

CENTRO UNIVERSITÁRIO ASSIS GURGACZ
LEANDRO DOS SANTOS GARCIA

**PROJETO DE UM DISPOSITIVO PARA TRAVAMENTO EM PLATAFORMAS
BASCULANTES**

CASCABEL - PR
2020

CENTRO UNIVERSITÁRIO ASSIS GURGACZ

LEANDRO DOS SANTOS GARCIAS

**PROJETO DE UM DISPOSITIVO PARA TRAVAMENTO EM PLATAFORMAS
BASCULANTES**

Trabalho apresentado na disciplina de Trabalho de Conclusão de Curso II, do Curso de Engenharia Mecânica, do Centro Universitário Assis Gurgacz, como requisito para obtenção do título de Bacharel em Engenharia Mecânica.

Professor orientador: MSe Carlos Alberto Breda

**CASCADEL - PR
2020**

CENTRO UNIVERSITÁRIO ASSIS GURGACZ

LEANDRO DOS SANTOS GARCIAS

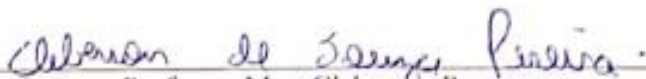
**PROJETO DE UM DISPOSITIVO PARA TRAVAMENTO EM PLATAFORMAS
BASCULANTES**

Trabalho apresentado no Curso de Engenharia Mecânica do Centro Universitário FAG,
como requisito parcial para obtenção do título de Bacharel em Engenharia Mecânica, sob
orientação do Professor Msc. Carlos Alberto Breda.

BANCA EXAMINADORA



Orientador Professor Msc. Carlos Alberto Breda
Centro Universitário Assis Gurgacz
Engenheiro Mecânico



Professor Msc. Cleberston Pereira
Centro Universitário Assis Gurgacz
Engenheiro Mecânico



Professor Msc. Sérgio H. Mota
Centro Universitário Assis Gurgacz
Engenheiro Mecânico

Cascavel, 06 de novembro de 2020.

DEDICATÓRIA

Dedico este trabalho primeiramente a Deus pela vida e saúde, a minha esposa Denize e filha Thayla pelo apoio incondicional e “in Memoriam” do meu Pai Almiro que infelizmente não conseguiu me acompanhar até o fim dessa caminhada.

AGRADECIMENTOS

Primeiramente a Deus, por ter me proporcionado essa conquista profissional e pessoal, que em meio a tantas dificuldades não me deixou fraquejar.

Ao professor Breda que pelo pouco convívio que tivemos conseguiu-me passar as coordenadas corretas nessa reta final da graduação.

A minha esposa Denize e filha Thayla que amo muito, pelo apoio incondicional durante essa peleja, sempre foram compreensivas e pacientes com minhas ausências pra estudos.

A minha Mãe Célia e meu saudoso Pai Almiro, que sempre me carregaram no colo nos momentos difíceis e foram minhas fontes motivadoras nos momentos que pensava em desistir, pelo orgulho demonstrado em seu filho ser no futuro um engenheiro.

A minhas irmãs, sobrinhos(as) e aos cunhados por todo carinho e apoio.

E também aos amigos e colegas que torceram por mim nessa caminhada.

RESUMO

O avanço da tecnologia atualmente tem proporcionado aos setores industriais uma série de benefícios e com as atividades voltadas ao ramo metal mecânicas não é diferente, principalmente as ligadas ao meio desenvolvimento e criação que são os impulsionadores dessas inovações. É importante salientar que todo esse avanço possui como estrutura os profissionais de criação e desenvolvimento, e o objetivo final é sempre a comodidade dos consumidores. Nesse contexto, o engenheiro da área é um dos principais elos dessa corrente e constantemente é posto em situações que exige aptidão qualificada. É notório que inovações surgem da necessidade e nesse âmbito, esse trabalho tende a explanar uma sequência de etapas na qual um projetista é submetido a atingir uma concepção viável do desenvolvimento do produto. A área alvo do produto a ser projetado, está ligada a produção do campo, pois se trata do desenvolvimento de um sistema de travamento auxiliar de carretas durante a operação descarga em plataformas basculante, que para descarga de veículo bi articulados como bitrens e rodotrens que chegam a medir 30 metros de comprimento. O desenvolvimento do produtivo exige técnicas variadas do projetista durante o processo, como meios de criação, atributos desejáveis, modelagem, quesitos de segurança operacional, funcional, técnicas de seleção de concepções baseadas no que o mercado permite, meios e processos de fabricação e por fim, o dimensionamento por meio de elementos finitos. A técnica de elementos finitos é umas das grandes responsáveis pela elaboração dos projetos, pois permite uma modelagem e análise estrutural com índice de assertividade elevado. Já a metodologia a ser utilizada, será o método dedutivo, ou seja, a partir de um problema ou necessidade, traça-se uma linha direta para resolução do objeto de estudo. Os resultados aspirados é a concreta realização do projeto com o alcance dos objetivos estipulados, pois será de extrema importância, tanto no âmbito acadêmico quanto no profissional e com potencial para se tornar um produto de mercado a ser comercializado e utilizado para aumentar a segurança nas operações de descarga em plataformas basculantes.

Palavras-chave: Plataforma Basculante, Projeto do Produto, Dimensionamento Estrutural.

ABSTRACT

The advancement of technology today has provided the industrial sectors with a series of benefits and with activities focused on the metal mechanics branch it is no different, especially those linked to the development and creation environment that are the drivers of these innovations. It is important to note that all this advancement is based on creation and development professionals, and the ultimate goal is always the convenience of consumers. In this context, the area engineer is one of the main links in this chain and is constantly put in situations that require qualified skills. It is clear that innovations arise out of necessity. In this context, this work tends to explain a sequence of steps in which a designer is submitted to achieve a viable conception of product development. The target area of the product to be designed is linked to the production of the field, as it involves the development of an auxiliary locking system for trailers during the unloading operation on tilting platforms, which for unloading, of bi-articulated vehicles such as trailers and trailers arrive measuring 30 meters in length. The development of the production requires varied techniques from the designer during the process, such as means of creation, desirable attributes, modeling, operational, functional security, design selection techniques based on what the market allows, manufacturing methods and processes and finally, dimensioning by means of finite elements. The finite element technique is one of the main responsible for the elaboration of the projects, because it allows a modeling and structural analysis with a high assertiveness index. The methodology to be used, on the other hand, will be the deductive method, that is, based on a problem or need, a direct line is drawn for solving the object of study. The aspired results are the concrete realization of the project with the achievement of the stipulated objectives, as it will be of extreme importance, both in the academic and professional spheres and with the potential to become a market product to be commercialized and used to increase safety in operations unloading on tilting platforms.

Keywords: Tilting Platform, Product Design, Structural Design.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Plataforma Basculante – Tombador.....	16
Figura 2: Relação entre Marketing, Produção e Cliente.	17
Figura 3: Exemplo de Carregamento Axial.....	22
Figura 4: Exemplo de Carregamento Transversal.	23
Figura 5: Exemplo de Carregamento por Esmagamento.	24
Figura 6: Exemplo de Carregamento por Flexão.	24
Figura 7: Elementos Finitos mais Comuns.....	28
Figura 8: Análise de um Rotor de Uma Turbina.....	30
Figura 9: Sistema de Travamento Convencional.	35
Figura 10: Curso de Movimentação do Dispositivo.....	36
Figura 11: Trava Pino Patente PI 0504063-9 B1	38
Figura 12: Trava Pino Patente MU 86016806.	38
Figura 13: Imagem do Dispositivo de Travamento Lateral.	41
Figura 14: Componentes.	41
Figura 15: Funcionamento.	43
Figura 16: Tipos de Juntas.	44
Figura 17: Travas Laterais Montadas.....	45
Figura 18: Cargas x Decomposições 1.....	48
Figura 19: Cargas x Decomposições 2.....	49
Figura 20: Visual da Estrutura na Condição N1.	50
Figura 21: Malha da Estrutura na Condição N1 e N3.	51
Figura 22: Análise de Tensão na Condição N1.....	52
Figura 23: Análise de Deslocamento na Condição N1.	52
Figura 24: Visual da Estrutura na Condição N2.	53
Figura 25: Malha da Estrutura na Condição N2 e N4.....	53
Figura 26: Análise de Tensão na Condição N2.....	54
Figura 27: Análise de Deslocamento na Condição N2.	54
Figura 28: Visual da Estrutura na Condição N3.	55
Figura 29: Análise de Tensão na Condição N3.....	56
Figura 30: Análise de Deslocamento na Condição N3.	56
Figura 31: Visual da Estrutura na Condição N4.	57
Figura 32: Análise de Tensão na Condição N4.....	57

Figura 33: Análise de Deslocamento na Condição N4.	58
--	----

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Lista de componentes	42
Tabela 2: Tabela de resultados de esforços	58

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ART - anotação de responsabilidade Técnica;

ASTM – Sociedade Americana para Testes e Materiais (American Society for Testing and Materials);

CAD – Desenho assistido por computador (Computer-Aided Design);

CAE – Engenharia assistida por computador (Computer-Aided Engineering);

CREA - Conselho regional de Engenharia e Arquitetura;

GL – grau de liberdade;

INPI – Instituto Nacional de Propriedade Industrial;

MEF – Método de Elementos Finitos;

Mpa – Mega Pascal;

MU – Patente de Modelo de Utilidade;

NR – Norma Regulamentadora;

NR 10 – Segurança em Instalações e Serviços em Eletricidades;

NR 12 – Segurança no Trabalho em Máquinas e equipamentos;

PI – Patente de Invenção;

PU – Pintura com tinta Poliuretano;

TON – Toneladas;

VCC – voltagem em corrente contínua;

3D – Espaço tridimensional;

µm – Microns;

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	13
1.1	OBJETIVO GERAL.....	14
1.2	OBJETIVOS ESPECÍFICOS	14
1.3	JUSTIFICATIVA.....	14
1.4	CARACTERIZAÇÃO DO PROBLEMA	15
1.5	DELIMITAÇÃO DA PESQUISA	15
2	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	16
2.1	PLATAFORMA BASCULANTE	16
2.2	INFORMAÇÕES PARA DESENVOLVIMENTO DO PRODUTO	17
2.3	REALIZAÇÃO DE UM PROJETO.....	18
2.4	METODOLOGIAS ORIENTAR NA CONCEPÇÃO DO PRODUTO	18
2.4.1	Análise das Necessidades.....	19
2.4.2	Projeto Conceitual.....	19
2.4.3	Projeto Preliminar	20
2.4.4	Projeto Detalhado.....	20
2.4.5	Construção do Protótipo.....	20
2.4.6	Testes e Modificações	21
2.4.7	Documentação.....	21
2.5	DIMENSIONAMENTO DOS MATERIAIS.....	21
2.5.1	Carregamento Axial	22
2.5.2	Carregamento Transversal ou de Cisalhamento.....	23
2.5.3	Carregamento por Esmagamento	23
2.5.4	Carregamento por Flexão.....	24
2.5.5	Teoria da Tensão Máxima de Cisalhamento – Tresca	24
2.5.6	Tensão Admissível.....	25
2.6	ELEMENTOS DE MAQUINAS	25
2.6.1	Elementos de Fixação	25
2.6.2	Sistemas Hidráulicos.....	26
2.7	MÉTODOS DE ELEMENTOS FINITOS	26
2.7.1	Dimensão e graus de liberdade dos elementos finitos.....	27
2.7.2	Considerações sobre o solidworks	29
2.8	SEGURANÇA NA OPERAÇÃO DE EQUIPAMENTOS	30
3	METODOLOGIA.....	32
4	DESENVOLVIMENTO DO PROJETO	35
4.1	ANÁLISE DAS NECESSIDADES	35
4.1.1	Características desejáveis do produto.	36
4.1.2	Características técnicas desejáveis.....	37

4.1.3	Características de segurança desejáveis.....	37
4.2	MODELOS DE TRAVAS EXISTENTES.....	37
4.3	PROJETO CONCEITUAL	39
4.3.1	Determinação dos materiais a serem utilizados.	39
4.3.2	Determinação dos tipos de mecanismos.	39
4.3.3	Determinação dos tipos de juntas e fixadores.	39
4.3.4	Determinação dos tipos de transmissão de força.	39
4.4	PROJETO PRELIMINAR	40
4.4.1	Modelagem.....	40
4.4.2	Componentes.....	41
4.4.3	Funcionamento.....	42
4.4.4	Mecanismos e Tipos de juntas	43
4.4.5	Sistema de segurança	44
4.4.6	Acabamento da superfície.....	45
4.4.7	Forma de envio/transporte.....	45
4.5	DIMENSIONAMENTO DOS COMPONENTES.....	46
4.5.1	Determinação das forças atuantes.	47
4.5.2	Materiais utilizados na modelagem.....	50
4.5.3	Dimensionamento da estrutura para carga de 7,58 ton – N1.	50
4.5.4	Dimensionamento da estrutura para carga de 7,58 ton – N2.	53
4.5.5	Dimensionamento da estrutura para carga de 17,50 ton – N3.	55
4.5.6	Dimensionamento da estrutura para carga de 17,50 ton – N4.	56
4.5.7	Análise dos resultados obtidos.....	58
5	RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	60
5.1	SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS	60

1 INTRODUÇÃO

Atualmente, as atividades do campo tem sido alvo de empresas de tecnologias que trabalham incessantemente em busca de melhorias no ferramental e nos equipamentos que permitam aumentar o rendimento nas atividades do setor do agronegócio brasileiro.

Com a evolução na genética dos graneis e consequente aumento das produtividades, novos equipamentos e de maiores capacidades foram desenvolvidos como os de plantio e colheita, ascensão essa, que alavancou as demais indústrias do ramo de forma indireta como a dos veículos rodoviários graneleiros. Com o aumento na capacidade de transporte dos veículos graneleiros, foram desenvolvidos equipamentos para agilizar o processo de recebimento em unidades graneleiras, como as plataformas basculantes. Para se ter um comparativo simples, na década de 70 os veículos que faziam esse tipo de transporte possuíam capacidade máxima de 23 toneladas, entretanto, na atualidade, os veículos que fazem essa mesma logística possuem um potencial para transportar até 74 toneladas, que são as carretas biarticuladas modelos bitrem e rodotrem.

Com o aumento de capacidade dos meios de transportes graneleiros, as plataformas foram ampliadas e atualmente chegam numa condição de desafios para os engenheiros do ramo. O empenho dos profissionais é em buscar por operações cada vez mais seguras, fato esse que norteou ao desenvolvimento de um dispositivo que permita a realização de travamento auxiliar à carreta durante inclinação, ou seja, inserir no equipamento mais pontos de travamento, realizando assim travamentos simultâneos ao sistema de travamento convencional. Logo, diminuindo a tendência de acidentes pelo desengate dos pinos de reboques, como também das tensões mecânicas no sistema de travamento convencional durante operação de descarga.

Esse estudo concerne ao desenvolvimento de um dispositivo para travamento auxiliar de carretas em plataformas durante operação de basculamento e está limitado ao referencial teórico do projeto. Igualmente, esse trabalho de conclusão de curso visa sua total finalização, entretanto não descartando possíveis alterações no decorrer, como ajustes de objetivos, inclusão de literaturas, adiamento da conclusão e até mesmo cancelamento do estudo sobre ação de força maior.

Para realização do estudo, serão utilizadas literaturas que fundamentam a engenharia, porém, limitadas aos assuntos de resistências dos materiais, elementos de máquinas e também da aplicação de técnicas para modelagem do produto em *software* 3D e seu dimensionamento por intermédio de análise de elementos finitos e percepção de meios e métodos de fabricação necessários.

A metodologia a ser utilizada será o método dedutivo, ou seja, a partir de um problema ou necessidade, traça-se uma linha direta para resolução do objeto do estudo.

1.1 OBJETIVO GERAL

Desenvolver o projeto de um dispositivo para travamento lateral em plataformas basculantes.

1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Revisar bibliografias de resistência para o dimensionamento dos componentes.
- Reiterar de assuntos que embasam a modelagem 3d e a análise estrutural por elementos finitos.
- Estudar normas de segurança relativas ao projeto proposto.
- Identificar produtos similares existentes protegidos.
- Modelar em software *CAD 3D*.
- Dimensionar os principais componentes do projeto através da análise de elementos finitos.

1.3 JUSTIFICATIVA

Atualmente, quando se pensa nas atividades realizadas pela engenharia, a principal é a de criar, desenvolver, projetar. Baseado nessa idealização que o estudo está voltado, com propósito de realizar o projeto de um produto, porém, a arte de projetar não é tão simples quanto parece. Para o desenvolvimento do projeto de um produto é necessário ao projetista ter habilidades, experiências e conhecimentos sobre as variáveis envolvidas, sendo um momento de muita responsabilidade na tomada de decisões, pois essas podem viabilizar ou não a próxima fase do projeto.

Proveniente de uma necessidade profissional do autor, surgiu a ideia de realizar esse estudo, utilizando assim conhecimentos e técnicas adquiridos na graduação. Isto é, desenvolver o projeto de um dispositivo que irá auxiliar no travamento de carretas biarticuladas tipo bitrem e rodotrem durante operação de descarga de cereais em plataformas basculantes, que resultará no aumento da segurança operacional do processo de descarga de cereais nesse tipo de equipamento.

Esse dispositivo de travamento estará voltado ao mercado de produtos dispostos ao ramo do agronegócio, as plataformas basculantes e/ou tombadores como são popularmente conhecidos. Essas são responsáveis pela operação de descarga de veículos rodoviários graneleiros, tal dispositivo a ser desenvolvido se fundamenta na questão da segurança, com o intuito de reduzir o risco de acidente operacional ao qual envolve os operadores e riscos de danos materiais de grande monta.

Para desenvolver o projeto com maior índice de assertividade, o estudo será embasado por literaturas auxiliares que permitirão a utilização de técnicas e ferramentas que irão nortear nas principais escolhas durante as tomadas de decisões e em todas as etapas da modelagem, como cálculos e dimensionamentos. Será importante identificar como é realizado o processo de travamento das carretas atualmente para se trabalhar numa solução complementar.

Os desdobramentos da pesquisa permitirão ao acadêmico relacionar o conhecimento teórico adquirido em aula com a aplicação na prática. O resultado positivo desse estudo certamente surtirá reflexos na sociedade, pois com a utilização desse dispositivo, a segurança operacional irá aumentar, contribuindo na redução nos riscos de acidentes, despesas com acidentes de trabalho, entre outros. Essa pesquisa poderá ser reproduzida de forma parcial ou total, servindo de referência para estudos futuros.

1.4 CARACTERIZAÇÃO DO PROBLEMA

Como desenvolver o projeto de um dispositivo para travamento lateral em plataformas basculantes?

1.5 DELIMITAÇÃO DA PESQUISA

Baseado no objetivo principal, que é o desenvolvimento de um projeto de um dispositivo mecânico para realizar o travamento auxiliar de carretas em plataformas basculantes durante operação de descarga, o estudo permitirá a resolução de um problema existente nas operações de descarga de cereais nesses equipamentos, porém, o estudo será realizado apenas com ênfase teórica e serão constituídas por pesquisas bibliográficas em literaturas de autores contemporâneos voltados a projetos mecânicos, pesquisas de mercado para identificar produtos similares existentes e suas características, modelagem e dimensionamento dos principais componentes, culminando na elaboração do projeto do dispositivo. Será realizado no espaço temporal presente, com término previsto pelo autor ainda no ano de 2020, e com a utilização de software CAD SolidWorks para modelagem do projeto.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 PLATAFORMA BASCULANTE

Segundo Weber (2005), a descarga de caminhões graneleiros pode ser feita de mais de uma forma, sendo o tradicional, a descarga manual, onde o caminhão descarrega sobre a moega, abrindo inicialmente pequenos registros de descargas sob a carroceria para aliviar a pressão sobre as tampas laterais e traseiras. Abertas as tampas, descarrega-se parte da massa por gravidade, ficando o restante a ser removido manual através de pessoas munidas de pás e rodos.

Em unidades com maiores volumes de graneis no recebimento Weber (2005) ressalta que, outra forma de descarga obtida é através da utilização de tombadores do tipo plataformas hidráulica basculante localizada sobre a moega e que vem crescendo com a utilização do sistema, especialmente pela rapidez com que podem ser descarregados caminhões de qualquer porte com o máximo de rapidez e com mínima mão de obra.

Segundo Silva (2010), normalmente, a descarga de um caminhão de 25 toneladas dura de 8 a 15 minutos. Para diminuir esse tempo, a valores próximos de 5 minutos, algumas unidades têm empregado o equipamento denominado tombador, em que o veículo carregado estaciona sobre uma superfície, que é inclinada entre 40 a 45°. Para o acionamento empregado motores elétricos com potências entre 10 a 100 cavalos a depender da capacidade do caminhão.

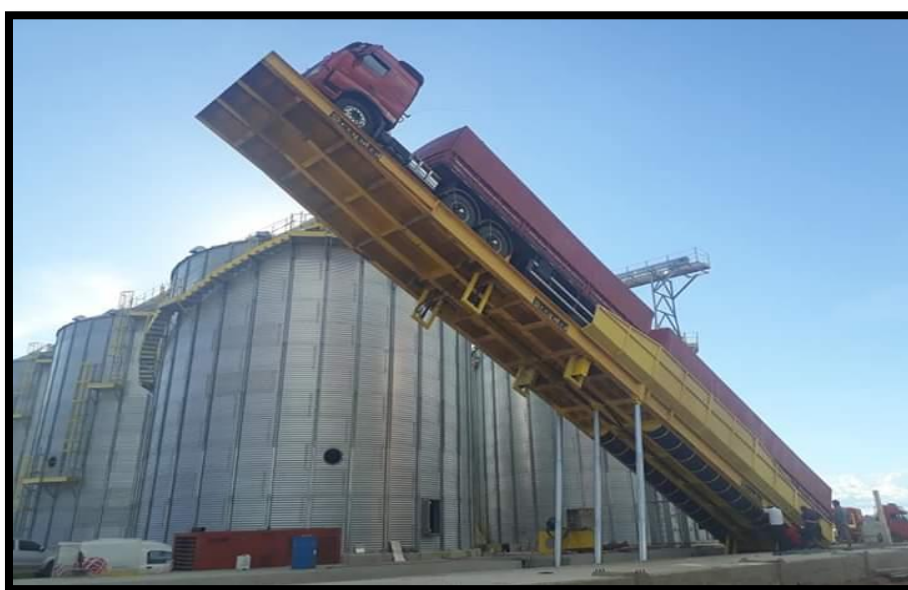


Figura 1: Plataforma Basculante – Tombador.

(Fonte: <https://balancascapital.com.br/tombador>, 2020)

Para Keedi (2003), o transporte de carga é exercido predominante com veículos rodoviários denominados caminhões e carretas, sendo que ambos podem ter características especiais e tomarem outras denominações. Cita Rodrigues (2003), que os veículos utilizados no transporte rodoviário são classificados por sua capacidade de carga, quantidade e distância entre eixos.

2.2 INFORMAÇÕES PARA DESENVOLVIMENTO DO PRODUTO

Baxter et AL (2000, apud GASPARIN et al, 2015), salienta que o fator de maior relevância para o sucesso comercial de um produto é que este contenha algum diferencial em relação aos de seus concorrentes. Outros elementos, também considerados importantes, são os aspectos mais valorizados pelo consumidor, como por exemplo, a qualidade e o custo.

Para Back (1993 apud VALDIERO, 2008), as primeiras fases do desenvolvimento do produto são de fundamental importância para o sucesso do projeto, pois avaliando os detalhes do projeto, fabricação, montagem, inspeção, transporte, venda, assistência técnica, descarte e outros, desde o início do desenvolvimento, problemas podem ser detectados e resolvidos de maneira mais fácil, rápida e barata.

Uma relação entre marketing, produção e cliente é ilustrada por Schroeder (1981) na figura 2 e demonstra a realidade de alguns projetos no qual o desencontro de informações acarreta na total distorção dos desejos do cliente.

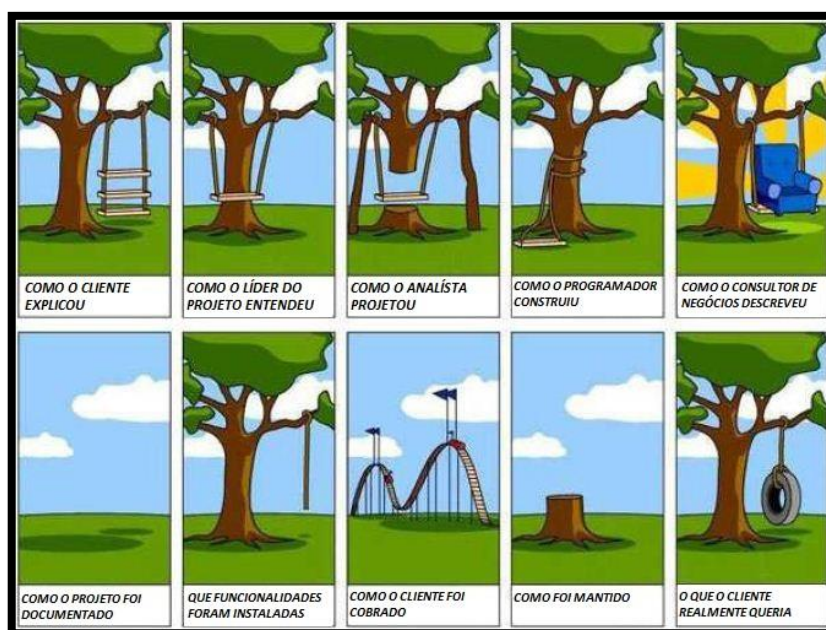


Figura 2: Relação entre Marketing, Produção e Cliente.

(Fonte: Schroeder, 1981)

Para Santos (2015), é necessário fazer uma análise de custos *versus* benefícios para verificar a viabilidade técnica e financeira ao fazer a escolha de um projeto, para garantir que atenda às condições mercadológicas, tecnológicas, de segurança e de qualidade.

2.3 REALIZAÇÃO DE UM PROJETO

A arte de projetar é um plano, que visa um objetivo com início, meio e fim. O projeto tem sido inerente a atividade humana durante a evolução dos tempos, desde os tempos primordiais das civilizações já se tem relatos de fabricação de ferramentas e artefatos que permitiam um maior conforto e comodidade as civilizações.

Segundo Duarte (2005), a atividade de projetar é uma ação articulada entre ciência e arte, em que a ciência pode ser aprendida, através de recursos: exercícios, práticas e técnicas; mas a arte depende de fatores essencialmente internos a pessoa, como vontade, dom, dedicação e persistência.

Conforme Back et al (2008, apud GASPARIN et al, 2015) a criação de um produto pode ocorrer de 3 formas: de uma ideia inovadora, do melhoramento ou da adaptação de produtos já existentes. O tempo utilizado no período de projeção desse novo produto varia conforme sua forma de criação, ou seja, se o produto for criado a partir de uma ideia inovadora, o tempo de projeção será maior, enquanto que se o produto for criado a partir das duas outras formas, o tempo de projeção menor.

2.4 METODOLOGIAS ORIENTAR NA CONCEPÇÃO DO PRODUTO

A adoção de uma metodologia no desenvolvimento e aprimoramento de produtos tem sido um requisito para as empresas que buscam aprimorar suas políticas de gestão de projetos, aplicando-as no desenvolvimento e inovação de produtos.

A metodologia de projeto procura orientar e ajudar o projetista a sistematização das informações de forma organizada, lógica e criativa, combinando os conhecimentos científicos e tecnológicos já adquiridos, e de diversas áreas do conhecimento, num projeto de engenharia. (VALDIERO, 2008).

Segundo Back et al (2008, apud GASPARIN et al, 2015), uma metodologia de projeto deve ser planejável, flexível, otimizável e verificável. Estes autores apresentam uma metodologia de projeto mais detalhada, englobando desde o planejamento até a validação do produto, composta por oito fases: planejamento do projeto, projeto informacional, projeto conceitual, projeto preliminar, projeto detalhado, preparação para produção, lançamento e

validação. Esta envolve todos os setores da empresa, e não somente a engenharia de produto, como normalmente ocorre nas empresas do setor de implementos agrícolas. Isto a torna uma metodologia mais dinâmica e que apresenta menos risco perante o mercado, em função de várias pessoas e setores participarem do processo de desenvolvimento.

2.4.1 Análise das Necessidades

Conforme Valdiero (2008), essa fase é formulada uma proposta de projeto ou a identificação de um problema de engenharia, a qual deve representar com o máximo de fidelidade os desejos do cliente ou público alvo, levando em conta as peculiaridades de cada etapa do ciclo de vida do produto. Desta fase, resulta uma lista de requisitos e restrições de projeto que serviram de base para o projeto conceitual.

Segundo Gasparini et al (2015), os dados da necessidade podem ser obtidos através de uma pesquisa de mercado, como intuito de saber a aceitação do futuro produto no mercado.

2.4.2 Projeto Conceitual

Para Valdiero (2008), o projeto conceitual parte, então, de uma necessidade bem definida e através de uma exaustiva geração de ideias, síntese e avaliação de diversas proposições de concepções, cega em uma concepção inicial para a solução do problema.

Para Tirotti (2003), esta fase desenvolve a transferência entre as necessidades abstratas e ainda desconhecidas para os requisitos concretos e prontos para as possíveis técnicas de produção disponíveis. O modelo obtido ao final dessa fase é a síntese da concepção do produto esperado. O nível detalhado das respostas dessa fase do projeto vai contribuir diretamente na qualidade das soluções buscadas e influir também no prazo de desenvolvimento do projeto.

De acordo com Valdiero (2008), o projeto conceitual é aquela parte do processo de projeto onde as técnicas de criatividade, a elaboração de estruturas de funções, a procura por princípios de solução, suas combinações na síntese de concepções e as técnicas de avaliação são aplicadas com o propósito de se chegar a uma solução conceitual viável e capaz de resolver o problema.

Segundo Tirotti (2003), o escopo do projeto começa a tomar corpo nesta fase do desenvolvimento; com uma análise das especificações levantadas em etapas anteriores vai identificar as restrições na decomposição ainda na área abstrata em opções na área concreta. Essas opções já devem estar verificadas pelas áreas de conhecimentos envolvidas no processo projetual.

2.4.3 Projeto Preliminar

Para Valdiero (2008), na terceira fase são realizados cálculos, dimensionamentos, lembrando que sempre que possível deva ser utilizado sistemas e mecanismos já existentes e funcionais, buscando utilização de peças e componentes padrões evitando itens especiais. Nessa fase já se faz importante a interação da tecnologia CAD com a tecnologia CAE, pois nessa já permite a realização de análises estruturais dos elementos através de elementos finitos de maneira mais rápida.

Segundo Gasparini et al (2015), o projeto preliminar é normalmente a fase mais longa da metodologia e se faz essencial um trabalho minucioso, pois um erro nesse período pode acarretar um insucesso no produto final.

Para Tirotti (2015), nessa fase, é importante a interação da tecnologia CAD com a tecnologia CAE, pois com a última é possível realizar análises estruturais dos componentes através do método de elementos finitos. Podem ser utilizadas também planilhas eletrônicas para cálculos mais simples, como força de uma mola, força de um cilindro hidráulico, entre outros. É normalmente a fase mais longa da metodologia e se faz essencial um trabalho minucioso, pois um erro nesse período pode acarretar um insucesso no produto final.

2.4.4 Projeto Detalhado

Valdiero (2008) salienta que: na quarta fase (projeto Detalhado) são definidas as especificações de materiais, componentes padronizados e peças a serem fabricadas, assim como elaboração de desenhos técnicos para manufatura e da lista de componentes para compra. Até a quarta fase ainda se pode revisar, alterar e até mesmo reiniciar o processo sem maiores consequências ou perdas.

Segundo Tirotti (2015), os desenhos para essa fabricação são detalhados de forma rápida, ou seja, é dada importância apenas para as cotas essenciais de manufatura. Esses desenhos deverão ser revisados no início da sexta fase, pois eles poderão sofrer modificações em função dos testes realizados, em que podem ser detectadas falhas em algumas partes do equipamento.

2.4.5 Construção do Protótipo

Segundo Valdiero (2008), na quinta fase é realizada a construção do protótipo em escala real de preferência e este deverá ser submetido a rigorosos testes de capacidade, carga e

segurança. Deve ser feito relatório contendo as alterações necessárias, documentando essa necessidade para posterior ajuste no projeto.

Tirotti (2003) sugere que: após a realização dos desenhos detalhados, deve-se iniciar a fabricação e montagem do protótipo, que posteriormente deve ser apresentado à equipe a qual participou da reunião de abertura, para aprovação das especificações determinadas na primeira fase, adotando-se com isso uma política de projeto integrado de produtos, em que todos os setores estão ligados diretamente ou indiretamente no desenvolvimento de produtos.

Ainda segundo Tirotti (2003), um passo importante é a realização dos testes, momento quando o protótipo passa por condições de funcionamento similares ou até mesmo piores que as reais. Devem ser feitas avaliações qualitativas e quantitativas de cada parte do produto, com o intuito de validar o equipamento, para uma futura comercialização. A análise em software CAE agiliza o trabalho, mas isso não substitui os testes realizados em campo.

2.4.6 Testes e Modificações

Para Valdiero (2008), na sexta fase deve ser realizados os testes mais exigentes e as consequentes alterações necessárias, aprovações, reprovações, melhorias até a total convicção de funcionamento do equipamento.

Tirotti (2003) reforça que: a produção do lote piloto também ocorre nessa fase e necessita ser monitorada atentamente pela engenharia de produto, tanto sua fabricação quanto o comportamento do produto no manuseio de clientes. É importante, que o lote piloto seja vendido a clientes parceiros, pois podem ocorrer falhas inesperadas. Após o lote piloto ser aprovado, deve ser feita ações corretivas para os problemas que supostamente ocorreram durante a avaliação desse lote.

2.4.7 Documentação

Para Valdiero (2008), na sétima fase, devem-se organizar todos os documentos, relatórios, croquis, desenho gerados desde a Análise das Necessidades [...] a elaboração de manuais de montagem, manutenção, de uso e manutenção.

2.5 DIMENSIONAMENTO DOS MATERIAIS

Segundo Baeta e Sartor (1999), o projeto de uma estrutura de qualquer edificação, máquina ou outro elemento qualquer é um estudo do qual a estrutura em si e suas partes

componentes são dimensionados de forma que tenham resistência suficiente para suportar esforços para as condições de uso a que serão submetidas.

Destaca Gomes (1983), que a resistência dos materiais se preocupa, fundamentalmente com o comportamento das diversas partes de uma estrutura quando sob ação de tais solicitações.

Ainda segundo Baêta e Sartor (1999), a determinação dos esforços e as deformações da estrutura quando as mesmas são solicitadas por agentes externos (cargas, variações térmicas, movimentos de seus apoios, etc.) são os principais aspectos da análise estrutural. Esses carregamentos geram uma tensão na estrutura interna do material (também conhecido como solicitação), que são as parcelas de forças atuantes no interior de um corpo. Essa parcela de força de resistências possui um limite, que se for ultrapassado permitirá o rompimento do material, chamado de tensão de escoamento. Cada material possui uma tensão de escoamento predefinida em função das características de sua estrutura interna.

2.5.1 Carregamento Axial

Caracteriza-se pela força com tendência de alongar o elemento na direção da força atuante ou comprimir o elemento na direção da força de compressão, gerando uma tensão média conhecida como tensão normal (representada pela letra grega sigma σ).

Explicam Beer e Johnston (1995), que o carregamento axial se caracteriza através de uma força de tração ou compressão atuando em uma seção qualquer, aplicado no centro da seção transversal em relação à direção da força. A Figura 3 mostra um exemplo de carregamento axial.

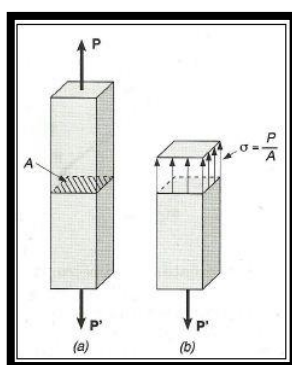


Figura 3: Exemplo de Carregamento Axial.
(Fonte: Beer e Johnston, 1995)

2.5.2 Carregamento Transversal ou de Cisalhamento

Caracteriza-se pela componente de uma força contida no plano da seção transversal considerada, ou seja, atuando tangencial a seção transversal, gerando uma tensão média conhecida como tensão de cisalhamento (representada pela letra grega tau τ).

Conforme Norton (2013), a tensão de cisalhamento é representada pela letra grega tal e ocorre quando a força é aplicada perpendicularmente ao comprimento da barra. O cisalhamento puro ocorre em situações que não há flexão junto à mesma, como é o caso apresentado na Figura 4, em razão de a lâmina de corte estar apertada contra os mordentes.

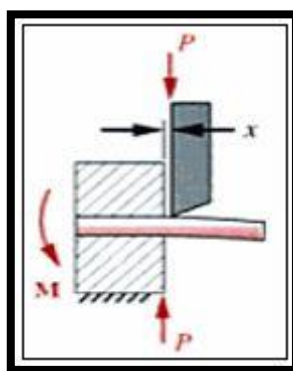


Figura 4: Exemplo de Carregamento Transversal.

(Fonte: Norton, 2013)

2.5.3 Carregamento por Esmagamento

Caracteriza-se força de esmagamento a componente de uma força que atua na área circular de um componente, como um parafuso, pino, rebite ou um eixo que esteja submetido a esforços de tração, compressão ou cisalhamento. Essa uma tensão é conhecida como tensão de esmagamento (representada pela letra grega sigma σ_E).

Exemplifica Hibbeler (2009), que um pino engastado em suportes com furos conforme a representação da Figura 5, também pode falhar de outras formas e não apenas pelo cisalhamento e o momento. Ocorre que as superfícies cilíndricas do furo e pino que se encontra em contato podem sofrer de tensão de esmagamento, tendendo a esmagar o furo ou o pino em questão. Não necessariamente haverá o cisalhamento.

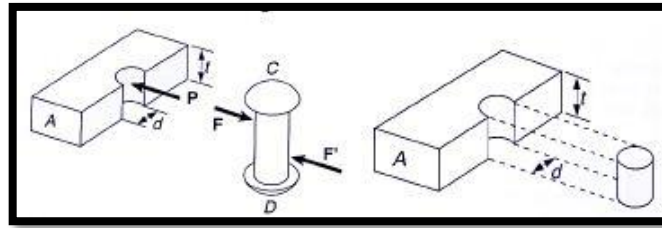


Figura 5: Exemplo de Carregamento por Esmagamento.

(Fonte: Hibbeler, 2009)

2.5.4 Carregamento por Flexão

Caracteriza-se pela componente de uma força contida no plano da seção transversal considerada, ou seja, atuando tangencial a seção transversal, porém com os apoios afastados do ponto de aplicação da força, gerando uma flexão na viga. Essa força aplicada gera uma tensão média conhecida como tensão de flexão (representada pela letra grega σ).

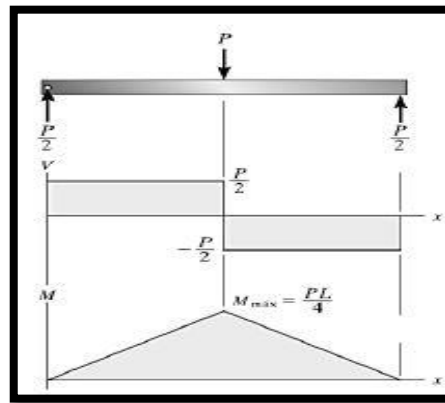


Figura 6: Exemplo de Carregamento por Flexão.

(Fonte: Hibbeler, 2009)

Conforme Beer e Johnston (1995), os fenômenos físicos denominados por flexão são estabelecidos em peças submetidas a carregamentos transversais ao seu comprimento, sendo que esse tipo de peça se chama viga. Para facilitar o estudo da tensão encontrada, supõe-se que essa peça seja submetida somente a esforços de flexão e essa suposição é chamada de flexão pura. A maioria das vigas reais também é submetida a carregamentos de cisalhamento combinado com flexão. Essa ação pode ser vista na Figura 6.

2.5.5 Teoria da Tensão Máxima de Cisalhamento – Tresca

Hibbeler (2009) comenta que: a teoria da tensão máxima de cisalhamento prevê que o escoamento inicia quando a tensão máxima de cisalhamento em qualquer elemento se iguala

ou excede à tensão máxima de cisalhamento em um espécime de ensaio de tração do mesmo material quando aquele espécime começa a escoar. Como a tensão de cisalhamento é máxima a 45° com o eixo de tração, faz sentido considerar a falha. Esta teoria constitui-se em um instrumento de previsão de falha aceitável e frequentemente é empregada.

2.5.6 Tensão Admissível

Segundo Beer e Johnston (1995), a tensão admissível do material expressa a capacidade de o mesmo suportar determinada tensão com segurança, correspondente a fenômenos não avaliados como a fadiga dos materiais.

2.6 ELEMENTOS DE MAQUINAS

De acordo com Shigley (1990 apud EEEP, 2010), um novo projeto de máquina aparece sempre para satisfazer uma necessidade. Surge da idealização de alguém transformado em um mecanismo que se destina a executar uma tarefa qualquer. A partir daí segue-se o estudo detalhado de suas partes, a forma como serão montadas, tamanho e localização das partes tais como engrenagens, parafusos, molas, cames, etc. Este processo passa por várias revisões onde melhores ideias substituem as iniciais até que se escolhe a que parece melhor.

2.6.1 Elementos de Fixação

A união de uma peça a outra tem como função limitar o movimento relativo das duas peças adjacentes. Várias são as soluções disponíveis para executar esta união. A escolha depende de uma série de fatores tais como: a necessidade ou não de desfazer a união periodicamente, o grau de imobilização, a resistência mecânica, espaço disponível, etc.

Segundo Shigley (1990 apud EEEP, 2010), os elementos de máquinas podem ser classificados em diferentes tipos de uniões, que são:

- Uniões fixas: Uma união é considerada fixa ou rígida quando impede totalmente o deslocamento relativo das peças assegurando uma determinada posição entre elas independente da intensidade das solicitações externas. Exemplo: união por meio de solda das partes da carroceria e componentes automotivos.
- Uniões móveis: Ocorre quando somente alguns deslocamentos são evitados. Exemplo: o uso de dobradiças permite que a porta se movimente, rotação, sem que deixe de estar unida à estrutura do automóvel. Podem ser: reguláveis quando permitem que as peças unidas possam assumir posições variáveis dentro de certo limite; não reguláveis quando isto não for possível.

- Uniões elásticas: Ocorre quando existe entre as peças unidas um elemento elástico (borracha, elastômero ou mola) que permite um deslocamento limitado entre as peças unidas. A amplitude deste deslocamento depende da solicitação externa. Exemplo: a união da suspensão do automóvel à carroceria.
- Uniões provisórias ou desmontáveis: É quando permitem a desmontagem e montagem com facilidade sem deformar as peças componentes. Exemplo: a união das rodas do automóvel por meio de parafusos.
- Uniões permanentes: É quando a separação das peças é impossível ou se para ser feita for necessário a deformação de alguma delas.

2.6.2 Sistemas Hidráulicos

As movimentações do dispositivo serão sobre atuação de cilindros hidráulicos, aproveitando da mesma unidade que realiza as funções do tombador.

Segundo Linsingen (2003) um sistema hidráulico é um conjunto de elementos físicos convenientemente associados que, utilizando um fluído como meio de transferência de energia, permite a transmissão e controle de forças e movimentos. Os mesmos autores afirmam que um sistema hidráulico é, portanto, o meio através do qual uma forma de energia de entrada é convertida e condicionada de modo a ter como saída energia mecânica útil.

Afirma Serrano (2007) que a maior evolução no controle dos sistemas hidráulicos ocorreu no século passado particularmente na segunda guerra mundial. Assim, este sistema foi evoluindo em diversas áreas como agricultura, transporte, aviação, náutica, máquinas para movimento de terra e máquinas de ensaios de fadiga. Atualmente, os sistemas de controle de sistemas hidráulicos continuam evoluindo devido ao avanço da eletrônica, da informática e da instrumentação.

2.7 MÉTODOS DE ELEMENTOS FINITOS

Para Kim e Sankar (2011), com o avanço da tecnologia, engenheiros e cientistas foram capazes de desenvolver modelos matemáticos, mesmo que aproximados, para descrever o comportamento físico da maioria dos materiais usados na engenharia. Em quase sua totalidade, os modelos matemáticos resultam em equações algébricas, diferenciais, integrais ou em suas combinações. A resolução dessas equações de uma forma fechadas ou algebricamente são raras e, para a sua resolução é necessário a utilização de métodos numéricos que fornecem soluções aproximadas com uma precisão razoável.

Segundo Soriano (2003) o Método de Elementos Finitos (MEF) surgiu em 1955 como evolução da análise matricial de modelos reticulados (concebida no início da década de 1930 na indústria aeronáutica) com a disponibilidade de computadores. Os primeiros elementos foram concebidos por engenheiros aeronáuticos para análise de distribuição de tensões em chapas de asas de avião, assim o computador digital e a engenharia aeronáutica são responsáveis pela origem do método de elementos finitos, sendo Argyris e Kesley, Turner, Clough, Martin e Topp os pioneiros.

Salientam kim e Sankar (2011) entre os diferentes métodos numéricos que existem, o Métodos dos Elementos Finitos surge como uma excelente ferramenta para resolver equações diferenciais parciais e integral-diferenciais. O MEF resulta em programas computacionais versáteis que podem resolver muitos problemas práticos com uma quantidade mínima de treinamento, isto faz dele extremamente popular e preferido nas diversas áreas da engenharia e ciência aplicada.

Kim e Sankar (2011) afirmam que o princípio do MEF é dividir o sistema em elementos menores (elementos finitos), identificar os graus de liberdade e, escrever as equações que descrevem o comportamento de cada elemento e sua interação com os elementos vizinhos. As equações no nível dos elementos são reunidas e organizadas para se obter as equações globais, estas ao serem resolvidas, fornecem os graus de liberdade desconhecidos.

Ainda destacam Kim e Sankar (2011) que o MEF é uma solução aproximada, que usa polinômios simples, preferencialmente lineares ou quadráticos, dentro de cada elemento. Como os elementos estão conectados ao longo de todo o sistema, é possível obter a solução aproximada do sistema usando os polinômios das partes que o compõem.

Para Fish (2007), atualmente existem opções de programas um banco de dados de elementos finitos com interface com o banco de dados CAD, mas em ambientes diferentes. Portanto sistema de elementos finitos contém tradutores, que geram malhas de elementos finitos a partir do banco de dados CAD.

Segundo kim (2011) a análise de elementos finitos tem por finalidade determinar a resposta (deslocamentos e tensões) de uma determinada estrutura, no caso de análise de problemas de mecânica, para um determinado conjunto de cargas e condições de contorno. É um procedimento de análise no qual a estrutura sua geometria, propriedades do material, condições de contorno e cargas é bem definida e o objetivo é determinar sua resposta.

2.7.1 Dimensão e graus de liberdade dos elementos finitos

Norton (2013) classifica alguns dos elementos finitos, dividindo o sem grupos com uma,

duas e três dimensões, chamados de 1-D, 2-D e 3-D, conforme mostra a Figura 7. Esses grupos dimensionais definem quantos graus de liberdade cada nó de um elemento tem e, nota-se que o elemento de linha está presente em todos os grupos.

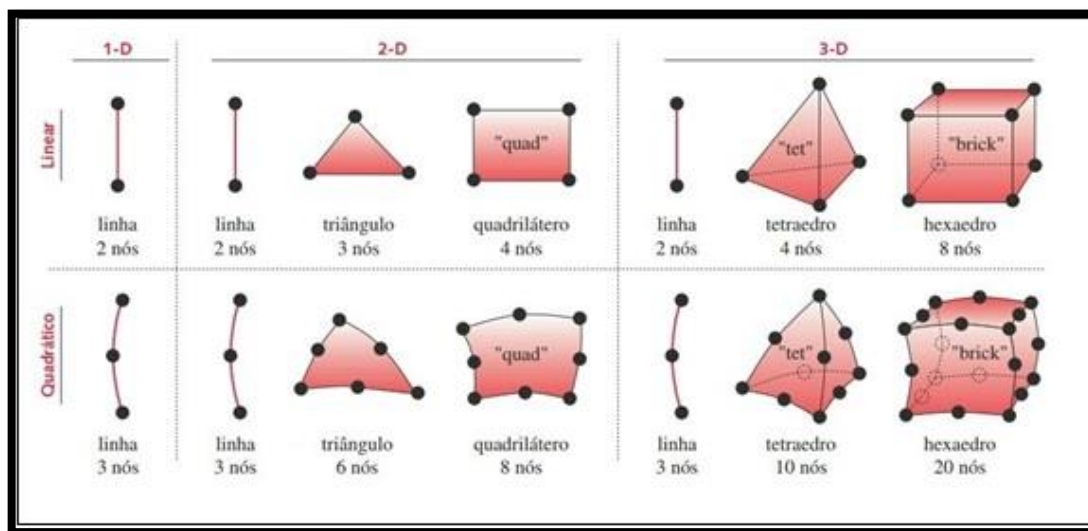


Figura 7: Elementos Finitos mais Comuns.

(Fonte: Norton, 2013)

Ainda segundo Norton (2013), os elementos de linha são adequados para modelar estruturas como: membros de treliças e vigas com área de seção transversal constante. E podem ter 1, 2, 3 e 6 graus de liberdade em cada nó.

Conforme descrito por Norton (2013), um elemento de linha 1-D tem dois GL no total, um em cada nó. Fisicamente, isso representa um elemento de treliça, conectado por pinos nas uniões com seus vizinhos. O elemento de linha pode apenas transmitir força ao longo do seu comprimento (unidimensional) e não pode suportar momento nos nós.

Para Norton (2013), os elementos de linha 2-D têm 3 GL por nó e pode representar uma viga 2-D, com momento e força em duas direções. Podem ainda, ser utilizados para modelar estruturas tridimensionais se sua geometria e seu carregamento criam um caso de tensão plana ou deformação plana no qual suas magnitudes são nulas na terceira dimensão. Para uma análise 2-D de uma viga ser válida, todos os planos longitudinais devem permanecer em seus planos originais quando a viga deflete.

Norton (2013) complementa que, nos elementos de linha 3-D têm 6 GL por nó e pode representar um eixo viga tridimensional com momentos e torques e medição às forças lineares nas três direções. E são os elementos necessários para análise de componentes ou estrutura que possuem uma geometria muito complexa.

Segundo Kim e Sankar (2011), o MEF pode ser utilizado para qualquer problema em

engenharia que seja gerado por uma equação diferencial, entretanto com o método direto da rigidez não é possível a análise de projetos multidimensionais. O método dos resíduos ponderados, em particular o método de Galerkin, aparece como uma ferramenta poderosa para gerar as equações dos elementos finitos em geometria complexas.

Ainda segundo Kim e Sankar (2011), para solução da equação utiliza-se aproximações por uma série de funções polinomiais simples em cada elemento para todo o domínio do problema. Assim quando forem utilizados mais elementos mais a solução aproximada convergirá para a solução exata.

2.7.2 Considerações sobre o solidworks

O *SolidWorks* é um programa CAD (*Computer-aided design*) 3-D (Três Dimensões), ou seja, uma ferramenta de projeto que utiliza modelagem paramétrica de sólidos, baseada nas características e propriedades de cada elemento e ação, sendo possível alterá-las em qualquer altura do processo de simulação. (*SolidWorks*, 2013).

O *SolidWorks Simulation* é um módulo para simulações do *software SolidWorks*, que utiliza a técnica de elementos finitos, oferecendo estudos estáticos, frequência, dinâmicos, flambagem, térmicos, projetos, não lineares, queda e fadiga. Este programa estabelece equações que controlam o comportamento de cada elemento tendo em conta as interações com os outros elementos, além de relacionar as incógnitas e criar sistema de equações com base nesses parâmetros. (*SolidWorks*, 2013).

É possível neste programa determinar o tipo de elemento para realização da simulação e refinar a malha gerada, que pode ser executado facilmente selecionando a opção de malha fina ou grossa. (*SolidWorks*, 2013).

O *SolidWorks* apresenta como resultado a Tensão de Von Mises, que é um escalar positivo que descreve o estado de tensão, sendo que os materiais falham quando a tensão de Von Mises ultrapassa um determinado valor. (*SolidWorks*, 2013).

A Figura 8 mostra um exemplo de análise de um rotor de uma turbina de um turbocompressor de motor diesel executada no *SolidWorks*.

Para Budynas (2011), simulações específicas que são capazes de realizar análise de tensão, deflexão, vibração e até mesmo transferência de calor. Soriano (2013) cita que um dos mais utilizados é de Elementos Finitos.

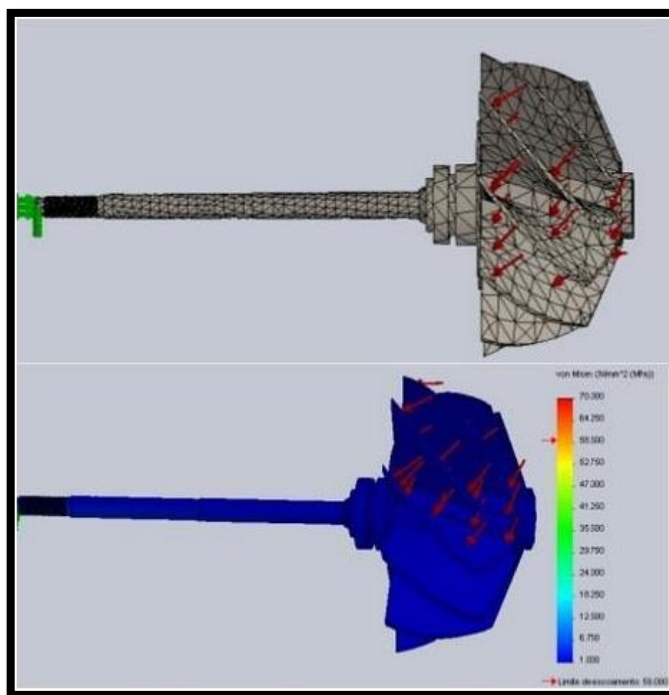


Figura 8: Análise de um Rotor de Uma Turbina.

(Fonte: <http://pt.slideshare.net/RafaelLial/elementos-finitos-anlise-do-rotor-de-uma-turbina>, 2020)

2.8 SEGURANÇA NA OPERAÇÃO DE EQUIPAMENTOS

Segundo a reportagem da BBC-BRASIL (2018), os tombadores são instalados em unidades de recebimento e armazenagem de cereais que por sua vez tem sido alvo dos órgãos de segurança no trabalho após frequentes acidentes com vítimas fatais. Segundo a reportagem de um renomado meio de comunicação mundial “acidentes como esse em armazéns agrícolas têm se tornado frequente conforme o agronegócio brasileiro bate sucessivos recordes – expondo um efeito colateral pouco conhecido da modernização do campo”. Em busca de reduzir esses acidentes, as empresas armazenadoras têm realizados altos investimentos em segurança nos equipamentos.

Devido à circulação de veículos e operadores próximos ao equipamento a ser desenvolvido, este projeto deverá estar de acordo com as recomendações de segurança contidas na Norma Regulamentadora 12 (NR 12).

Esta Norma Regulamentadora e seus anexos definem referências técnicas, princípios fundamentais e medidas de proteção para garantir a saúde e a integridade física dos trabalhadores e estabelece requisitos mínimos para a prevenção de acidentes e doenças do trabalho nas fases de projeto e de utilização de máquinas e equipamentos de todos os tipos, e ainda à sua fabricação, importação, comercialização, exposição e cessão a qualquer título, em

todas as atividades econômicas, sem prejuízo da observância do disposto nos demais Normas Regulamentadoras – NR aprovadas pela Portaria nº 3.214, de 8 de junho de 1978, nas normas técnicas oficiais e, na ausência ou omissão destas, nas normas internacionais aplicáveis (NR-12, 1978, p.1, 12.1.2.).

3 METODOLOGIA

O método de abordagem de pesquisa que este trabalho pretende seguir é o Método Dedutivo.

Segundo GIL (2008), o método de abrangência trata os problemas de maneira lógica e descendente, ou seja, a partir de um fato inicial maior considerado verdadeiro (uma lei ou teoria) submete-se um segundo fato menor e pela lógica chega-se a uma conclusão que já estava presente nas premissas trabalhadas pelo pesquisador. Considerando princípios, teorias ou leis avaliadas corretas e conclusivas, prediz a ocorrência de casos particulares com base na lógica. Parte de princípios reconhecidos como verdadeiros e indiscutíveis e possibilita chegar a conclusões de maneira puramente formal, isto é, em virtude unicamente de sua lógica.

O raciocínio dedutivo, objetiva explicar o conteúdo das premissas. Por intermédio de uma cadeia de raciocínio em ordem descendente, de análise do geral para o particular, chegando a uma conclusão.

Baseado na necessidade inicial, serão levantadas informações sobre a real necessidade do dispositivo alvo do projeto, como finalidade, aplicação, viabilidade industrial de fabricação, ferramental necessário, entre outros. Para realização dessa etapa, será utilizado o conhecimento técnico do autor para identificar essas variáveis, utilizando ciências factuais para identificar os fatos com finalidade técnica. Os dados técnicos previstos para essa etapa são referentes à forma de fixação do dispositivo na plataforma, posição prevista dos eixos da carreta quando sobe a plataforma, para determinar o curso necessário de deslocamento do dispositivo e carga máxima que será aplicada no dispositivo. Posterior será realizado uma definição da concepção a ser utilizada nesse projeto.

Ainda no âmbito de levantamento de informações, serão realizadas pesquisas bibliográficas em literaturas que fundamentam a engenharia mecânica delimitadas aos temas de resistência dos materiais para auxiliar na seleção, especificação e características de materiais para construção da parte estrutural, como também de mecanismos e elementos a serem utilizados, tipos de união dos componentes, se juntas fixas ou móveis. Tais decisões que serão que definidas de acordo com as características desejáveis para o projeto, como a seleção dos meios de acionamento de movimentação do dispositivo, etc.

Além do mais, por se tratar de um dispositivo que será manuseado por operadores, será necessária uma pesquisa bibliográfica em normas de segurança, para que o projeto seja executado dentro dos padrões de segurança exigidos.

Para realização da pesquisa de mercado, será necessária uma avaliação dos produtos similares existentes para tal função, e partir dessa, identificar pontos vulneráveis de melhorias e também se existe proteção das mesmas perante INPI (instituto Nacional de Proteção Industrial), para evitar optar por soluções semelhantes existentes e protegidas por lei. Técnica essa que é comum nesse meio de desenvolvimento.

Posterior as pesquisas bibliográficas preparatórias, iniciam se o processo de modelagem onde serão realizadas as definições de concepções possíveis para o dispositivo, tipos de mecanismos, tipos de juntas e posterior será selecionada a que melhor atende aos requisitos propostos.

Baseada na concepção escolhida, o projeto será modelado em software 3D chamado SolidWorks, que é um programa desenvolvido para modelagem de peças metálicas sendo amplamente utilizado em indústrias metal mecânica. Posterior a modelagem, será identificado os principais componentes, para que seja realizado os cálculos estruturais de acordo com as cargas determinadas de atuação do dispositivo através do processo de análise de elementos finitos. Esses cálculos serão realizados por meio de software para determinar se os materiais selecionados suportarão as cargas a serem aplicadas, se apto será arquivado o relatório de cálculos e o projeto ficará salvo a disposição do autor disponível para sequência da próxima fase.

Posterior a modelagem, será possível visualizar uma animação da aplicação do dispositivo simulando a operação real, analisar processos fabris e ferramental necessário para fabricação do protótipo. A pesquisa tende a ser de caráter qualitativo e de cunho transversal, com previsão de término ainda no ano de 2020, sendo de total autoria do autor.

Para realização do estudo não está previsto despesas externas com visitas a campo, por se tratar de um problema prático e de resolução direta.

A pesquisa também pode estar sujeita de interrupção parcial ou total em qualquer etapa do processo em função de fenômenos alheios a vontade do autor, como problemas de saúde, problemas de vínculo estudantil com a instituição de ensino, dificuldades de acesso a literaturas, também por força maior de nível municipal, regional, estadual, nacional e até mesmo mundial como questões de saúde, segurança, entre outros.

No âmbito da infraestrutura necessária, a pesquisa não requer muito, apenas de uma sala com disponibilidade elétrica para alimentação dos itens eletrônicos, iluminação, computador com acesso à internet e da instalação do software de projeção 3D, podendo ser esse na *versão free* estudantil, além de itens básicos como papel e caneta e calculadora para realização dos cálculos de dimensionamento e anotações diversas. O autor é único e principal responsável pela

autoria do projeto, cabendo ao mesmo todos os ônus como também os bônus pertinentes ao estudo, até mesmo sobre uma possível utilização do estudo posterior ao termino do mesmo.

4 DESENVOLVIMENTO DO PROJETO

4.1 ANÁLISE DAS NECESSIDADES

O sistema de travamento convencional mais utilizado na fixação de carretas biarticuladas em tombadores consiste em uma estrutura mecânica que fica localizada sobre a parte central da estrutura da plataforma em posição longitudinal pré-definida, na qual posterior ao ingresso da carreta sobre o tombador a trava é acionada emergindo sob deslocamento vertical de dentro da estrutura da plataforma em posição próxima ao cavalo mecânico da carreta, posterior o motorista é orientado a dar marcha ré até que essa estrutura entre em contato com a estrutura do chassi do cavalo mecânico. Em alguns modelos de tombadores essa trava possui movimento longitudinal, então nesse caso o caminhão fica parado e a trava após elevada é movimentada até que entre em contato com o chassi, essa trava é conhecida como trava móvel. Essas movimentações são realizadas por meio de comando elétrico/hidráulico. Esse dispositivo pode ser visto na Figura 9.

É válido salientar que na posição de repouso com a plataforma paralela ao nível zero essa trava não recebe esforço, só começa a receber carga durante o processo de elevação do tombador em consequência da inclinação do mesmo que resulta na tendência da carreta em se deslocar para trás, em direção ao ponto de giro da articulação do tombador. Essa força atuante varia de acordo com o tipo de produto, tamanho da carreta, ângulo de inclinação, etc.



Figura 9: Sistema de Travamento Convencional.

(Fonte: <http://www.engeparker.com.br/index.php?categoryID=257>, 2020)

A trava do cavalo mecânico é dimensionada para suportar toda a carga resultante da operação, porém é de conhecimento que no momento que o cavalo mecânico está fixo os demais

reboques ficam presos somente pelo dispositivo de engate das mesmas, conhecido como “pino rei”. No entanto, ao deixar essa responsabilidade somente para o pino rei possui riscos, pois já se tem relatos de acidentes em função do “desengate” involuntário desse componente, resultando no deslocamento das carrocerias em direção a moega resultando em danos de grande monta.

Em função de uma necessidade de melhoria nesse setor, pretende-se desenvolver um dispositivo que auxilie a trava principal existente a realizar o travamento dos veículos, ou seja, um dispositivo com aplicação para fazer o travamento dos reboques dos bitrens e rodotrens. Esse deverá ser desenvolvido para ser fixado na parte traseira do tombador e realizar o travamento através do contato com os pneus dos reboques dos veículos.

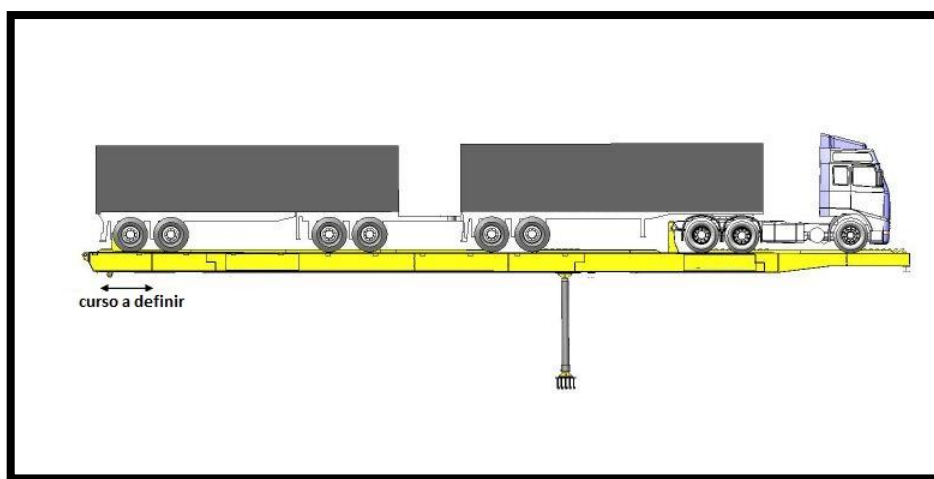


Figura 10: Curso de Movimentação do Dispositivo.

(Fonte: Autor, 2020)

Com base na metodologia de PAUL e BEITZ, citada por Valdiero sugere que um processo de projeto pode ser dividido nas seguintes fases/etapas: Análise das Necessidades, Projeto Conceitual, Projeto Preliminar, Projeto Detalhado, Construção do Protótipo, Testes e Modificações do Protótipo, Documentação do Projeto. Nesse estudo somente serão utilizadas essas etapas até o tópico do projeto preliminar.

4.1.1 Características desejáveis do produto.

Com características desejáveis do produto são praticamente genéricas ao setor de desenvolvimento, que são:

- > Funcional e eficiente - deve atender ao que foi proposto.
- > Baixo custo de fabricação - para ser atrativo ao mercado.
- > Vida útil longa - para se utilizar o maior período de tempo o dispositivo.

- > Ser de fácil fabricação, instalação e manutenção.
- > Velocidade de movimentações de acionamentos adequadas.
- > Atender as normas de segurança.

4.1.2 Características técnicas desejáveis.

> Projeto dinâmico para instalação em plataformas novas e existentes – permitindo assim um maior leque de comercialização.

> Deslocamento linear de 1600 mm - para que seja aplicável em todos os modelos de combinações de semirreboques de fabricação nacionalmente, conforme é ilustrado na Figura 10.

- > Utilização de materiais padrão de mercado.
- > Utilização de processos convencionais de fabricação como usinagem, solda e pintura.

4.1.3 Características de segurança desejáveis.

Para atender as normas de segurança pertinentes, o dispositivo deverá estar munido dos seguintes itens:

- Estar adequando a NR10 e NR12.
- >Acionamento das funções a distância segura por botoeira via cabo.
- > Proteção das partes móveis e de risco de esmagamento.

4.2 MODELOS DE TRAVAS EXISTENTES

Baseado em pesquisas em sites da internet, revistas digitais e endereços virtuais de outras fabricantes de tombadores, constatou-se que alguns modelos com finalidades semelhantes já existem e ambas possuem registros de patente concedida pelo INPI, mesmo sob similaridades construtivas bem acentuadas. Como o foco do projeto é desenvolver um estudo com característica exclusiva, foram levantados os pontos peculiares dos produtos patenteados para que sejam evitadas concepções que gerem similaridades.

Um dos modelos de trava citados acima é protegido por patente foi solicitado em no ano de 2005 e concedido no ano de 2009 sob pedido PI 0504063-9 B1 e possui aplicação similar e é denominada como “trava pino” sendo mostrada na Figura 11.

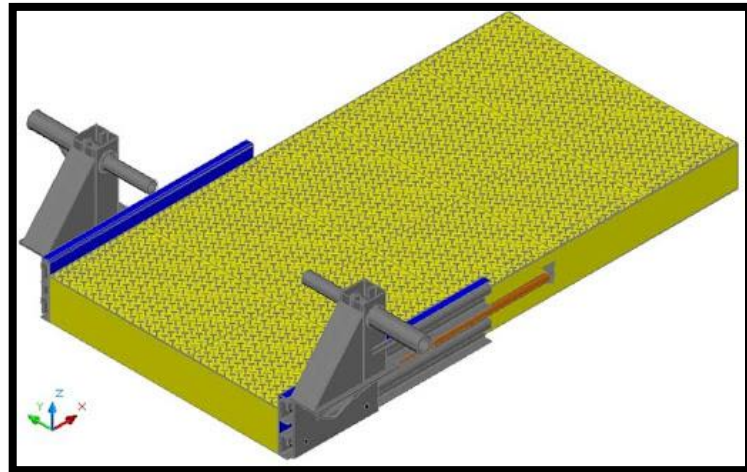


Figura 11: Trava Pino Patente PI 0504063-9 B1

(Fonte: <http://www.engeparker.com.br/site/ac-travap.html>, 2020)

Características dessa trava:

- > Trilho do carro de deslocamento longitudinal fixados na lateral do tombador;
- > Carro de movimentação com corpo alto;
- > Movimentação longitudinal por cilindro hidráulico;
- > Haste de travamento dos pneus de formato cilíndrico;
- > Abertura para travamento dos pneus linear por cilindro telescópico;

O segundo modelo de trava também protegido por patente não foi possível encontrar a certificado de patente na internet, as informações foram retiradas do site da fabricante, pedido MU 86016806 e possui aplicação similar e é denominada como “trava pino” é mostrada na Figura 12.

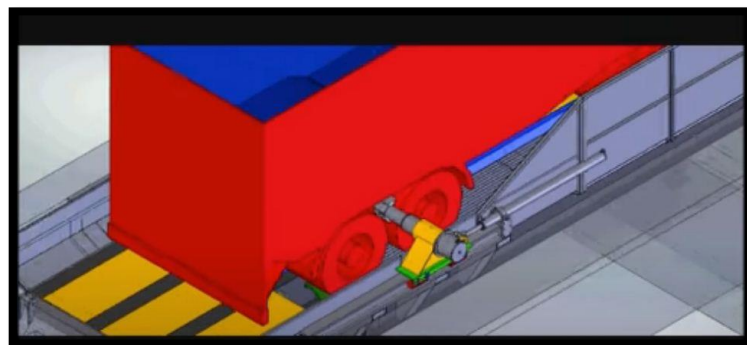


Figura 12: Trava Pino Patente MU 86016806.

(Fonte: <https://www.youtube.com/watch?v=-ygDRIaQ2w>, 2020)

As características conforme mencionadas antes são bastante similares, porém muda alguns detalhes:

- > Trilho do carro de deslocamento longitudinal elevado;
- > Carro de movimentação com corpo baixo;
- > Movimentação longitudinal por cilindro hidráulico;
- > Haste de travamento dos pneus de formato cilíndrico;
- > Abertura para travamento dos pneus linear por cilindro telescópico;

4.3 PROJETO CONCEITUAL

Neste tópico apresenta-se a os estudos do projeto conceitual, onde cabem ao projetista as definições do projeto, é a concepção inicial, o qual dá um rumo para o início do projeto. Este processo traça um horizonte ao projetista, definindo e refinando o projeto.

4.3.1 Determinação dos materiais a serem utilizados.

No projeto do dispositivo, serão utilizados componentes padrões da linha metal mecânica como perfis “I”, chaparia sob norma ASTM, perfil laminados, eixos trefilados e tinta para acabamento PU na cor Amarelo Segurança.

4.3.2 Determinação dos tipos de mecanismos.

Os mecanismos serão simples com movimentação linear no sentido longitudinal e angular para travamento, descaracterizando totalmente dos modelos existentes.

4.3.3 Determinação dos tipos de juntas e fixadores.

As juntas de união dos componentes serão utilizadas de acordo com as características pontuais, ou seja, como é uma estrutura que tende a acompanhar a vida útil do tombador, a estrutura principal será soldada no tombador ficando somente fixadas por parafusos às partes móveis e/ou que necessitem de remoção em caso de manutenções.

4.3.4 Determinação dos tipos de transmissão de força.

Os meios de transmissão de força a serem utilizadas serão do tipo hidráulico, pois por se tratar de estruturas pesadas com deslocamentos lineares e rotacionais sob atrito mecânico, e a estrutura estar exposta a esforços concentrados e também pelo fato de já se ter uma central hidráulica disponível, logo somente será incluso as funções hidráulicas necessárias no sistema e demais componentes para atender a demanda necessária.

4.4 PROJETO PRELIMINAR

4.4.1 Modelagem

Podemos dizer que estamos em um século onde as indústrias se antecipam na busca por soluções a problemas diários para garantir sua subsistência, e a velocidade desse feito determina quais são as empresas que são vistas como líder de mercado, ou seja, na teoria quanto maior for o número de problemas que é resolvido em um menor período de tempo, maior será sua visibilidade e consequente rentabilidade. Claro que nem sempre é assim, essa afirmativa vai depender do número de concorrentes que oferece a solução para o problema e do custo benefício de cada solução.

Como se sabe a função do engenheiro é criar, projetar, engenhar soluções para os problemas diários e relacionando essa necessidade com a velocidade requerida e a assertividade desejada sobrecarrega o engenheiro. Fato esse que também é vivenciado na história da engenharia, onde partimos de equipamentos extremamente robustos para equipamentos extremamente otimizados e com eficiência maior ainda.

Atualmente o engenheiro de criação consegue atribui maior parte do seu tempo a arte de modelar concepções, pois a “vida” profissional do engenheiro foi facilitada com o desenvolvimento de ferramentas que vieram pra ajudar na realização das atividades diárias, ou seja, a parte mais peculiar e demorada como dimensionamentos e cálculos estruturais pode ser deixado para que os programas e softwares realizem.

A modelagem da solução proposta foi desenvolvida em 3d no software *SolidWorks*, onde foram realizadas o desenho das peças individuais e posterior realizado a montagem do conjunto “pai” em um novo arquivo. As peças/conjuntos principais foram identificadas com cores diferentes para melhor visualização e rastreio de possíveis interferências. O modelo projetado pode ser visualizado na figura 13.

Com base nos atributos desejáveis buscou-se desenvolver um projeto inovador, com características exclusivas e extremamente funcionais. Com apoio de métodos para escolha da melhor concepção chegou-se num modelo cujas características requeridas como o baixo custo de fabricação, processos de fabricação simples e utilização de matérias prima padrão foram alcançadas.

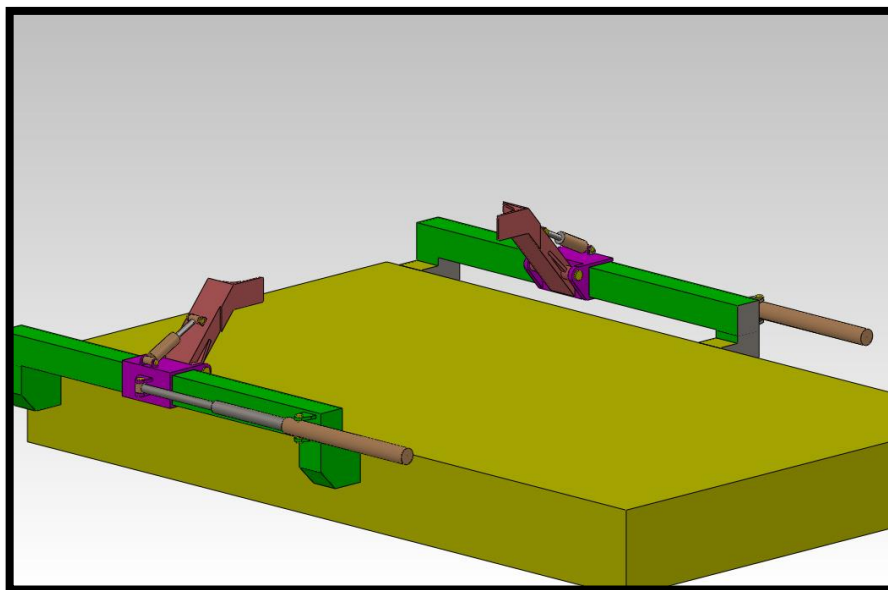


Figura 13: Imagem do Dispositivo de Travamento Lateral.

(Fonte: o autor, 2020)

4.4.2 Componentes

O sistema de travamento lateral visto na Figura 14 é composto por seis principais elementos estruturais que representam o dispositivo, certificando uma estrutura compacta e fácil construção. Porém essa estrutura será espelhada para outra lateral do tombador formando o par de travas laterais.

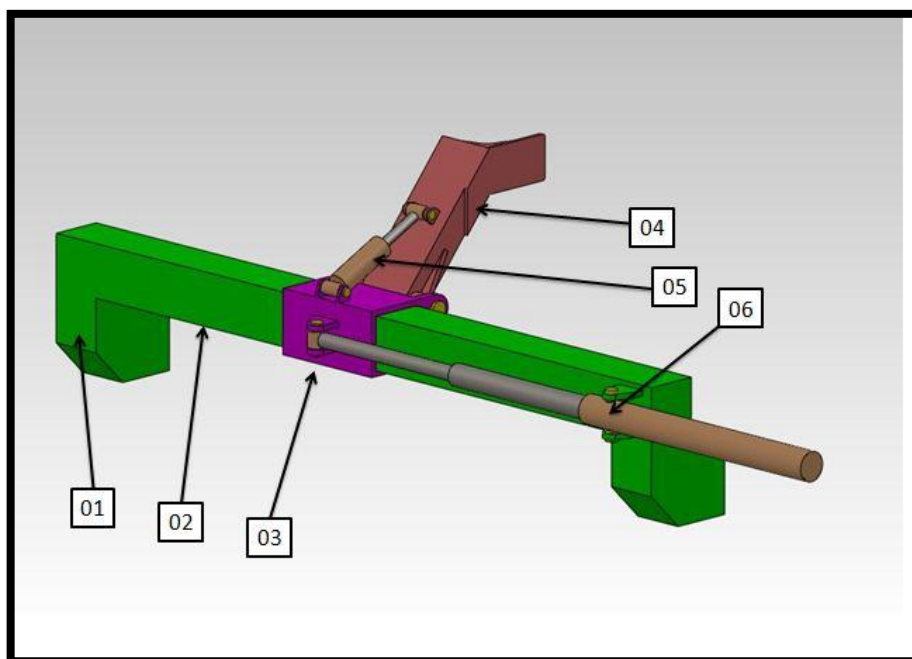


Figura 14: Componentes.

(Fonte: o autor, 2020)

O sistema prevê estrutura mecânica com a utilização de perfis laminados para suportar as cargas estruturais, de sistemas eletro/hidráulicos para realização das funções de movimentação e sistemas elétricos para funções de comando e segurança.

Pos.	Descrição	qtidade	Material
01	Conj. Suportes de Fixação	02	Tubo Quadrado 6,35 x 180 x 180 mm
02	Travessa Longitudinal Guia	01	Tubo Quadrado 6,35 x 180 x 180 mm
03	Conj. Carro de Movimentação	01	Chapa 19,05 mm
04	Conj. Braço de Travamento	01	Tubo Retangular 6,35 x 200 x 100 mm
05	Cilindro de abre/fecha braço	01	Cil. Dupla ação Ø63,5 x Ø31,75 x 350 mm
06	Cilindro de avança/recua braço	01	Cil. Telesc. Dupla ação Ø101 x Ø76,5 x Ø 50,8 mm

Tabela 1: Lista de componentes

(Fonte: o autor, 2020)

4.4.3 Funcionamento

O acionamento das funções será por comando eletro/hidráulico com acionamento a distância por botoeira via cabo. O modelo das travas por ser de baixo perfil é vantajoso na operação, pois permite uma ampla visualização pelo operador. O travamento será por lateral onde a trava da lateral direita receberá os comandos com o operador posicionado ao lado direito, posterior o operador se deslocará para o lado esquerdo e a operação da trava esquerda se repetirá.

A sequência operacional se dará na seguinte ordem, após o travamento convencional do chassi do bitrem o operador irá acionar na botoeira a função de comando do pistão (pos. 06) que por sua vez irá deslocar o carro (pos. 03) sobre a travessa (pos. 02) até o mesmo se aproximar a posição traseira à quinta roda do reboque, esse curso foi estipulado em 1600 mm para atingir as mais diversas combinações carreta+reboque (fator responsável por essa variação) existente no mercado brasileiro.

Posterior a movimentação longitudinal, deverá ser realizada a abertura do braço no sentido transversal (giro angular) aonde o mesmo gira em torno do seu eixo e desce logo atrás da quinta roda, posterior a movimentação longitudinal será acionada novamente até que a área de contato do braço pressione os pneus do reboque. Após o travamento de uma lateral do

tombador, o processo deverá ser repetido na outra lateral. Para o destravamento a operação deverá ser realizada ao contrário.

Na Figura 15 é possível todos os elementos montados na plataforma do tombador e forma de atuação das travas nos pneus.

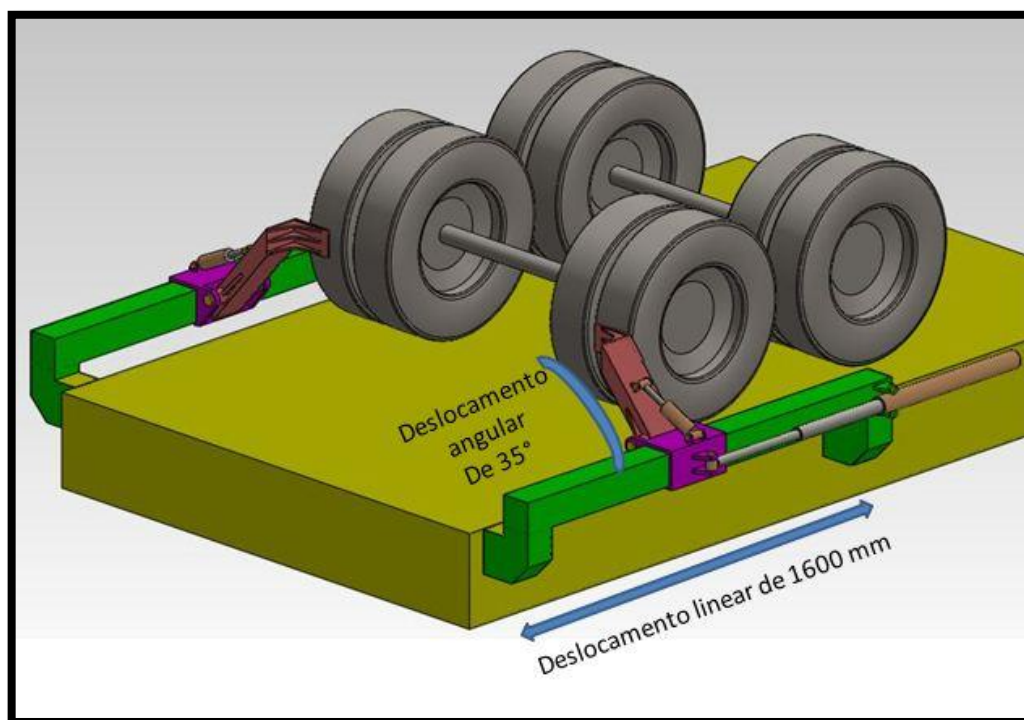


Figura 15: Funcionamento.

(Fonte: o autor, 2020)

4.4.4 Mecanismos e Tipos de juntas

Mesmo sob a robustez necessária o dispositivo modelado possui flexibilidade e movimentos que permitem um dinamismo em sua movimentação, o que é vantajoso para a operação.

A junta 01 visualizada na Figura 16 é do tipo fixa e será realizada em campo por processo de soldagem por eletrodo revestido, não permitindo movimentos. A junta 02 é do tipo móvel linear, pois estará submetida ao atrito mecânico de barras de bronze do apoio do carro móvel durante seu deslocamento ao longo do curso. A junta 03 também é do tipo móvel angular, pois o braço de travamento irá rotacionar sob o eixo, que também será utilizado bronze para diminuir o atrito. As juntas 04 e 05 também é do tipo móvel angular, pois os eixos de fixação das camisas e das hastes irão realizar movimento angular, no entanto esses cilindros serão munidos de rótulas compensatórias. Para todas as juntas móveis está previsto pontos com graxas para lubrificação.

A utilização de componentes em bronze nas juntas móveis foi em função da não perda de capacidade estático-dinâmica no recebimento de esforços na estrutura, função lubrificante e de desgaste mais acentuado em relação às juntas de aço-aço, ou seja, ainda sob desgaste será possível realizar somente a troca do componentes sem que a estrutura mecânica tenha sido comprometida.

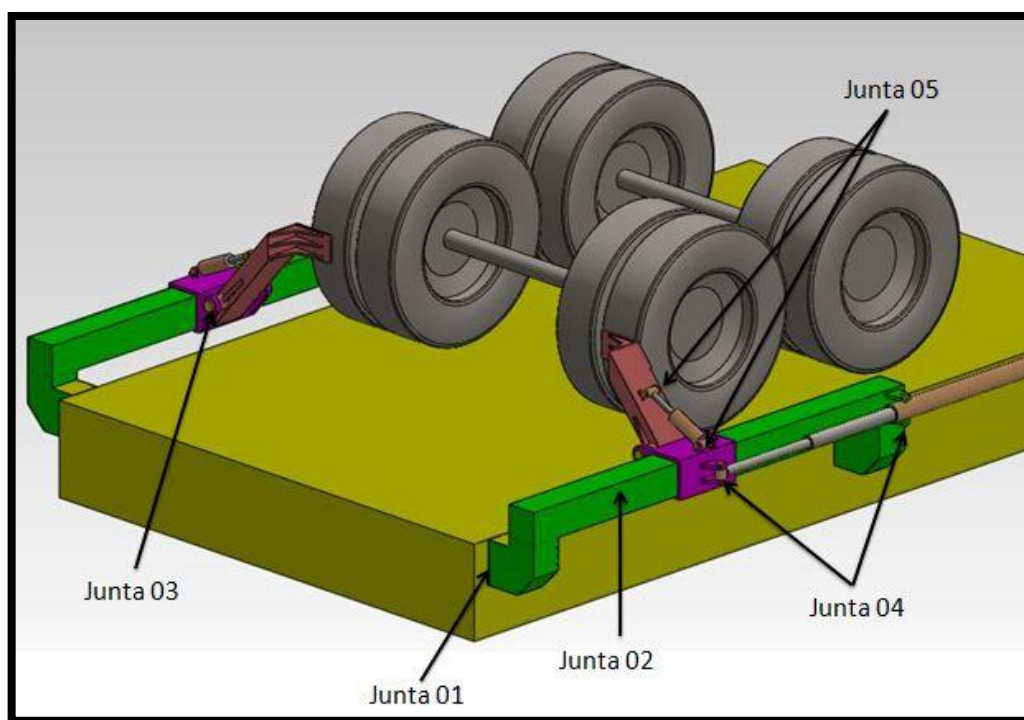


Figura 16: Tipos de Juntas.

(Fonte: o autor, 2020)

4.4.5 Sistema de segurança

O dispositivo estará munido um sistema de sensor tipo micro fim de curso que só permite o funcionamento das mesmas após o sistema de travamento convencional ter sido acionado, garantindo assim que o dispositivo seja utilizado somente como travamento auxiliar e nunca como travamento principal.

O comando será realizado à distância via circuito eletro-hidráulico por botoeira via cabo pendente e com acionamento independente em ambos os lados do tombador. As botoeiras possuem botão de emergência que em caso de acionamento irá desligar o equipamento por completo. A tensão de comando das botoeiras é de 24vcc, conforme é requerido pela NR10.

4.4.6 Acabamento da superfície

Em todos os componentes do equipamento, as rebarbas e respingos são eliminados mecanicamente, após esse processo o equipamento é submetido a um processo de decapagem à químicos, pintado com primer acabamento PU – 90 a 110 μm na cor amarelo segurança, conforme recomendação da NR12.

4.4.7 Forma de envio/transporte

Em função do dimensional do dispositivo quando agregado ao tombador ultrapassar os limites de transportes legais de rodagem em rodovias e para evitar a necessidade de licença especial, o kit será enviado para campo em subconjuntos desmontados conforme ilustrado na Figura 14, onde posterior será feita a montagem e soldagem junto ao corpo do tombador. Os materiais de pequeno porte e demais elementos hidráulicos, elétricos, fixadores, kit retoque, consumíveis serão enviados dentro de uma caixa de romaneio de campo devidamente lacrado e com manuais de montagem, operação e manutenção inclusos. Na Figura 17 é possível ver as travas após a montagem e soldagem em campo.

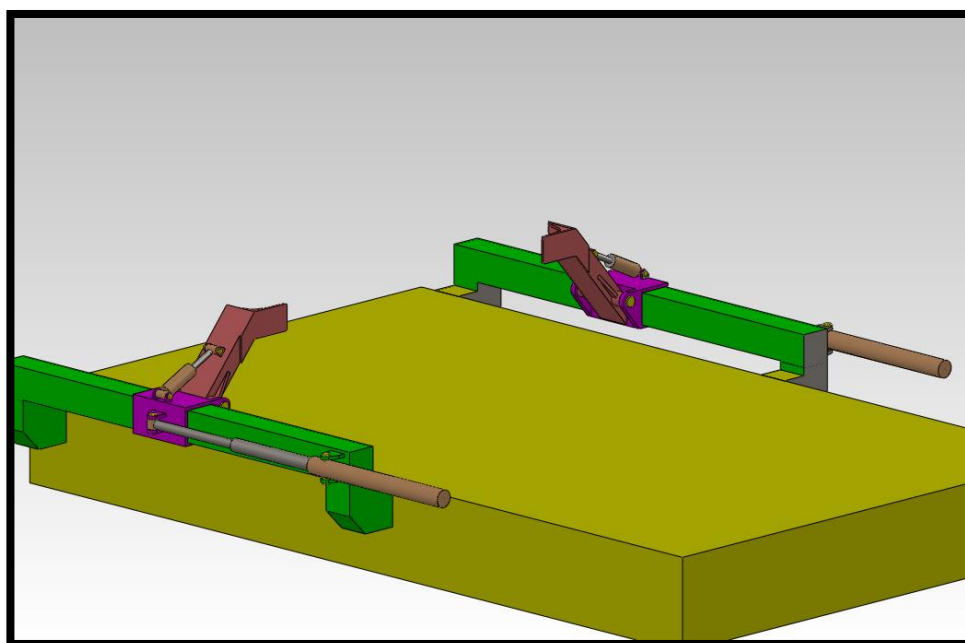


Figura 17: Travas Laterais Montadas.

(Fonte: o autor, 2020)

4.5 DIMENSIONAMENTO DOS COMPONENTES

O engenheiro é o principal responsável pelo bom funcionamento e desempenho do projeto executado. Isso porque para atuar na área e assinar projetos o engenheiro logo após a conclusão do curso e emissão do diploma de conclusão deverá fazer o registro no CREA que é o órgão responsável pelo monitoramento das boas condutas dos profissionais dessa área. Ao fazer esse registro esse profissional será identificado e habilitado com carteira contendo uma numeração de cadastro que o representará por toda sua carreira como profissional na área. No desenvolvimento de seus projetos, o engenheiro deverá fornecer uma ART que nada mais é que um termo de compromisso e responsabilidade sobre o projeto, nesse caso o engenheiro responderá civil e criminalmente sobre as consequências resultantes em caso de má dimensionamento do projeto, podendo até mesmo perder o direito de exercer a profissão se comprovado imperícia ou má conduta na realização da atividade que resulte em acidentes com danos pessoais e/ou materiais.

Porém, é sabido que o meio de desenvolvimento e dimensionamento dos componentes atualmente possui várias ferramentas auxiliares ao projetista, ou seja, como software para realização de análise de elementos finitos das estruturas. Esses *softwares* permitem que o projetista reduza seu tempo dedicado ao dimensionamento e concentre em outras necessidades, pois os *softwares* realizam essa atividade com uma velocidade muito maior que os métodos analíticos e com uma assertividade extremamente superior, também proporcionam uma alteração de materiais e estruturas em tempo real e subsequentes das análises, ou seja, pode-se alterar o projeto e realizar novos testes de resistências de forma consecutivamente até a completa otimização do projeto.

Essa opção permite enxugar os custos do projeto com a remoção de materiais em pontos desnecessários e acréscimo de materiais em pontos de concentração de tensão e/ou soluções inteligentes como inclusão de artimanhas como raios, chanfros em arestas passíveis a tensões elevadas ou fadigas, entre outros. No entanto os softwares são somente executores de cálculos e somente apresentam ao final de cada simulação os resultados.

Vale salientar que o software é apenas uma ferramenta auxiliar no estudo de elementos finitos num espaço de tempo bem curto e tem sua parcela específica e limitada na realização dos estudos, que são para receber informações das variáveis, executar o estudo e mostrar os resultados ao operador do mesmo.

O engenheiro é quem continua com a responsabilidade de identificar as cargas as quais o sistema estará submetido, selecionar e aplicar materiais e bitolas necessárias a modelagem

criada e fazer a leituras dos resultados como tensões, deslocamentos, apresentadas pelo software e determinar os componentes estão aptos ou se terão que sofrer alterações, isso com base nos conhecimentos de resistência de cada material.

4.5.1 Determinação das forças atuantes.

Como já citado anteriormente, a função principal da trava é a de realizar o travamento auxiliar de carretas durante a operação de descarga em tombadores. Durante o processo de descarga dos tombadores de grande porte (a partir de 18 metros) são consideradas 3 tipos de carga. Assumindo a descarga de uma carreta bitrem em um tombador de 21 metros, onde a elevação/inclinação é realizada por atuação de cilindros hidráulicos telescópicos de simples ação, no ultimo estagio é realizado uma regulagem na válvula de alivio do circuito hidráulico prevendo uma carga equivalente o somatório das cargas fixas + percentual de 25% da carga variáveis, isso nos certifica que a carga a ser resultante na trava nunca será superior, pois caso tenha mais carga na carreta o tombador não irá dar continuidade na inclinação. Esse valor é identificado através da equação 01.

$$Carga\ 4^o\ estágio = Carga\ 1 + Carga\ 2 + 25\% Carga\ 3 \quad (01)$$

Onde:

Carga fixa 1 = peso do tombador (20 ton).

Carga fixa 2 = peso da carreta (20 ton).

Carga variável 3 = peso da carga de granéis (50 ton).

Assumindo os valores citados na equação 01 é obtido o valor de carga no 4º estágio dos cilindros de elevação (52,5 ton) essa é a força que os cilindros telescópicos deverão exercer nessa posição. Posterior, para identificar o valor da força vertical FV a ser decomposta no sistema de travamento conforme demonstrado na Figura 18, deve ser realizado a soma da carga fixa da carreta mais os 25% da carga de granéis. Esse valor poderá ser encontrado através da equação 02.

$$FV = Carga\ 2 + 25\% Carga\ 3 \quad (02)$$

Onde:

Carga fixa 2 = peso da carreta (20 ton).

Carga variável 3 = peso da carga de granéis (50 ton).

Com o valor de FV (32,5ton) encontrado deverá ser decomposta na inclinação de 40° para se identificar a força a ser aplicada nos sistemas de travamento. Para isso basta aplicar a relação trigonométrica do seno para identificar esse valor, conforme é possível identificar

também na Figura 18, o valor da força inclinada a 40° é identificada através da aplicação da equação 03.

$$\text{sen}\alpha = \frac{CO}{HIP} \quad (03)$$

Onde:

$\alpha = 40^\circ$

CO = FV (32,5 ton)

H = FI40°

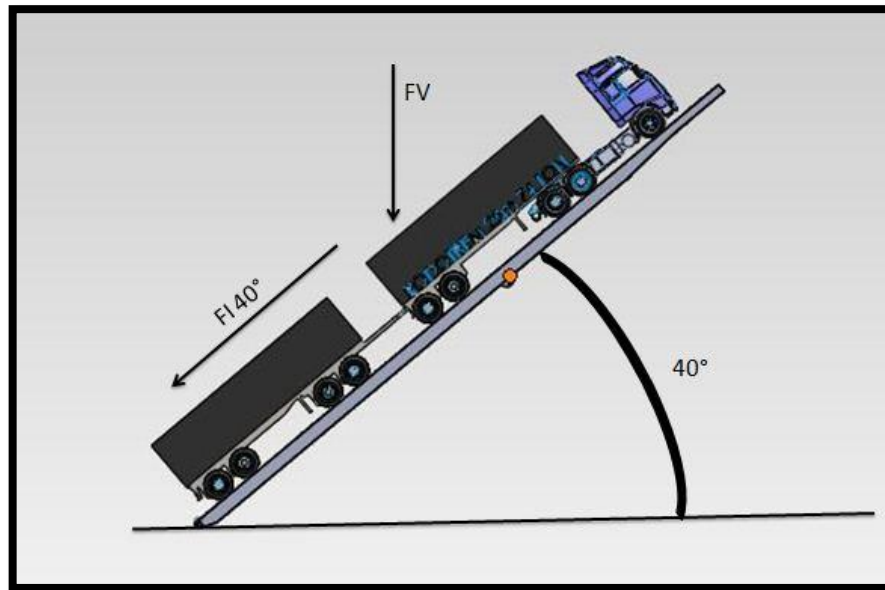


Figura 18: Cargas x Decomposições 1.

(Fonte: o autor, 2020)

Através da execução do cálculo 03 é possível identificar a força atuante nas travas de igual a FI 40° (50,56 ton), como o objetivo do sistema de travamento é auxiliar com 30% desse valor e o dispositivo é composto por um par de travas laterais, basta pegar esse percentual e dividir por 2 e teremos o valor que cada trava deverá suporta. O valor de força por trava (FPT) poderá ser obtido através da equação 04.

$$FPT = \frac{(FI40^\circ \times \frac{30}{100})}{2} \quad (04)$$

Onde:

FI40° = 50,56 ton

Nesse caso o valor de FPT foi de 7,58 ton. Em tese essa seria a melhor das hipóteses onde o travamento combinado estaria dividindo a carga entre a trava frontal convencional e o par de travas traseiras projetado, porém outra condição que o dispositivo de travamento foi

proposto é o de suportar a carga dos reboques em caso de desengate do “pino rei”, nesse caso é previsto outra condição de acordo com a Figura 19.

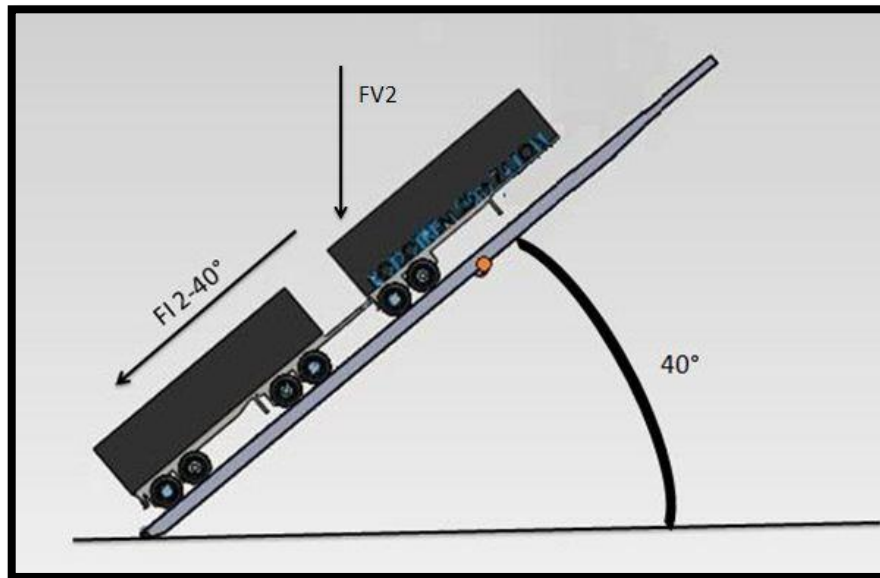


Figura 19: Cargas x Decomposições 2.

(Fonte: o autor, 2020)

Nessa condição supondo que os reboques desengataram do pino rei logo no cavalo mecânico, os reboques irão ficar travados somente pela trava auxiliar, logo para identificar a carga que será aplicada sobre as travas nessa condição, será possível através da equação 05, onde se identifica uma nova carga vertical FV2.

$$FV2 = \text{Carga 4} + 25\% \text{ Carga 3} \quad (05)$$

Onde:

Carga fixa 4 (carrocerias) = peso das carrocerias (10 ton).

Carga variável 3 = peso da carga de granéis (50 ton).

Através da equação 05 identificou-se um valor de FV2 (22,5 ton) e decompondo essa força a 40° conforme equação 06 é possível identificar o valor da força aplicada inclinada 2 (FI2-40°).

$$\text{sen} \alpha = \frac{\frac{CO}{HIP}}{2} \quad (06)$$

Onde:

α : = 40°

CO = FV (22,5 ton)

H = FI40°

Sobre a condição de desengate, desprendimento dos reboques com o tombador em ângulo próximo aos 40° a carga aplicada em cada trava poderá chegar a uma carga de até 17,5 ton/trava.

4.5.2 Materiais utilizados na modelagem

Os materiais utilizados na fabricação do dispositivo são de aço ASTM A36, cujas a tensão limite de escoamento é de 250 MPa, a resistência a tração é de 400 MPa e a tensão de cisalhamento utilizada corresponderá de 250 MPa, a tensão admissível estipulada deverá ser no mínimo 1X da tensão de escoamento.

A soldagem dos componentes será realizada com arame ER70 da Gerdau. A tensão de escoamento mínimo do arame ER70 é 400 MPa e tensão de ruptura mínima é de 480 MPa. A tensão de cisalhamento pelo critério de Tresca (metade da tensão de escoamento) é de 200 MPa. Com base nessas informações serão avaliadas os resultados do estudo de análise de elementos finitos dos componentes do conjunto.

4.5.3 Dimensionamento da estrutura para carga de 7,58 ton – N1.

As análises estruturais serão realizadas em duas etapas, sendo no primeiro momento simulando uma condição normal de travamento onde a carga aplicada é de 7,58 ton e com a trava posicionada em uma das extremidades do curso longitudinal, permitindo analisar assim às tensões nos suportes de fixação do dispositivo com lateral do tombador de forma concentrada, conforme é possível visualizar na Figura 20.

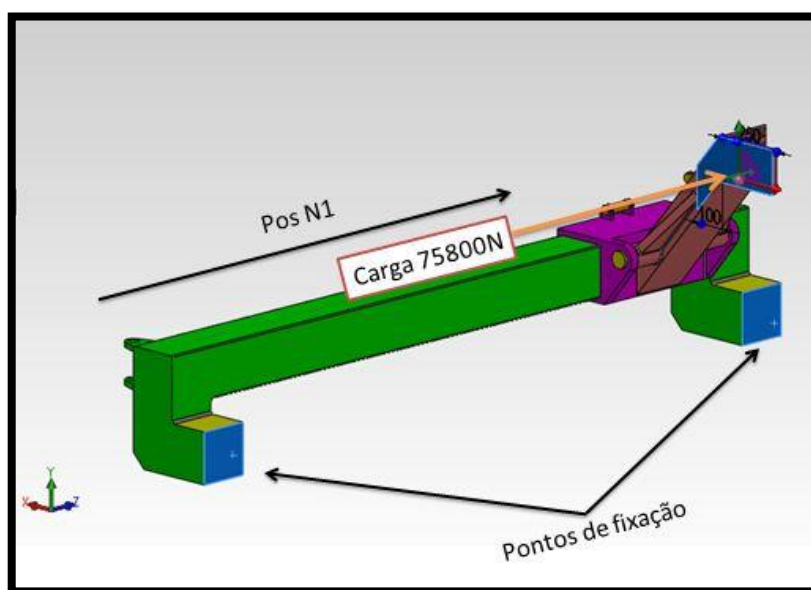


Figura 20: Visual da Estrutura na Condição N1.

(Fonte: o autor, 2020)

Com a modelagem da trava de acordo com as características desejadas do produto, é informado o ao software quais os pontos de fixação do conjunto, o ponto de aplicação e sentido da carga com unidades em Newtons e também é definido o material construtivo da estrutura e o parâmetro da malha estrutural. Como parâmetro da malha, quanto menor for o valor, mais preciso será a análise. Posterior a definição da malha o software inicial a realização da análise. Na Figura 21 é possível visualizar essa malha.

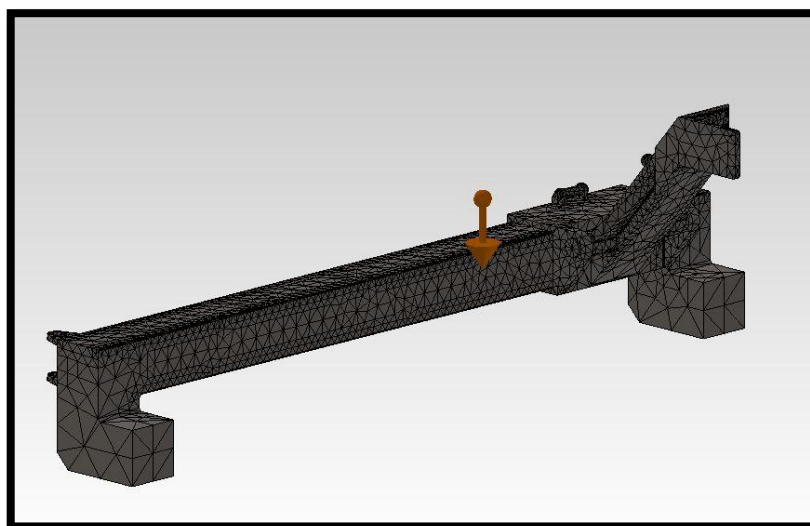


Figura 21: Malha da Estrutura na Condição N1 e N3.

(Fonte: o autor, 2020)

Os resultados apresentados pelo software *SolidWorks* são os de tensão, deslocamento e deformação.

Como os resultados apresentados a função do projetista é de realizar a leitura e interpretação dos mesmos, que consiste basicamente na conferência dos valores de tensão e deslocamento.

Com a trava na condição N1, ou seja, sob carga de 7,58 ton os valores demonstraram pontos da trava propícios à fadiga e/ou trincas e uma flecha muito elevada que poderia comprometer o deslocamento linear longitudinal do carrinho. Posterior, algumas alterações foram realizadas e mais testes e análises de forma instantânea como alteração de bitolas, dimensões de materiais, até que se obtiveram valores de tensão e deslocamento aceitável dos componentes, cujas maiores amostras de tensões ficaram na casa dos 120 MPa e podem ser vistos na Figura 22.

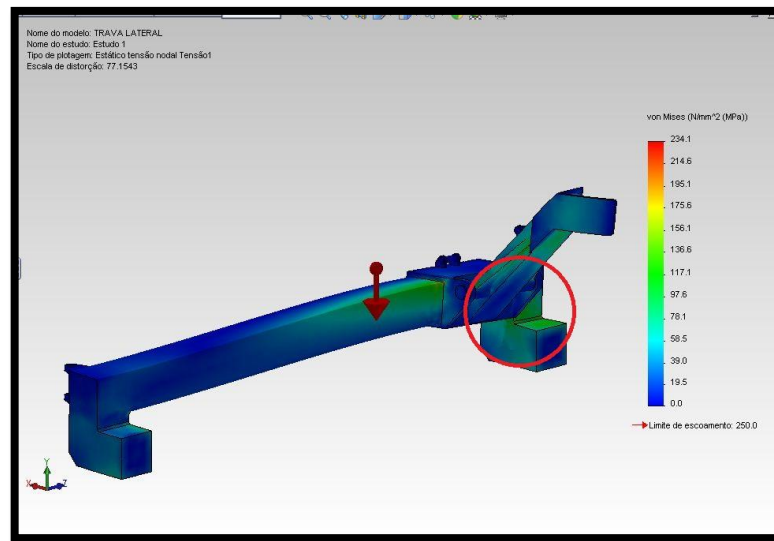


Figura 22: Análise de Tensão na Condição N1.
 (Fonte: o autor, 2020)

Algumas indicações de tensões elevadas foram constatadas na análise, porém, ocorre em regiões de concentrações de tensões e de transição de geometria. Essas tensões são classificadas como tensões de pico e/ou secundárias e podem provocar alguma deformação reduzida, caso exceder o limite de escoamento do material do corpo, porém, não provocam o colapso do componente. As tensões de pico podem causar ruptura por fadiga devido a carregamento cíclico e nesse intuito o dispositivo visa um número estimado de ciclos bem baixo, de no máximo 6 ciclos de travamento por hora. Essa ressalva é válida para as demais análises testes a serem executadas.

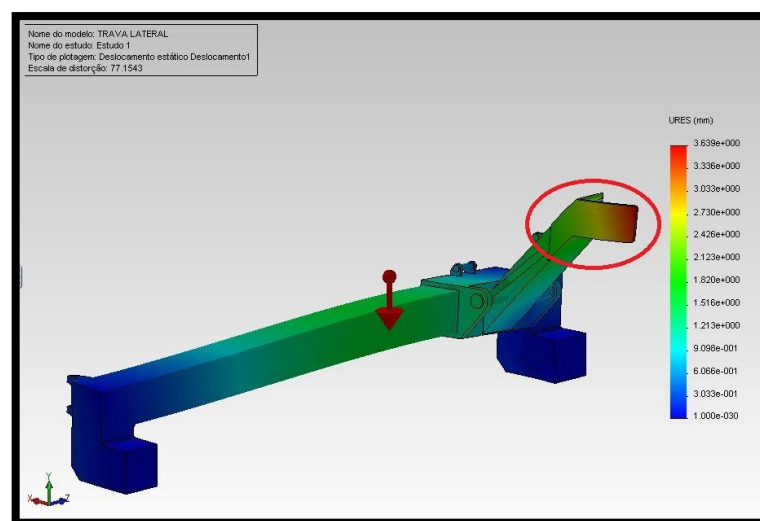


Figura 23: Análise de Deslocamento na Condição N1.
 (Fonte: o autor, 2020)

Os valores de deslocamento ficaram dentro do admitido, com máximo de 3,5mm conforme pode ser visto na figura 23.

4.5.4 Dimensionamento da estrutura para carga de 7,58 ton – N2.

Na segunda etapa de análise, a trava será movimentada e posicionada na parte central do curso de deslocamento longitudinal, para que possam ser avaliadas as reações na travessa longitudinal de deslocamento, visto que esse componente tende a ficar vulnerável a flexão e/ou torção mais intensa pelo fato de estar mais afastado dos pontos de fixação. Na Figura 24 é possível visualizar condição de posição N2 para realização da nova análise.

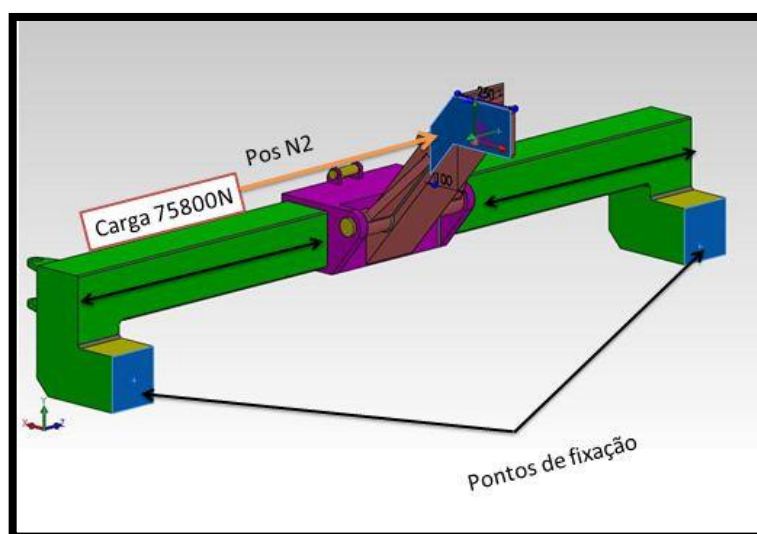


Figura 24: Visual da Estrutura na Condição N2.

(Fonte: o autor, 2020)

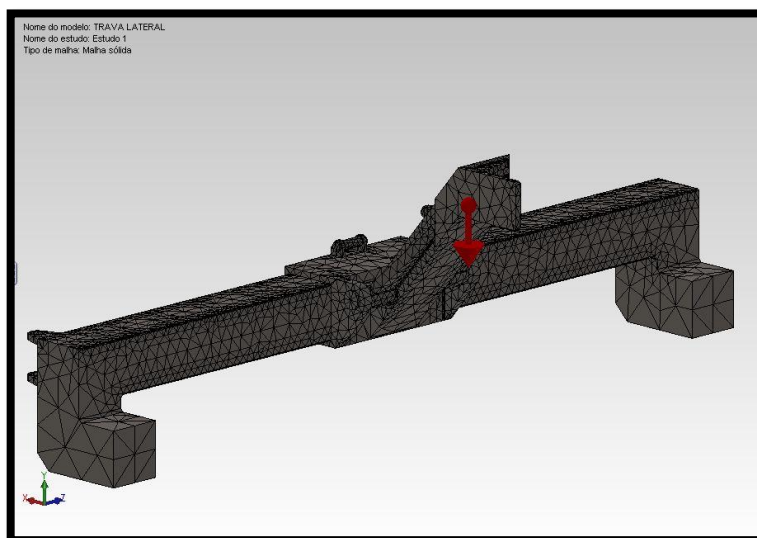


Figura 25: Malha da Estrutura na Condição N2 e N4.

(Fonte: o autor, 2020)

Na Figura 25 é possível visualizar a malha gerada pra estrutura na posição N2 e na Figura 26 é possível visualizar os resultados da nova análise na condição citada. Ainda sob carga de 7,58 ton/trava os valores obtidos de tensão e deslocamento foram aceitáveis, cujas maiores amostras de tensões ficaram na casa dos 95 MPa.

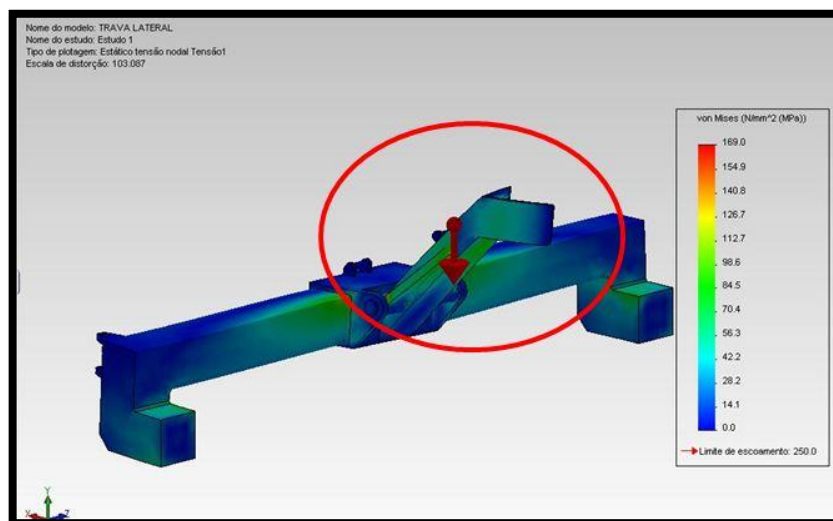


Figura 26: Análise de Tensão na Condição N2.

(Fonte: o autor, 2020)

Os valores de deslocamento também ficaram dentro de uma condição admissível, com deslocamento máximo de 2,5mm conforme pode ser visto na figura 27.

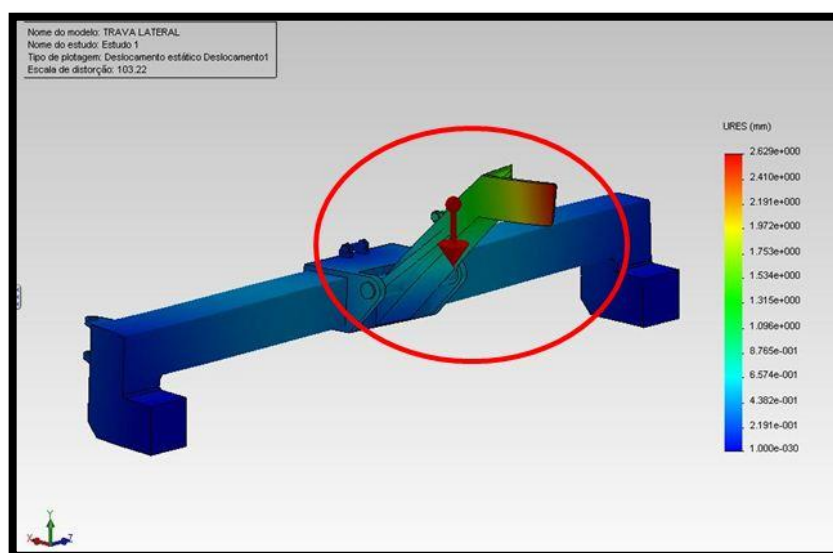


Figura 27: Análise de Deslocamento na Condição N2.

(Fonte: o autor, 2020)

4.5.5 Dimensionamento da estrutura para carga de 17,50 ton – N3.

Na terceira etapa, a análise será realizada prevendo uma condição extrema na qual o sistema de travamento poderá ser exposto, que prevê uma situação na qual os reboques se desprenderiam do cavalo mecânico e consequentemente essa carga seria em sua totalidade direcionada as travas auxiliares. Nesse caso a carga mais que duplicaria se tratando de valores, pois de 7,58 ton passaria a ser a ser de 17,50 ton/trava. Para essa simulação a trava será posicionada na extremidade do curso longitudinal, permitindo analisar assim as novas tensões resultantes nos suportes de fixação do dispositivo com lateral do tombador, de forma concentrada conforme, sendo possível visualizar na Figura 28.

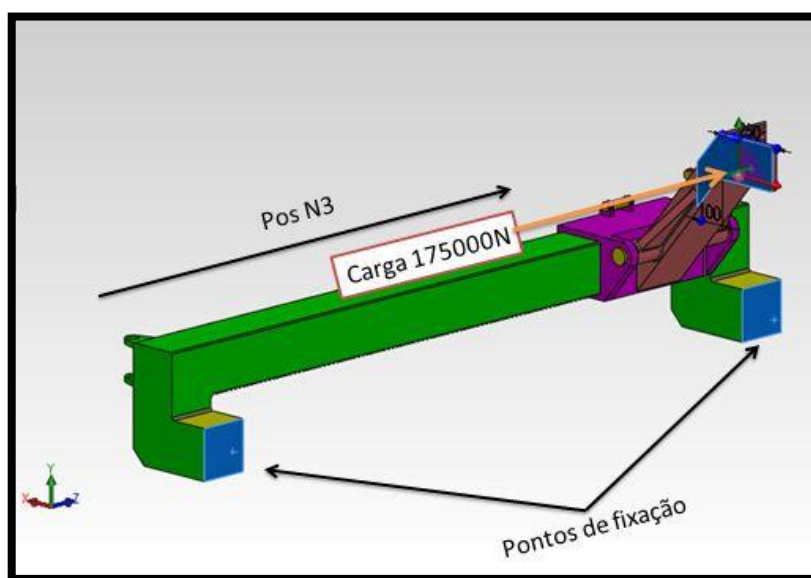


Figura 28: Visual da Estrutura na Condição N3.

(Fonte: o autor, 2020)

Com a trava na condição N3, ou seja, sob carga de 17,50 ton, as maiores amostras de tensões ficaram na casa dos 220 MPa conforme podem ser vistos na Figura 29. O valor da tensão aumentou proporcionou um aumento da carga aplicada, ou seja, em torno de 230% em relação à condição normal de trabalho previsto inicialmente. As tensões de picos encontradas foram desconsideradas por representarem uma fração muito pequena e não significarem indícios de escoamento e/ou colapso do componente.

Nessa condição o deslocamento identificado foi de 7,00 mm na extremidade do braço, um valor elevado, porém aceitável sob tal circunstância. Essa deformação pode ser vista na Figura 30.

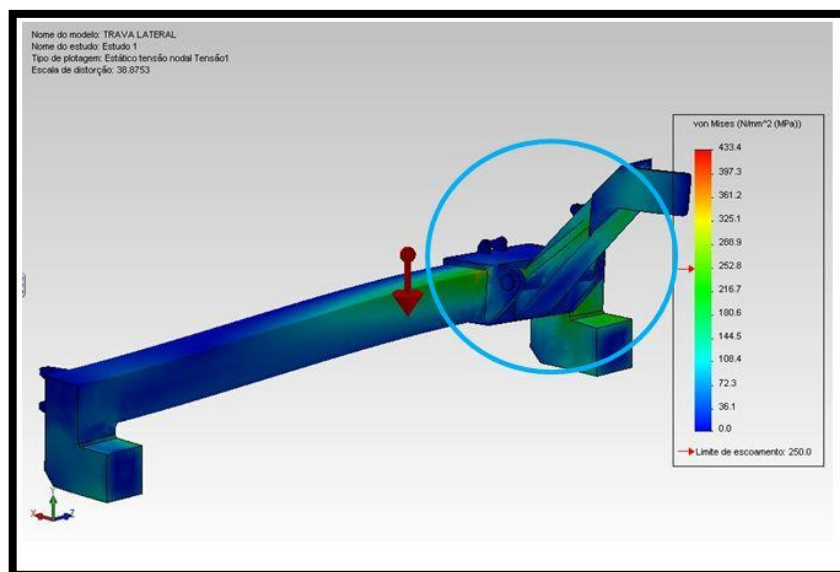


Figura 29: Análise de Tensão na Condição N3.
 (Fonte: o autor, 2020)

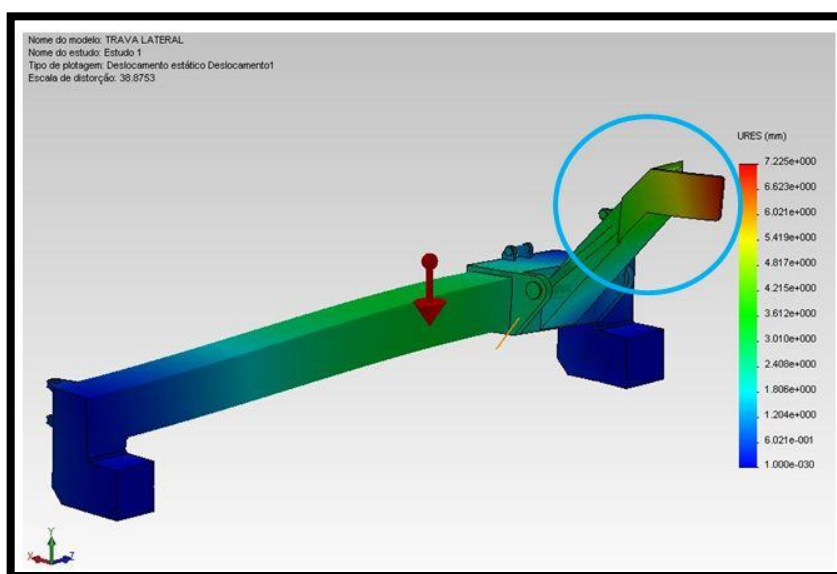


Figura 30: Análise de Deslocamento na Condição N3.
 (Fonte: o autor, 2020)

4.5.6 Dimensionamento da estrutura para carga de 17,50 ton – N4.

Na quarta análise, a trava será movimentada e posicionada na parte central do deslocamento longitudinal para que possam ser avaliadas as reações na travessa longitudinal de deslocamento sob a carga de 17,5 ton. Visto que esse componente tende a ficar vulnerável a flexão e/ou torção mais intensa pelo fato de estar mais afastado dos pontos de fixação. Na figura 31 é possível visualizar condição de posição N4 para realização da nova análise.

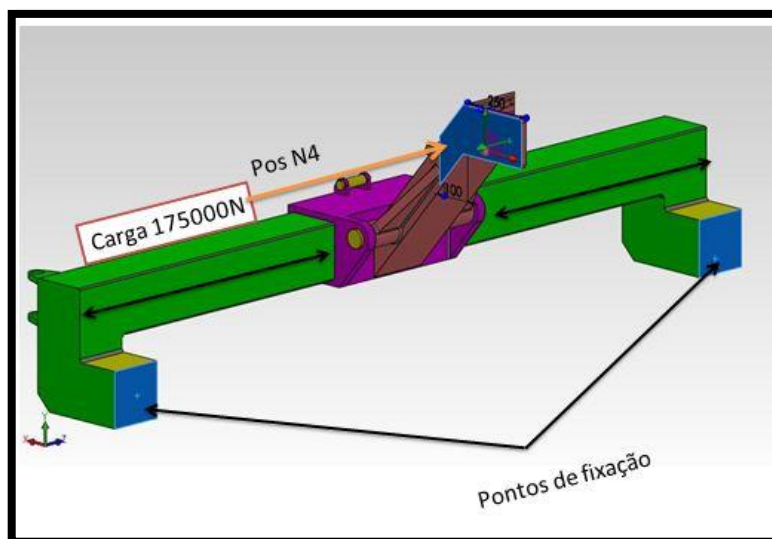


Figura 31: Visual da Estrutura na Condição N4.

(Fonte: o autor, 2020)

Sob carga de 17,50 ton/trava os valores obtidos de tensão e deslocamento mesmo elevados ficaram num índice aceitável, pois abaixo do limite de escoamento do material. O valor apresentado pelo software ficou na casa dos 170 MPa e pode ser visto na figura 32.

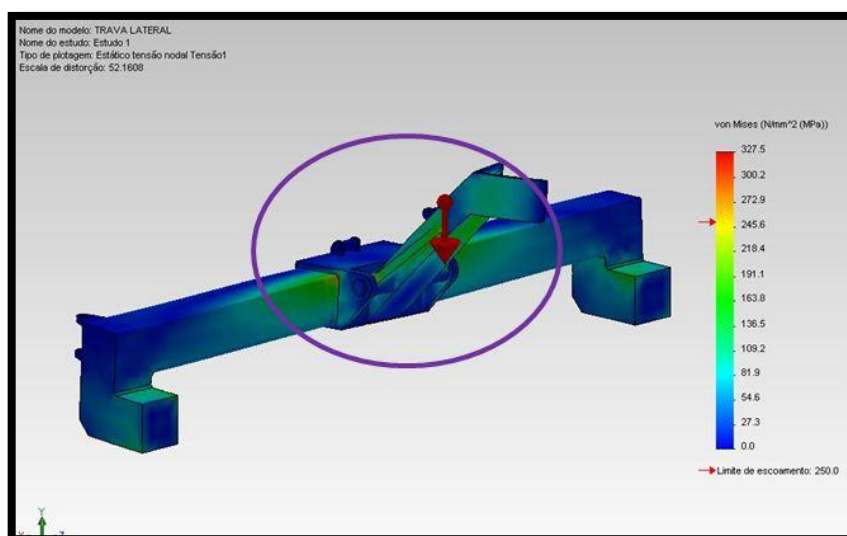


Figura 32: Análise de Tensão na Condição N4.

(Fonte: o autor, 2020)

Os valores de deslocamento também ficaram dentro de uma condição aceitável, com deslocamento máximo de 5 mm conforme pode ser visto na Figura 33.

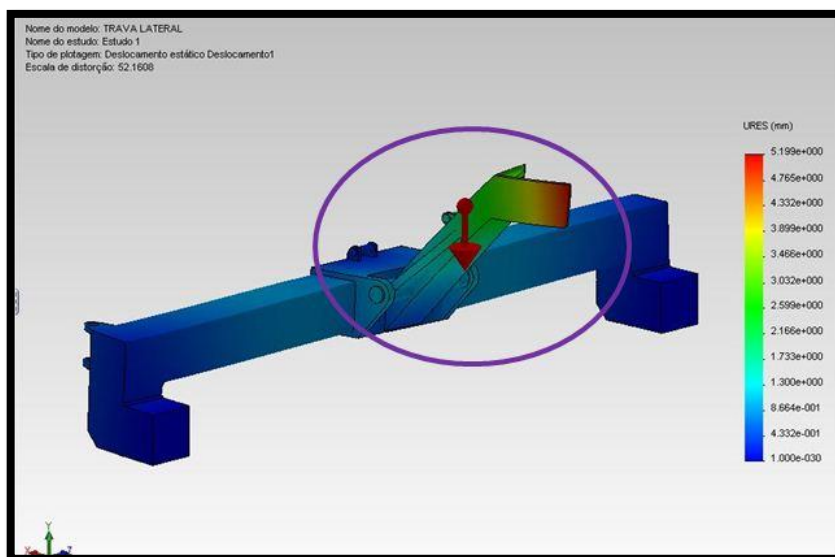


Figura 33: Análise de Deslocamento na Condição N4.

(Fonte: o autor, 2020)

4.5.7 Análise dos resultados obtidos

Com as análises dos resultados obtidos foi possível constatar que o dispositivo está dimensionado corretamente e atende as solicitações exigidas com coeficientes de segurança de acordo coma tabela abaixo.

Resultados Obtidos pela Analise						
Condição	Carga	Pos. Trava	Tensão encontrada	Desloca mento	Coeficiente segurança	Apr. /Repr.
4.5.3 Primeiro	7,58 ton	Lateral	120 MPa	3,5 mm	2,08	Aprovado
4.5.4 Segundo	7,58 ton	Central	95 MPa	2,5 mm	2,63	Aprovado
4.5.5 Terceiro	17,50 ton	Lateral	220 MPa	7,0 mm	1,14	Aprovado
4.5.6 Quarto	17,50 ton	Central	170 MPa a	5 mm	1,29	Aprovado

Tabela 2: Tabela de resultados de esforços

(Fonte: o autor, 2020)

Com base nos resultados obtidos é possível afirmar que o dimensionamento do dispositivo está adequado para a aplicação desejada, que irá atuar com a robustez necessária, com coeficiente acima de 2 nos casos de operação normais, e em caso de sinistro onde à carga maior será aplicada, a estrutura suportará aos esforços solicitados.

Certamente em caso de algum sinistro de desengate involuntário dos reboques, será necessária uma avaliação estrutural por um profissional qualificado para avaliar possíveis danos estruturais, principalmente porque itens como os elementos de contato como guias e buchas de bronze poderão sofrer desgastes prematuros nessa situação.

Ainda como ressalva, comparando os dados é possível ver que nos pontos extremos ao curso da trava, próximo aos pontos de fixação foi onde as tensão e deslocamentos foram maiores e na parte central as tensões e deslocamento foram menores, justamente o contrário do que se esperava, isso se explica pelo fato de quando a trava estar na parte central, a tensão é melhor distribuída ao longo da travessa longitudinal, e com esse fator a tensão ficou menor o deslocamento dos componentes consequentemente também.

5 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Com a realização do estudo, pretende como objetivo principal desenvolver o projeto de um produto cuja aplicação seja auxiliar no travamento de carretas em plataformas basculantes durante operação de descarga de granéis. Outra pretensão é a de demonstrar que um engenheiro precisa estar preparado para atuar nos diversos pontos do desenvolvimento, seguindo as etapas de identificação das necessidades do produto, viabilidade técnica, fabril e logística necessária para o produto, pesquisas de produtos similares protegidos, normas de segurança e por fim o desenvolvimento do projeto. Porém para realização dessas etapas existem meios que podem auxiliar muito o projetista, como softwares de modelagem e dimensionamento, definição de concepções entre outros.

Ferramentas como essas evitam de o projetista ficar focado numa concepção que imaginou e/ou que tenha preferência pessoal, não se dando conta que a utilização de outras técnicas poder atender de forma mais eficaz ou menos onerosa a necessidade de seu projeto e que seu propósito é de atender uma necessidade e não seu capricho.

Além disso, como foco principal, com o desenvolvimento do trabalho, todos os objetivos foram alcançados, como a realização do projeto teórico, embasado no atendimento dos objetivos específicos como pesquisas, modelagens e dimensionamento. Esse trabalho permitiu ao acadêmico aplicar na prática os conhecimentos teóricos adquiridos ao longo do curso, utilizando a principal delas que é o hábito da pesquisa, da busca por embasamento técnico antes da tomada de decisões, busca por soluções e ferramentas atualizadas e mais eficientes e pela qualificação continua no meio profissional.

5.1 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

O trabalho visou na definição de concepção de um produto que ficou apto nos estágios de envolvimento ao qual foi submetido, pois conforme objetivado o mesmo seguiu até a fase de projeto preliminar, o qual prevê o dimensionamento e definição de materiais do produto. Como sugestão inicial fica ao próprio autor de que seja realizado a continuação das etapas de desenvolvimento previstos e sua finalização do projeto do produto, até inclusive com o registro de patente do mesmo em função da expectativa de comercialização prevista.

Outra linha que chamou a atenção e poderá ser analisada foi a de sobre carga nos pneus do caminhão durante a operação, uma pesquisa aberta a terceiros sugerida seria a de identificar de até em que momento os pneus dos veículos estaria aptos a receber mais carga, e de qual

relação de pressão nos mesmo durante o processo de inclinação, embora a carga variável de granes vão diminuindo, no entanto a carga em função da inclinação vai aumentando.

E nesse caso o dispositivo seria mais bem aplicado no pneu mesmo ou se teria outro local mais adequado pra realizar o travamento auxiliar. Essas seriam as sugestões para trabalhos futuros deixados pelo autor.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BAETA, Fernando da Costa; SARTOR, Valmir. **Resistência dos materiais e dimensionamento de estruturas para construções rurais**. p.46. – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 1999.

BEER, Ferdinand; JOHNSTON, Russel. **Resistência dos Materiais**, 3º Ed. São Paulo: Pearson Makron Books, 1995.

BRASIL. Ministério do Trabalho e Previdência Social. Subsecretário de Estado das Corporações e Previdência Social. **Normas regulamentadoras. NR-12 Máquinas e equipamentos**. Brasília, 1978. 3disponível em:
<<http://www.trabalho.gov.br/images/Documentos/SST/NR/NR12/NR-12.pdf>> Acesso em: 26 março. 2020.

DUARTE, Luiz Carlos. **Método de projeto: uma abordagem sistêmica**. 2 ed. Ijuí: Unijuí, 2005. 60p.

EEEP. Escola Estadual de Educação Profissional. **Elementos de máquinas**. Brasília, 1978. 3disponível em:

https://www.seduc.ce.gov.br/wp-content/uploads/sites/37/2011/10/mecanica_elementos_de_maquinas.pdf Acesso em: 24 abril. 2020.

FELLET, João. **As silenciosas mortes de brasileiros soterrados em armazéns de grãos**. BBC News - Brasil, 28 ago. 2018. P.3. Disponível em:<<https://www.bbc.com/portuguese/brasil-45213579>> Acesso em: 16 março. 2020.

FISH, Jacob and BELYTSCHKO, Ted. **Um Primeiro Curso em Elementos Finitos**. John Wiley & Sons Ltd, The Atrium, Southern Gate, Chichester, West Sussex PO19 8SQ, LTC, 2007.

GASPARIN, Daniel et al. **Metodologia de projeto para empresa metal mecânica**. 2015. p.79-93. Revista CIATEC-UPF, vol.7.

GOMES, Sérgio Concli. **Resistência dos Materiais**, 6º Ed. São Leopoldo: Unisinos. P. 287. 1983.

HIBBELER, R. C. **Resistência dos Materiais**, 7º Ed. Rio de Janeiro: Pearson Prentice Hall, 2009.

KEEDY, Samir. **Transportes inutilizarão e seguros internacionais**, 2. Ed. São Paulo: Aduaneira, 2003.

KIM, N. SANKAR, B. V. **Introdução à análise e ao projeto em elementos finitos**. Tradução e revisão técnica Amir Elias Abdalla Kurbon. Rio de Janeiro. LTC, 2011.

LINSINGEN, I. V. **Fundamentos de Sistemas Hidráulicos**. 2. ed. Florianópolis: Editora da UFSC, 2003.

NORTON, Robert L. **Projeto de Máquinas**. 4º edição, Porto Alegre: Bookmann, 2013.

SANTOS, José Luiz dos; SCHIMIDT, Paulo; PINHEIRO, Paulo R.; NUNES, Marcelo Santos. **Manual de contabilidade de custos:** atualizado pela Lei nº 12.973/2014 e pelas Normas do CPC até o Documento de Revisão de Pronunciamentos Técnicos no 03/2013. São Paulo: Atlas, 2015.

SERRANO, M. I. **Controle de Força de um Servo atuador Hidráulico através da Técnica de Linearização por Realimentação.** 2007. Dissertação (Mestrado em Engenharia Elétrica/Automação e Instrumentação Eletromecânica) – Departamento de Metalurgia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2007.

SILVA, L. C. da. **Estruturas para Armazenagem de Grãos a Granel.** Editora da Universidade Federal do Espírito Santo – UFES, 2010.

SORIANO, L. Humberto. **Método de Elementos Finitos em Análise de Estruturas.** 1ª Edição. São Paulo, Ed. Edusp. 2003.

SOLIDWORKS Ajuda do. Disponível em: <http://help.solidworks.com/2016/portuguese-brazilian/SolidWorks/cworks/c_Basic_Concepts_of_Analysis.htm> Acesso em 22/08/2020.

TIROTTI Nilton santo. **Sistema de desenvolvimento de projeto de produtos.** p.69 – universidade Federal de santa Catarina, Florianópolis, 2003.

VALDIERO, Antônio Carlos. **Inovações e desenvolvimento do projeto de produtos industriais.** 2 ed. Ijuí: Unijuí, 2008. 30p.

WEBER, Érico Aquino. **Excelência em beneficiamento e armazenagem de grãos.** 2ª Ed. Panambi: Salles, 2005. 586 p.