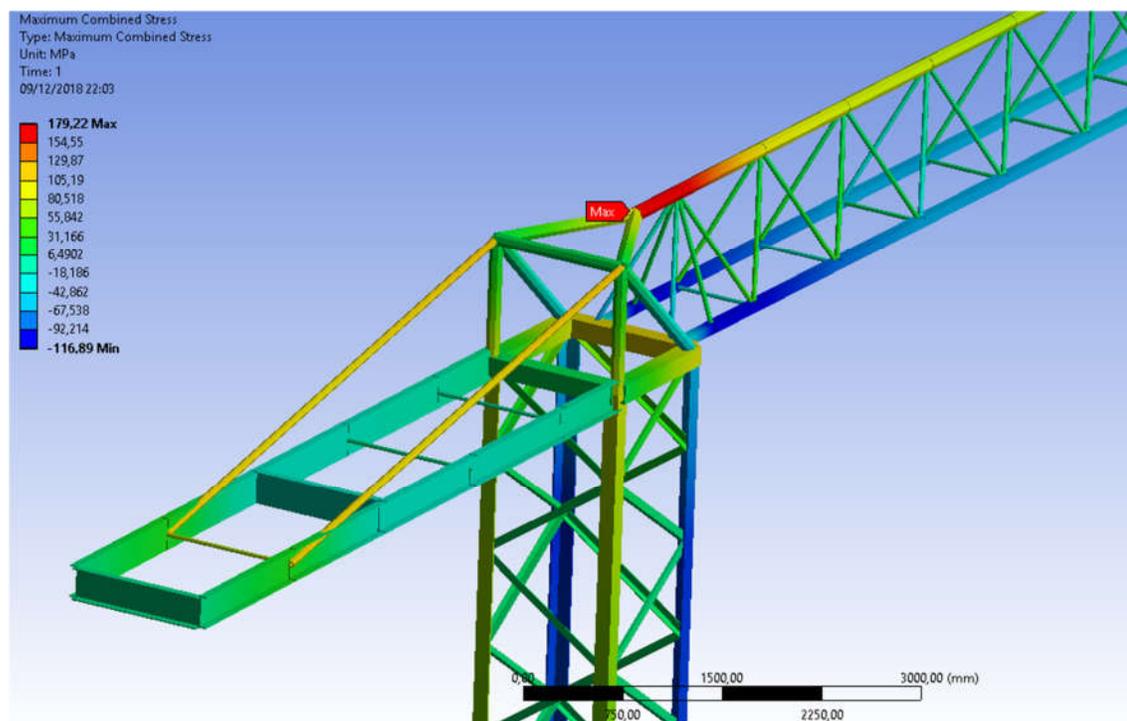
Fonte: Autor

Figura 27 – Resultados das tensões da análise 6



Fonte: Autor

Figura 28 – Resultados das tensões da análise 7



Fonte: Autor

As partes que estão em vermelho são onde ocorrem as maiores tensões combinadas máxima de tração, as partes azuis, são as que ocorrem as maiores referente a compressão, ou seja, os pontos críticos do guindaste. Como mostrado na lateral esquerda da imagem, as tensões estão em mega pascal (MPa), sendo os sinais positivos e negativos respectivamente as tensões de tração e compressão.

Como indicado nas figuras anteriormente citadas, uma das possibilidades do software é indicar exatamente onde ocorre a maior tensão com um indicador escrito “Max”, sendo assim mais fácil de compreender onde ocorrerá a falha do guindaste.

Para maior visualização dos valores encontrados na análise, foi criado uma tabela indicando o número da análise e a tensão máxima ocorrida.

Tabela 3 – Tensões máximas encontradas nas análises realizadas

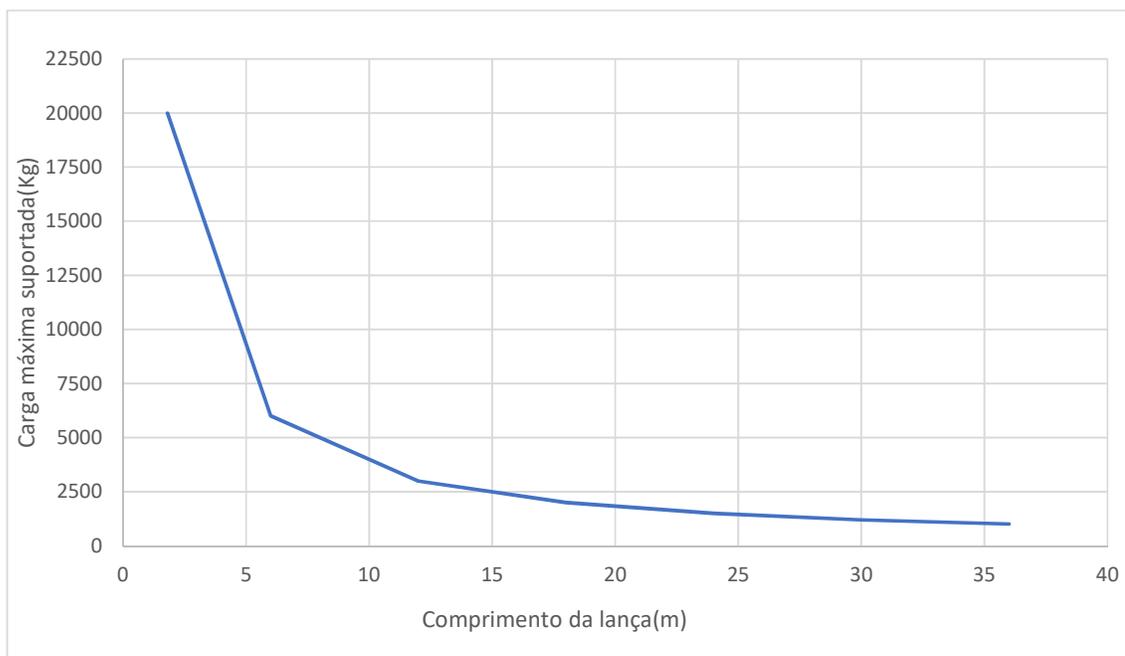
Análise	Tensão máxima em MPa
01	184,36
02	184,20
03	183,90
04	183,38
05	182,39
06	179,45
07	179,22

Fonte: Autor

Um dos objetivos do trabalho era manter a estrutura com um coeficiente de segurança em torno de 1,35 em relação a tensão de escoamento do material, totalizando a tensão admissível $\sigma_{adm} = 250/1,35$ igual a 185,2 Mpa. Como mostram os resultados todas as análises realizadas mantiveram bem perto disso.

Como objetivo final do trabalho foi criado um gráfico que fica em função do comprimento da lança e das cargas suportadas com segurança pelo guindaste, mantendo as tensões abaixo das tensões admissíveis.

Gráfico 1 – Carga máxima suportada pelo guindaste em função do comprimento da lança



Fonte: Autor

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Por ser um produto de alto risco de operação e de montagem, o guindaste torre deve ser cada vez melhor avaliado e estudado.

A partir desse trabalho de graduação, foi possível perceber e analisar algumas cargas envolvidas na montagem e operação de um guindaste de torre bem como as mesmas influenciam na estrutura do equipamento como um todo. O guindaste considerado no estudo é um guindaste com dimensões reais, tais como os utilizados em obras de grandes prédios.

Como neste trabalho não foi considerado as forças do vento agindo na estrutura e tampouco alguns itens de pouco peso, os resultados obtidos pelas análises podem não condizer com a realidade, aumentando assim as tensões e perdendo sua segurança.

Quanto aos resultados das tensões calculadas pelo programa, os valores se mantiveram abaixo da tensão admissível do aço utilizado, tendo um coeficiente de segurança médio igual a 1,35 em todas as análises. Como em algumas análises resultaram em uma alta tensão de compressão em algumas partes do guindaste, é necessário uma análise de flambagem da estrutura para uma análise de falha mais detalhada, para garantia da estabilidade da mesma.

Também há uma boa comparação do modelo matemático calculado pelo ANSYS com a prática, pois os pontos onde os maiores esforços agiram são pontos onde normalmente ocorrem falha por fadiga ou alguma quebra em decorrência de sobrecarga ou mau uso do equipamento guindaste de torre.

Assim, pode-se concluir a partir dos dados fornecidos por esse trabalho, que a utilização de um *software* de elementos finitos como o ANSYS, em uma análise detalhada do tipo de trabalho que o guindaste de torre será utilizado, poderá fazer com que haja melhorias no produto como redução de peso mantendo a segurança do mesmo, sendo possível utilizar o software tanto no desenvolvimento do produto quanto ao longo de sua utilização, levando em conta variáveis impõe mudar um pouco o conceito de que o método dos elementos finitos deva ser utilizado apenas no desenvolvimento do produto, mas sim ao decorrer de sua utilização, levando em conta todas as variáveis adicionadas no uso do equipamento, não previstas no momento do desenvolvimento do produto, tornando-o cada vez mais seguro e confiável.

5.1. SUJESTÃO DE TRABALHOS FUTUROS

Como sugestões para trabalhos futuros, alguns itens que podem ser analisados e comparados para o aperfeiçoamento deste trabalho:

- Adicionar as forças gerada pelo vento na estrutura, e fazer um comparativo das tensões obtidas;
- Dimensionamento do mecanismo de elevação como o moto-reductor, cabos de aço e carrinho;
- Análise estrutural de uma grua de torre fixa estaiada pelo método dos elementos finitos com as mesmas cargas, fazendo um comparativo de peso com o modelo analisado neste trabalho.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AZEVEDO, Álvaro Marques. **Método dos elementos finitos**. 1ª ed. Portugal. Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto. 2003. 258 p.

BEER, Ferdinand P. et al. **Mecânica dos Materiais**. 5. ed. São Paulo: Bookman, 2011. 800 p.

BUDYNAS, Richard G.; NISBETT, J. Keith. **Elementos de Máquinas de Shigley: Projeto de Engenharia Mecânica**. 8. ed. São Paulo: Bookman, 2011. 1073 p.

CASILIO, Eferson Macedo. **Uso de guas traz vantagens e segurança na realização de obras**. FIEP: [s.n.], 2014. 1 p. Disponível em: <<http://www.fiepr.org.br/sindicatos/sindicaf/News21531content204097.shtml>>. Acesso em: 15 abr. 2018.

ENGEL, Jaqueline Barreto; FERREIRA, Emerson de A. M. **A segurança na utilização da grua na construção do edifício**. 2008. 19 p. Disponível em: <<http://www.metalica.com.br/a-seguranca-na-utilizacao-da-grua-na-construcao-do-edificio>>. Acesso em: 15 abr 2018 as 17:50 h.

GRUBRAS. **Manual grua torre ascensional (Flat-top)**. 2018. 6 p. Disponível em: <<http://grubras.ind.br/novo/gbas-grua-torre-ascensional-flat-top/>>. Acesso em: 18 set. 2018.

HIBBELER, Russell Charles. **Resistência dos Materiais**. 7. ed. São Paulo: Pearson Education do Brasil, 2010. 640 p.

LIEBHERR. **Dados técnicos Guindaste de torre 71 EC-B 5**. 1. 2009. Disponível em: <<https://www.liebherr.com/external/products/products-assets/249195/liebherr-71ec-b-5-frtronic-datasheet.pdf>>. Acesso em: 10 dez. 2018.

NAKAMURA, Juliana. **Gruas viabilizam a movimentação de cargas e elevam a produtividade**. 1. 2015. Disponível em:

<https://www.aecweb.com.br/cont/m/rev/gruas-viabilizam-a-movimentacao-de-cargas-e-elevam-a-produtividade_15677_38_0>. Acesso em: 10 dez. 2018.

NORTON, Robert L. **Projeto de Máquinas: Uma Abordagem Integrada**. 4. ed. Porto Alegre: Bookman, 2013. 1055 p.

OSS, Eduardo. **O que é AutoCAD?** 2015. Disponível em: <<http://www.acadig.com.br/o-que-e-autocad>>. Acesso em: 20 abr. 2018.

SORIANO, Humberto Lima. Elementos Finitos – **Formulação e Aplicação na estática e Dinâmica das estruturas**. Rio de Janeiro: Editora Ciência Moderna Ltda., 2009. 432 p.

ANEXOS

ANEXO 1 – Dados técnicos de um guindaste tipo torre Liebherr.

Kranoberteil		Upper part of crane / Partie supérieure de grue / Parte superiore della gru		L (m)	B (m)	H (m)	kg ³⁾
Pos. Item Rep. Note	Anz. Qty. Unit	Drehbühne kpl. / Slewing platform cpl. / Ensemble mât cabine cpl. / Piattaforma girevole compl. / Piattaforma giratoria compl. / Conjunto plataforma de giro / Поворотная платформа в сб.		2,43	2,74	2,52	4100
1	1						
2	1	Drehbühne / Slewing platform / Ensemble mât-cabine / Piattaforma girevole / Conjunto plataforma de giro / Piattaforma giratoria / Поворотная платформа		2,43	1,99	2,52	3850
3	1	Podeste / Platformes / Plates-formes / Pedana / Piattaforme / Plataformas / Площадки		2,07 2,07 2,13	0,59 1,04 0,60	1,31 1,31 1,33	110 120 140
4	1	Kabine / Cabin / Cabine / Cabina / Cabina / Cabina / Кабина		1,35	2,38	2,28	810
5	1	Gegenausleger / Counter-jib / Contre-fleche / Controffaccia / Contrapuma / Contra-lança / Конюль противовеса		11,02	1,39	0,66	2090
6	1	Podeste Gegenausleger / Counter-jib platforms / Plates-formes de contre-fleche / Base del controffaccia / Piattaforma contra-puma / Piattaforma contra-lança / Площадка конюли противовеса		3,00	0,75	1,32	140
7	1	Ausleger-Ankerstück / Jib head section / Pied de fleche / Sezione articolata braccio / Puma tramo primero / Base articulada de lança / Корневая секция стрелы		10,05	1,23	1,06	⊕ 1750
8	1	Ausleger-Zwischenstück / Intermediate jib section / Élément intermédiaire de fleche / Sezione intermedia braccio / Tramo intermedio puma / Peça suplementar da lança / Промежуточная секция стрелы		5,22 2,69 7,68 5,17 5,17	1,10 1,10 1,10 1,10 1,10	1,69 1,25 1,24 1,23 1,23	⊕ 530 ⊕ 160 ⊕ 380 ⊕ 200 ⊕ 170
9	1	Ausleger-Zwischenstück / Intermediate jib section / Élément intermédiaire de fleche / Sezione intermedia braccio / Tramo intermedio puma / Peça suplementar da lança / Промежуточная секция стрелы		10,20	1,10	1,83	⊕ 740
10	1	Ausleger-Kopfstück / Jib head section / Pointe de fleche / Punta braccio / Tramo punta de puma / Cabeça de lança / Концевая секция стрелы		1,24	1,11	0,44	⊕ 60
11	1	Laufkatze / Trolley / Chariot / Carro / Carro / Carro / Грузовая тележка		1,60	1,28	0,78	163
12	1	Fahrkorb / Maintenance cage / Nacello d'entretien / Cestello di manutenzione / Plataforma de mantenimiento / Передняя платформа		0,78	0,66	1,25	35
Turm		Tower / Mât / Torre / Torre / Башня					
13	1	Grundturmstück / Base tower section / Mât de base / Elemento di torre base / Tramo torre base / Peça de base de torre / Секция основания		12,00	1,42	1,42	3220
14	1	Turmstück / Tower section / Element de mât / Elemento di torre / Tramo torre / Torre / Башенная секция		3,90 m 5,85 m 11,70 m	4,17 6,12 11,97	1,20 1,20 1,20	970 1310 2410
Klettereinrichtung		Climbing equipment / Equipement de télescope / Attrezzatura per allungamento della gru					
		Equipo de trepado / Acessórios p. subida no edificio / Обойма наращивания					
15	1	Führungstück kpl. / Guide section cpl. / Cage télescopique cpl. / Gabbia di sopraelevazione compl. / Torre de montaje completa / Peça de guia compl. / Направляющая секция в сб.		8,74	1,66	1,75	2680
16	1	Führungstück Turmstück / Tower guide section / Élément de mât télescopique / Gabbia di sopraelevazione / Tramo torre de montaje / Peça de guia / Направляющая секция		3,90 m	4,17	1,66	1190
17	1	Hydraulikanlage, Stütz- und Klettertraverse / Hydraulic unit, supporting and climbing cross members / Système hydraul. avec traverses d'appui et de télescop. Syst. hydraul. traversa di appoggio e allungam. gru / Sistema hidráulico con traviesa de apoyo y trepado / Instalação hidráulica, travessa de apoio e subida / Гидроагрегат, стойка-упор и трюверс обоймы наращивания		2,00	0,90	0,80	530
Fundamentkreuz		Cruciform base / Châssis en croix / Crociera / Carro de guindaste / Base cruciforme / Фундаментная крестовина					
18	1	Tragholm I / Arm I / Longeron I / Longherone I / Traveasa I / Brazo I / Несущая балка I		3,0 m 3,8 m	4,88 5,68	0,71 0,71	1550 1790
19	1	Tragholm II / Arm II / Longeron II / Longherone II / Traveasa II / Brazo II / Несущая балка II		3,0 m 3,8 m	4,88 5,68	0,78 0,78	1340 1580
20	2	Fahrschame] mit Antrieb / Rai] bogie with drive / Bogie moteur / Telaço con gruppo propulsore / Caja rod]]o motriz / Quadra sem grupo de propulsão / Подрамник с приводом		1,31 0,95	0,66 0,38	0,61 0,42	630 280
21	2	Fahrschame] ohne Antrieb / Rai] bogie without drive / Bogie fou / Telaço senza gruppo propulsore / Caja rod]]o conducido / Quadra com grupo de propulsão / Подрамник без привода		1,04 0,38	0,33 0,31	0,61 0,42	330 200

³⁾ Einzelgewichte. / Single weights. / Poids individuels. / Singol pesi. / Pesos unitarios. / Pesos de peças componentes. / Индивидуальный вес.