

Projeto Carrinho Munck

Allan Flor da Silva; Douglas Roberto de Oliveira Souza; Henrique Rodrigues dos Santos; José Amaro Gomes Neto; Lucas Barbosa Gomes; Maria Eduarda Cunha da Rocha; Robson Henrique Marques

Orientador: Leandro Ferreira Gomes

Resumo: O projeto consiste em todo o processo de dimensionamento e confecção de um Carrinho Munck, um carro de quatro rodas convencional com um sistema de elevação acoplado com patolagem. Com a função de entrar em espaços menores para remoção e instalação de pequenos equipamentos, como bombas e motores – em unidades operacionais e realizar seu transporte para manutenções e revisões, com a facilidade de ser manual, aumentando assim a produtividade e diminuindo recursos como suporte de içamento e máquinas modelo guindaste. Todo o projeto e protótipo foi realizado com o auxílio do software Fusion 360, onde com o mesmo a modelagem e manufatura do protótipo do carrinho foi aplicada, assim podendo simular os pontos de esforços sofridos pelo dimensionamento.

Palavras-chave: Projeto, Carrinho Munck, Protótipo, Fusion 360.

Munck Cart Project

Abstract: The project consists of the entire process of sizing and manufacturing a Munck Cart, a conventional four-wheel car with a lifting system coupled with piling. With the function of entering smaller spaces for the removal and installation of small equipment, such as pumps and motors - in operational units and transporting them for maintenance and revisions, with the ease of being manual, thus increasing productivity and reducing resources such as support lifting and crane model machines. The entire project and prototype was carried out with the help of the Fusion 360 software, where the modeling and manufacturing of the cart prototype was applied, thus being able to simulate the stress points suffered by the sizing.

Keywords: Project, Munck Cart, Prototype, Fusion 360.

1. Introdução

Um Carrinho Munck, também conhecido como guindaste veicular ou guindaste móvel, é uma máquina versátil e indispensável na indústria de modo geral. Este equipamento combina a mobilidade de um veículo com a capacidade de içamento de um guindaste, permitindo a movimentação eficiente de cargas pesadas e volumosas em diversos ambientes. O Carrinho Munck desempenha um papel fundamental em canteiros de obras, depósitos, portos e muitos outros locais onde a manipulação de materiais é necessária. Em resumo, a utilização de um Carrinho Munck se justifica devido à sua capacidade de proporcionar soluções eficientes, seguras e versáteis para a movimentação de cargas em uma variedade de ambientes e aplicações, contribuindo para melhorar a produtividade e reduzir custos operacionais.

1.1 Justificativa

Diferente do Caminhão Munck, que possui uma estrutura muito grande e baixo rendimento em acessar locais de difíceis acesso. O projeto do Carrinho Munck, veio para eliminar os problemas citados anteriormente, com a função do mesmo ser manual e controlado diretamente por uma pessoa, o projeto permitirá um aumento na produtividade, assim diminuindo recursos como suporte de içamento e máquinas tipo guindaste. Além de preservar o esforço humano, reduzindo o mesmo para ter uma melhor ergonomia do operador.

1.2 Objetivos

O objetivo do projeto consiste em realizar um planejamento e desenvolvimento de um carrinho Munck, através dos conceitos de Resistência dos Materiais e Modelagem aplicados ao sistema mecânico; criando assim um protótipo virtual no software Fusion 360. Podendo assim, dimensionar os esforços sofridos pelo eixo e o carrinho, calcular a carga máxima que o sistema de guindaste suportara de acordo com as dimensões especificadas e gráficos de tensões e deformações.

2. Revisão Bibliográfica

A resistência dos materiais desempenha um papel crucial no projeto de dimensionamento de componentes em engenharia. A obra "Resistência dos Materiais" de R.C. Hibbeler, em sua 7ª Edição, é uma fonte valiosa para compreender os princípios fundamentais que orientam a análise e o dimensionamento estrutural. A aplicação correta dos princípios de resistência dos materiais contribui diretamente para a segurança e durabilidade das estruturas. O livro de Hibbeler oferece métodos para avaliar a capacidade de suportar cargas extremas, prevenindo falhas e garantindo a integridade estrutural ao longo do tempo. Com isso, todo o projeto de dimensionamento do Carrinho Munck, teve como embasamento os conceitos teóricos disseminados por Hibbeler em sua obra.

A obra "Autodesk Fusion 360: modelamento, montagens e design", de Daniel de Moraes Severino, apresenta uma abordagem abrangente para o aprendizado e aplicação do Fusion 360, uma ferramenta essencial no cenário de modelagem. Ao explorar os capítulos dedicados ao modelamento, Severino oferece uma visão prática e instrutiva sobre as funcionalidades do software. A clareza da linguagem utilizada permitiu uma melhor compreensão para a fabricação das peças do carrinho, ajudando com conceitos não vistos antes durante o curso de engenharia.

3. Materiais e Métodos

Na engenharia, o Fusion 360 emerge como uma ferramenta poderosa para criar peças que desempenham papéis vitais em uma variedade de sistemas. Este software avançado oferece uma plataforma integrada, permitindo modelar, simular e otimizar peças fundamentais que compõem sistemas complexos em uma variedade de aplicações industriais. Explorando como o Fusion 360 se torna uma ferramenta indispensável para a criação eficiente e precisa de peças que impulsionam a funcionalidade e o desempenho. O protótipo do Carrinho Munck, foi dividido por sistemas antes de todas as peças serem agrupadas, permitindo um maior controle da fabricação das peças.

3.1 Sistema Estrutura e Direção

No cenário da engenharia mecânica, a eficácia e durabilidade de um veículo muitas vezes repousam na integridade de sua estrutura e direção. Neste contexto, destaca-se a utilização do aço 1020, um material conhecido por sua resistência e maleabilidade. Esta introdução explora como a escolha deliberada de construir a estrutura desempenha um papel no desenvolvimento de projetos confiáveis.

A escolha do aço 1020, cujo o percentual médio de carbono em sua composição química é de 0,20, se deu por conta de suas ótimas propriedades mecânicas, sendo elas: Ductilidade, Maleabilidade, Tenacidade e Resistência; podendo ser vistas na Figura 1.

Figura 1 – Propriedade Aço 1020

Propriedades físicas	Métrica	inglês	COMENTÁRIOS
Densidade	7.87g/cc	0,284lb/in³	

Propriedades Mecânicas	Métrica	inglês	COMENTÁRIOS
Dureza, Brinell	121	121	
Dureza, Knoop	140	140	Convertido de Brinell
Dureza, Rockwell B	68	68	Convertido de Brinell
Dureza, Vickers	126	126	Convertido de Brinell
Resistência à tensão, Ultimate	420MPa	60900psi	
Resistência à tensão, rendimento	350MPa	50800psi	
Alongamento no intervalo	15 %	15 %	Em 50 mm
Redução de Área	40 %	40 %	
Módulo de Elasticidade	186GPa	27000ksi	
Módulo em massa	148GPa	21500ksi	calculado a partir do módulo elástico e da relação de Poisson
Razão de Poissons	0.29	0.29	
Machinabilidade	65%	65%	Baseado em aço AISI 1212 = 100%
Módulo de cisalhamento	72.0GPa	10400ksi	calculado a partir do módulo elástico e da relação de Poisson

Propriedades Elétricas	Métrica	inglês	COMENTÁRIOS
Resistividade elétrica	0.0000159ohm-cm @ Temperatura 0.000 °C	0.0000159ohm-cm @ Temperatura 32.0 °F	condição desconhecida
	0.0000219ohm-cm @ Temperatura 100 °C	0.0000219ohm-cm @ Temperatura 212 °F	condição desconhecida
	0.0000292ohm-cm @ Temperatura 200 °C	0.0000292ohm-cm @ Temperatura 392 °F	condição desconhecida

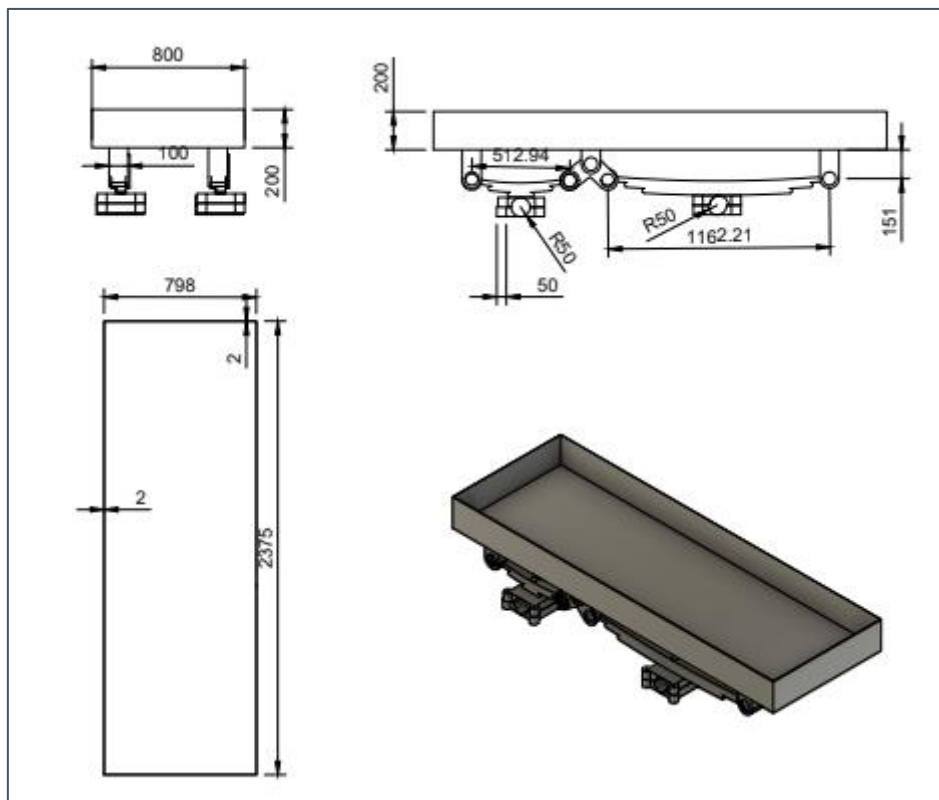
Propriedades Térmicas	Métrica	inglês	COMENTÁRIOS
CTE, linear	11.7µm/m-°C @ Temperatura 0.000 - 100 °C	6.50µin/in-°F @ Temperatura 32.0 - 212 °F	
	12.8µm/m-°C @ Temperatura 0.000 - 300 °C	7.11µin/in-°F @ Temperatura 32.0 - 572 °F	
	13.9µm/m-°C @ Temperatura 0.000 - 500 °C	7.72µin/in-°F @ Temperatura 32.0 - 932 °F	
Capacidade Térmica Específica	0.486J/g-°C @ Temperatura >=100 °C	0.116BTU/lb-°F @ Temperatura >=212 °F	condição desconhecida
	0.519J/g-°C @ Temperatura 150 - 200 °C	0.124BTU/lb-°F @ Temperatura 302 - 392 °F	
	0.599J/g-°C @ Temperatura 350 - 400 °C	0.143BTU/lb-°F @ Temperatura 662 - 752 °F	
Condutividade térmica	51,9W/m-K	360BTU-in/hr-ft²-°F	Aço típico

Propriedades dos Elementos Componentes	Métrica	inglês	COMENTÁRIOS
Carbono, C	0,17 - 0,23%	0,17 - 0,23%	
Ferro, Fe	99.08 - 99.53 %	99.08 - 99.53 %	Como restante
Manganês, Mn	0.30 - 0.60 %	0.30 - 0.60 %	
Fósforo, P	<= 0,040%	<= 0,040%	
Enxofre, S	<= 0,050%	<= 0,050%	

Fonte - MatWeb

A estrutura é composta por um quadro fabricado em aço carbono 1020, como consta na Figura 2 projetado com o propósito específico de sustentar todos os demais sistemas acoplados e de suportar as cargas adicionais exercidas durante o processo de içamento e deslocamento.

Figura 2 - Estrutura do carrinho



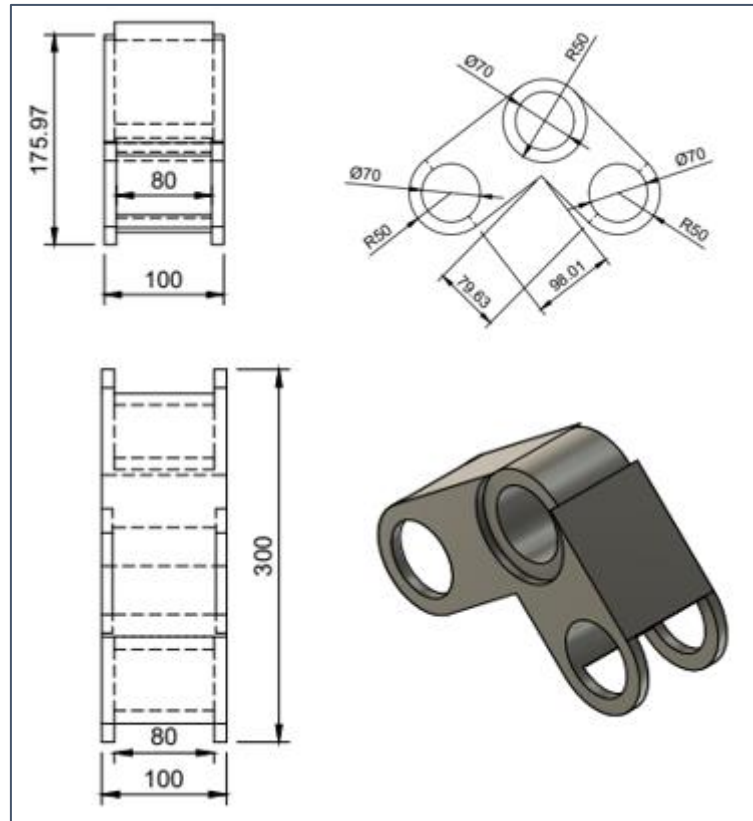
Fonte - Fusion 360 (autor)

Essa estrutura foi concebida tomando como base o design de um carrinho convencional de quatro rodas, com ajustes mínimos para incorporar eficientemente os sistemas de patolagem e içamento na sua porção traseira. Na extremidade frontal da estrutura, mantém-se o sistema de direção e manobras, assemelhando-se ao mecanismo utilizado em carrinhos convencionais de quatro rodas.

3.2 Sistema de Suspensão

A suspensão desempenha um papel crucial na performance e segurança de um carrinho Munck, sendo um componente essencial para lidar com as variações do terreno e as cargas dinâmicas durante as operações de içamento. Ao absorver impactos, suavizar irregularidades do terreno e manter a aderência das rodas, a suspensão desempenha um papel integral na garantia de operações eficientes e seguras, especialmente em ambientes desafiadores. Na Figura 3, é possível visualizar o suporte da suspensão, que posteriormente servirá como base de apoio do feche de mola.

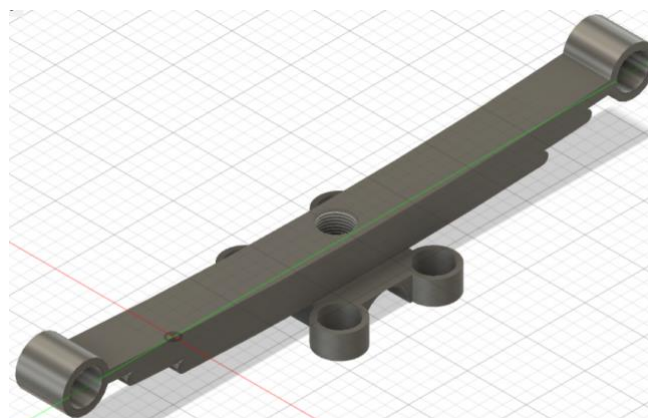
Figura 3 – Suporte suspensão



Fonte - Fusion 360 (autor)

O sistema de suspensão do carrinho Munck desempenha um papel fundamental na atenuação dos impactos gerados pela carga estrutural e pelos objetos içados e transportados. Essa configuração compreende elementos essenciais, como suportes e feches de molas (Figura 4), integrados à estrutura metálica do carrinho e fixados diretamente no eixo. A presença do feche de mola nessa estrutura é de suma importância, visto que tem como função primordial evitar deformações e possíveis cisalhamentos no eixo, resultantes de esforços ou impactos durante as operações. Essa incorporação estratégica do feche de mola contribui significativamente para a preservação da integridade estrutural do carrinho Munck, assegurando não apenas a eficiência operacional, mas também a longevidade do equipamento.

Figura 4 - Feche de mola

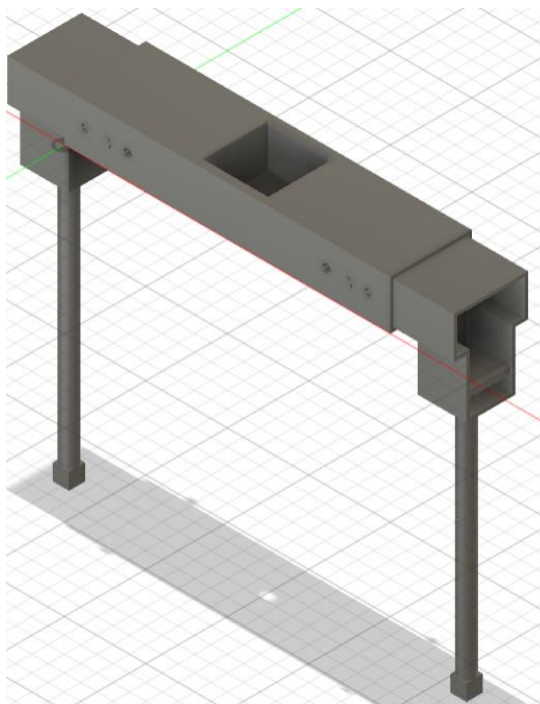


Fonte - Fusion 360 (autor)

3.3 Sistema de Patolagem

A patolagem, no contexto do dimensionamento de um carrinho Munck, emerge como um fator importante que influencia diretamente a estabilidade e segurança das operações. O sistema de patolagem consiste em uma estrutura metálica composta por perfis quadrados em aço carbono 1020 demonstrados na Figura 5, reconhecido por sua elevada resistência a esforços mecânicos.

Figura 5 - Sistema de patolagem



Fonte - Fusion 360 (autor)

Essa estrutura é caracterizada por articulações lateral e vertical, apoiadas por um macaco hidráulico que sustenta as patolas, garantindo a ausência de transferência de esforços para outros sistemas. Essa configuração assegura um içamento seguro da carga, pois envolve dois apoios fixos, sem transmitir carga ao sistema de suspensão e eixos. A carga passa a exercer esforço no quadro e no sistema de suspensão somente após ser devidamente apoiada no quadro, com a patola retirada do suporte fixo do solo.

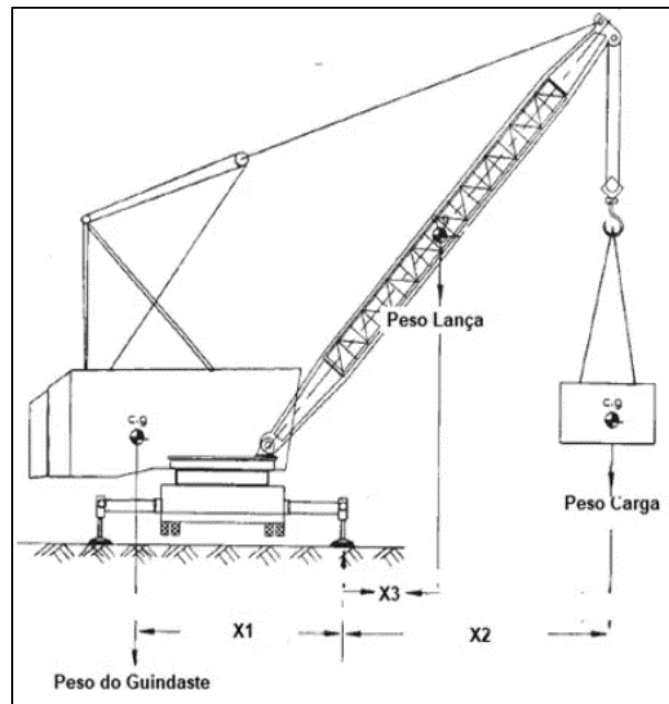
O cálculo de patolagem envolve a análise da distribuição de cargas nas patolas de suporte, considerando fatores como peso da carga, altura de içamento e geometria do sistema. Este cálculo é fundamental para garantir a estabilidade e segurança operacional, evitando inclinações excessivas ou instabilidades durante as operações.

Esse arranjo visa preservar a longevidade dos componentes, mitigando a fadiga do eixo e garantindo uma operação segura e duradoura do carrinho Munck.

A escolha adequada de materiais e a consideração de parâmetros como resistência mecânica contribuem para assegurar que a patolagem seja projetada de maneira eficiente, proporcionando uma base sólida e confiável para o içamento de cargas.

Na Figura 06, é possível observar um sistema que simula um içamento de carga, mostrando como as forças exercidas sobre a patola são essenciais para que exista uma estabilidade ao levantar a peça.

Figura 6 - Sistema de cálculo patola



Fonte - Excel (modificado pelo autor)

Para ter um melhor desempenho durante os momentos de içamento de peça é necessário que os cálculos de dimensionamento estejam feitos de força correta. Para isso são fundamentais as seguintes informações:

- Carga limite (peso máximo admissível);
- Força atuante sobre a patola;
- Área patola necessária para suportar a carga máxima.

Esses cálculos podem ser observados na Figura 07, explicando meticulosamente cada expressão; utilizando como base de cálculos as forças e distâncias da Figura 06.

Figura 7 – Cálculo de Patola

F1	F1= Peso do Guindaste	200
F2	F2 = Peso da Carga + Acessórios de levantamento na pior condição	177,449
F3	F3 = Peso da Lança na pior condição	323
X1	X1= Distancia do CG do guindaste até a Sapata da frente que esta comprimindo ao solo	1,035
X2	X2= Distancia da CG da Carga na pior condição da movimentação ate a sapata que esta comprimindo o solo	0,777
X3	X3= Distancia do CG da Lança ate a sapata que esta comprimindo o solo	0,214
F = Força de compressão atuando sobre a sapata		

Carga Limite é => (peso máximo admissível no limite de tombamento referente a carga+ acessorios)

$$F2 \text{ (carga limite)} = (F1 \cdot X1 - F3 \cdot X3) \div X2$$

=

177

kgf

Convertendo para SI - 1.736 N

F = Força atuando sobre a patola

$$F = F1 + F2 + F3$$

=

700

kgf

Convertendo para SI - 6.865 N

A = Área da patola necessaria para suportaçoão da carga máxima.

$$A = F/2$$

=

350

19

cm

Convertendo para SI - 3500 mm² / 190mm

Fonte - Excel (autor)

Resumindo, para o sistema de patola o dimensionamento adequado seria de:

- **Duas patolas de 3500 mm², ambas com medidas de 190x190 mm.**

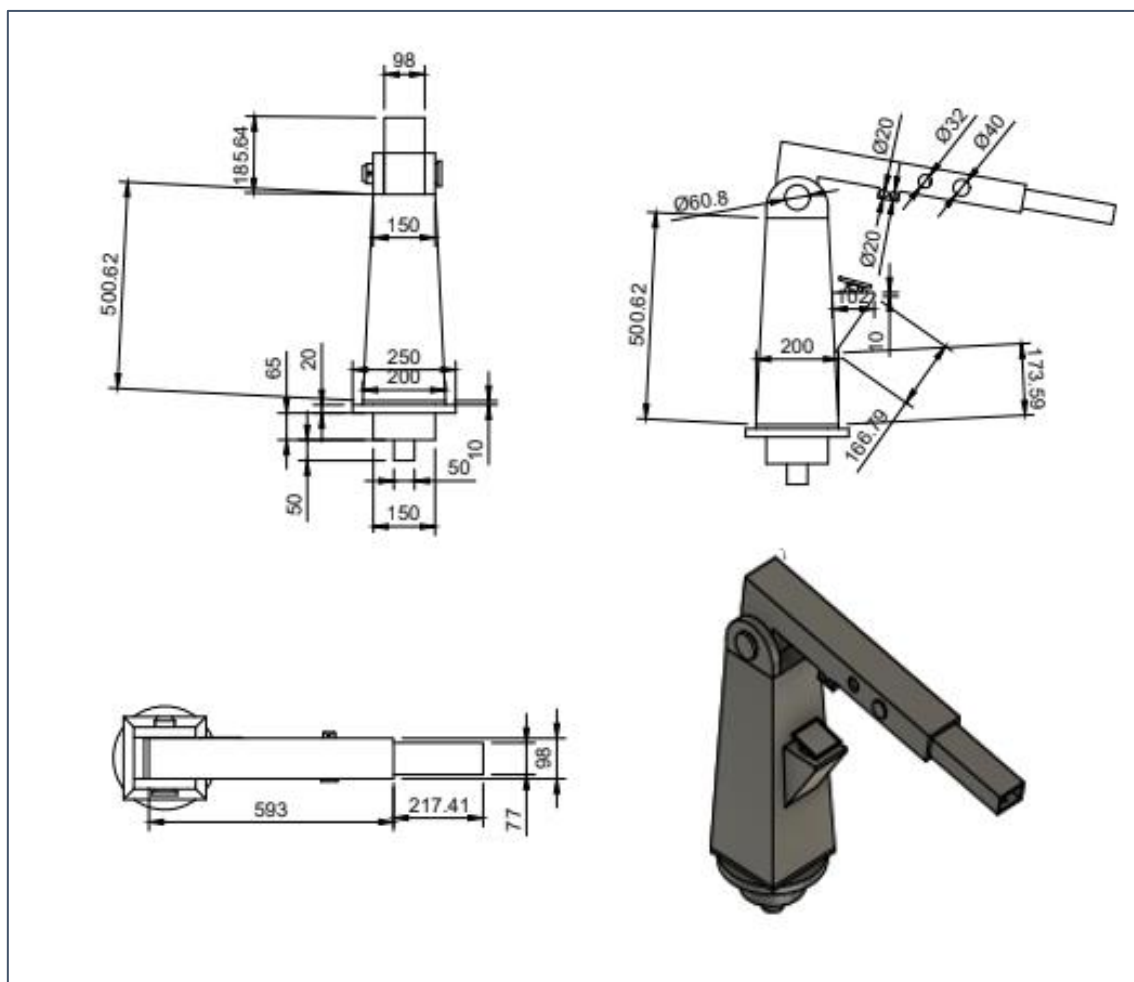
Ao fornecer um suporte robusto e eficaz para a carga, a patola contribui significativamente para a prevenção de inclinações excessivas, garantindo operações de içamento seguras e controladas.

3.4 Sistema de Içamento

O sistema de içamento em um carrinho Munck representa uma peça central na eficiência operacional e versatilidade desse equipamento. Este componente essencial é fundamental para a adaptabilidade e funcionalidade do carrinho Munck, desempenhando um papel indispensável em operações de carga e descarga, movimentação de materiais e diversas outras atividades logísticas.

O Sistema de Içamento é constituído por uma estrutura metálica composta por perfis quadrados em aço carbono 1020, sendo possível a visualização da estrutura na Figura 8.

Figura 8 - Içamento



Fonte - Fusion 360 (autor)

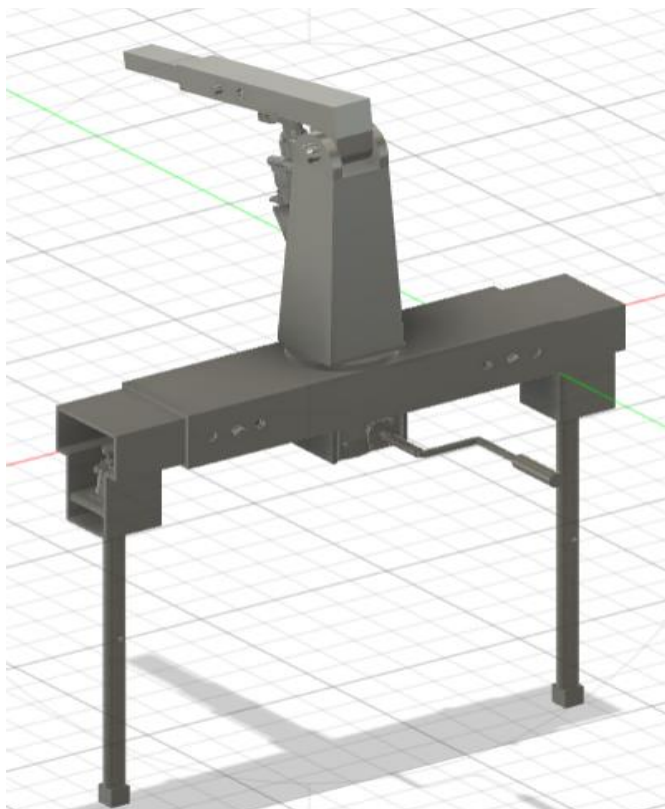
A estrutura inclui uma lança com estágios extensíveis, proporcionando a capacidade de alcançar cargas em distâncias mais significativas. Adicionalmente, integra um macaco hidráulico dedicado à elevação e sustentação segura da carga, transitando de um ponto A para um ponto B.

O sistema também incorpora um mecanismo de giro com caixa. Importante ressaltar que esta configuração é suportada pela estrutura de patolagem, visando uma sustentabilidade mais robusta da carga, ao mesmo tempo que evita a transferência de carga ao sistema de suspensão, promovendo um ambiente operacional seguro e eficiente.

3.5 Sistema de Giro

Sistema de giro constitui em uma caixa de eixo sem fim e coroa acoplado a um eixo de entrada e um de saída chavetado, acionado por manivela – Figura 9. Acoplado e fixado no sistema de patolagem e com o eixo passando para a base do sistema de içamento para que seja feito o giro de carga sem impacto ao sistema da caixa coroa e sem fim – Figura 10, já que a carga é apoiada a um eixo macho do sistema que encaixa na estrutura da patola que segura toda a carga, limitando a caixa coroa e sem fim apenas para giro.

Figura 9 – Sistema de Giro



Fonte - Fusion 360 (autor)

Figura 10 – Sistema coroa sem fim



Fonte - Fusion 360 (autor)

O sistema de giro em um carrinho Munck desempenha um papel crucial na versatilidade e eficiência operacional do equipamento. Permitindo a rotação da carga ou da lança em torno de seu eixo, o sistema de giro possibilita a movimentação precisa e direcionada durante as operações de içamento.

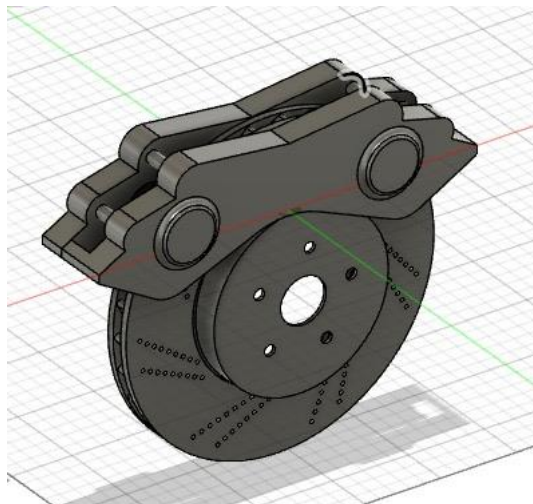
Essa capacidade é essencial para o posicionamento preciso de cargas, facilitando operações logísticas e otimizando o uso do carrinho Munck em ambientes variados.

3.6 Sistema de Frenagem

O sistema de frenagem no carrinho Munck desempenha um papel fundamental na segurança operacional e na preservação dos componentes do equipamento. Projetado para permitir a desaceleração e parada eficientes, esse sistema contribui significativamente para evitar acidentes, reduzir a distância de frenagem e manter o controle durante as operações. Essencial para lidar com cargas substanciais, o sistema de frenagem assegura que o carrinho possa ser imobilizado de maneira segura em diversas condições operacionais. Além disso, sua eficácia contribui para a durabilidade e longevidade do carrinho Munck, minimizando o desgaste excessivo dos componentes mecânicos.

O sistema de frenagem é constituído por discos interligados (Figura 11), que promovem a desaceleração por meio do atrito com pastilhas, acionadas por um cabo conectado a um manete.

Figura 11 - Sistema de Frenagem



Fonte - Fusion 360 (autor)

Este sistema, fundamentado no princípio básico de frenagem empregado em bicicletas e motocicletas, foi concebido com a consideração meticulosa do peso da carga. Em terrenos com pequenos aclives ou declives, o aumento da velocidade pode gerar desafios significativos no controle do transporte de carga.

3.7 Sistema Hidráulico

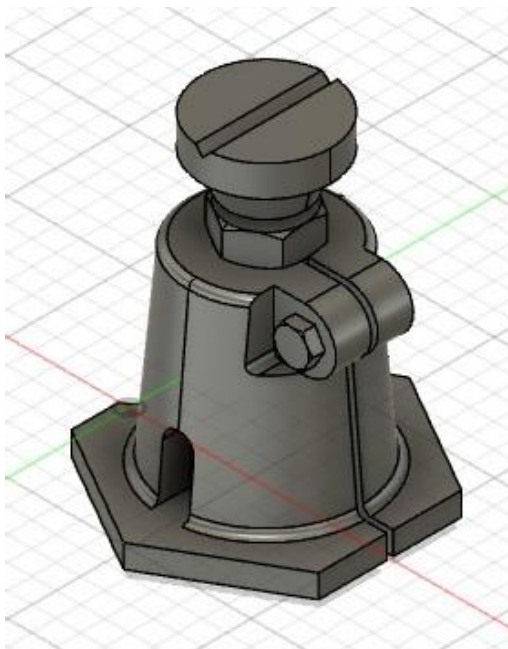
O sistema hidráulico do carrinho Munck compreende um macaco hidráulico que desempenha um papel essencial nas operações de elevação e sustentação de carga. Este sistema utiliza o macaco hidráulico para fornecer a pressão necessária ao levantamento controlado da carga. A utilização do sistema hidráulico confere ao carrinho Munck a

capacidade de içar cargas de maneira eficiente, suave e controlada, proporcionando uma ferramenta versátil para uma variedade de aplicações industriais.

A escolha da carga do macaco hidráulico está diretamente ligada com o peso total suportado pela lança no processo de içamento. Com isso, para o projeto, escolheu-se um macaco com 02 toneladas, seguindo o dimensionamento de carga suportada pela lança – o mesmo será descrito passo a passo no item “4.3 Análise do Cenários”. Ressaltando que se deve escolher um macaco cuja capacidade de carga seja maior que o peso da carga que você planeja manusear.

O modelo de macaco hidráulico escolhido para o projeto, foi o modelo tipo garrafa - dispositivo compacto e eficiente projetado para levantar cargas pesadas em uma variedade de aplicações. O funcionamento do macaco tipo garrafa é geralmente simples e direto, a modelagem do mesmo pode ser vista na Figura 12. Utiliza um pistão hidráulico para levantar a carga, e a liberação controlada é feita por meio de uma válvula.

Figura 12 - Macaco hidráulico tipo garrafa



Fonte - Fusion 360 (autor)

4.Resultados e Discussão

Ao adentrar na análise detalhada dos resultados e discussões que se seguem, explora-se as nuances e implicações que emergem deste estudo dedicado a ampliar o entendimento do dimensionamento de um projeto através dos conceitos de resistência dos materiais.

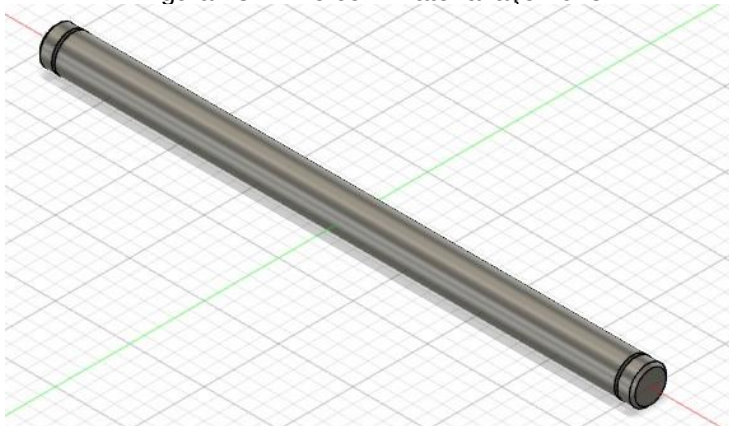
4.1 Cálculo do eixo de rodas

Um eixo, sendo um elemento estrutural que transmite torque e suporta cargas, está constantemente sujeito a forças que podem variar significativamente dependendo da aplicação. Além da garantia de segurança, o cálculo de força em eixos permite otimizar o design, evitando o excesso ou subdimensionamento dos componentes. O equilíbrio preciso entre resistência e eficiência é alcançado por meio de análises cuidadosas, levando em

consideração fatores como material, geometria, condições de carregamento e ambiente de operação.

Para o projeto do Carrinho Munck, foi proposto a utilização do Aço 1045 (Figura 13) para fabricação do eixo; onde o mesmo possui em sua composição química (Figura 14) um teor de carbono de 0,45%.

Figura 13 - Eixo com material aço 1045



Fonte - Fusion 360 (autor)

Figura 14 – Propriedade 1045

Propriedades físicas	Métrica	inglês	COMENTÁRIOS
Density	7.85g/cc	0.284 lb/in³	
Propriedades Mecânicas	Métrica	inglês	COMENTÁRIOS
Hardness, Brinell	179	179	
Hardness, Knoop	200	200	Converted from Brinell
Dureza, Rockwell B	88	88	Converted from Brinell
Hardness, Vickers	188	188	Converted from Brinell
Tensile Strength, Ultimate	625 MPa	90600 psi	
Tensile Strength, Yield	530 MPa	76900 psi	
Elongation at Break	12%	12%	In 50 mm
Redução de Área	35 %	35 %	
Módulo de Elasticidade	206 GPa	29900ksi	
Módulo em massa	163 GPa	23600 ksi	Estimado a partir do módulo elástico
Razão de Poissons	0.29	0.29	Typical for steel
Machinability	55 %	55 %	Based on AISI 1212 steel = 100%
Shear Modulus	80.0 GPa	11600 ksi	Estimated from elastic modulus
Propriedades Elétricas	Métrica	inglês	COMENTÁRIOS
Electrical Resistivity	0.0000162 ohm-cm @ Temperature 0.000 °C	0.0000162 ohm-cm @ Temperature 32.0 °F	espécime recoalhado
	0.0000223 ohm-cm @ Temperatura 100 °C	0.0000223 ohm-cm @ Temperatura 212 °F	espécime recoalhado
Thermal Properties	Métrica	inglês	COMENTÁRIOS
CTE, linear	11.5 µm/m-°C @ Temperature 0.000 - 100 °C	6.39 µin/in-°F @ Temperature 32.0 - 212 °F	
	13.0 µm/m-°C @ Temperature 0.000 - 300 °C	7.22 µin/in-°F @ Temperature 32.0 - 572 °F	
	14.0 µm/m-°C @ Temperature 0.000 - 500 °C	7.78 µin/in-°F @ Temperatura 32.0 - 932 °F	
Specific Heat Capacity	0.486 J/g-°C @ Temperature >=100 °C	0.116 BTU/lb-°F @ Temperatura >=212 °F	annealed
	0.519 J/g-°C @ Temperatura 150 - 200 °C	0.124 BTU/lb-°F @ Temperature 302 - 392 °F	
	0.586 J/g-°C @ Temperature 350 - 400 °C	0.140 BTU/lb-°F @ Temperature 662 - 752 °F	
Condutividade térmica	49.8 W/m-K	346 BTU-in/hr-ft²-°F	Aço típico
Component Elements Properties	Métrica	inglês	COMENTÁRIOS
Carbono, C	0.42 - 0.50 %	0.42 - 0.50 %	
Ferro, Fe	98.51 - 98.98 %	98.51 - 98.98 %	Como restante
Manganês, Mn	0.60 - 0.90 %	0.60 - 0.90 %	
Phosphorus, P	<= 0.040 %	<= 0.040%	
Sulfur, S	<= 0.050 %	<= 0.050 %	

Fonte - MatWeb

Para conseguir os resultados precisos dos esforços sofridos pelo eixo de rodas, são necessários alguns cálculos específicos que posteriormente serão fundamentais para encontrar a Força Cortante e Momento Fletor sofridos pelas forças aplicadas ao eixo.

Utilizando da norma ABNT para Aço 1045, seguem alguns valores técnicos importantes para construção dos esforços sofridos pelo eixo:

- Tensão de Cisalhamento (distribuição de forças que agem paralelamente a uma superfície, resultando em uma deformação angular) = 450.000 kg/m^2
- Força Cortante (opera paralelamente a uma seção transversal de um material, causando deformação angular) = $4.512,6 \text{ N}$ – encontrada a partir da multiplicação das reações de apoio do eixo pela constante $9,81\text{N}$.

Para calcular a área transversal do eixo, é possível utilizar a equação de Tensão de Cisalhamento (1) para encontrar o valor desejado.

$$t = V \div A \quad (1)$$

Onde:

t = tensão de cisalhamento

V = força cortante

A = área transversal

$$450.000 = 4.512,6 \div A$$

$$A = 4.512,6 \div 450.000$$

$$A = 0,010028 \text{ m}^2$$

Dando continuidade nos cálculos, é necessário encontrar o valor do diâmetro do eixo, pois a partir dele será possível realizar os dimensionamentos das forças exercidas sobre o mesmo. Utilizando o valor encontrada da área transversal e aplicando na equação básica do raio do cilindro, encontra-se o valor do raio (2), que posteriormente servirá para calcular o diâmetro.

$$A = \pi r^2 \quad (2)$$

Onde:

A = área transversal

r = raio do eixo

π = constante Pi

$$0,010028 = 3,14 \times (r)^2$$

$$r = \sqrt{(0,010028/3,14)}$$

$$r = 0,0565 \text{ m} **$$

****** Convertendo o raio de metros para milímetros (multiplica-se o mesmo por 1.000), o valor do raio do eixo será de 56,5mm.

Logo encontra-se o valor do diâmetro (3), multiplicando o raio 2x:

$$d = 2 \times r \quad (3)$$

Onde:

d = diâmetro do eixo

r = raio do eixo

$$d = 2 \times 56.5$$

$$d = 113 \text{ mm}$$

4.2 Projeção Estrutural

O diagrama de força cortante e momento fletor são importantes na análise estrutural, oferecendo insights fundamentais sobre o comportamento do eixo sob cargas externas. O diagrama de força cortante representa as forças cortantes ao longo do eixo, enquanto o diagrama de momento fletor mostra os momentos. Essas representações gráficas são essenciais para identificar pontos críticos, como locais de máxima carga, e fornecem informações valiosas para o projeto e dimensionamento da estrutura. Para a construção do Diagrama de Força Cortante e Momento Fletor, se faz necessário a utilização das reações de apoio sofridas pelo eixo, no momento em que a carga está sendo depositada sob o eixo.

Outro ponto muito importante que requer atenção ao se projetar qualquer estrutura, seja ela uma viga ou um eixo como o caso do projeto; o fator de segurança que será aplicado no eixo. No caso o fator de segurança escolhido para este projeto é de 15%, comumente utilizado em projetos que fazem uso do Aço 1045 (inclusive nos testes de tensão do eixo de rodas, simulado no Fusion 360, o próprio software já considera automaticamente os 15%), este valor se encontra ligado diretamente com o valor de Tensão de Cisalhamento.

A Tabela 1 especifica os todos os valores referentes ao eixo de roda, onde os mesmos são necessários para a formação do Diagrama de Força Cortante e Momento Fletor.

Tabela 1- Especificações

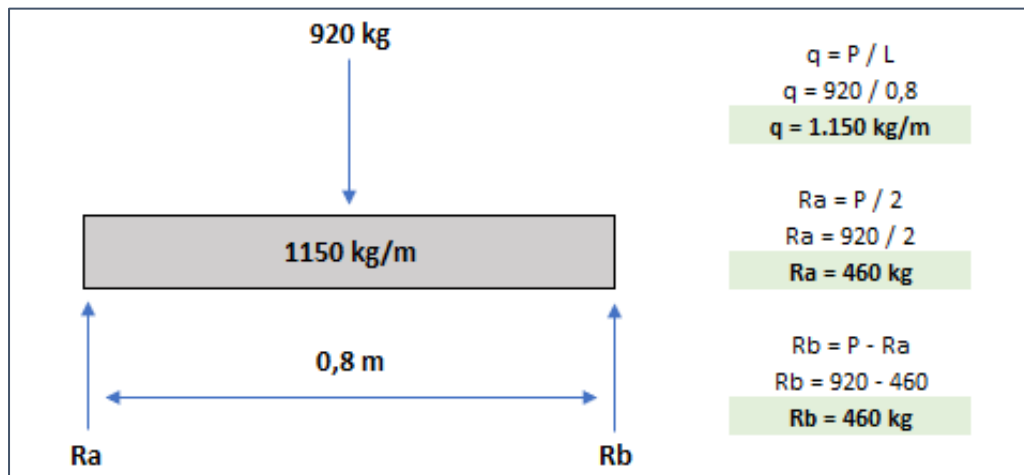
	Fator de Segurança	0,15
Comprimento eixo	L (m)	0,8
Carga **	P (kg)	920
Carga distribuída	q (kg/m)	1.150
Reação ponto A	Ra (kg)	460
Reação ponto B	Rb (kg)	460

Fonte - Autor

** A carga de 920 kg, já está dimensionada com o fator de segurança. Multiplicando o valor de 800kg pelo fator de segurança 1,15.

As reações nos pontos A e B, podem ser calculados através do Diagrama de Corpo Livre, demonstrado no Diagrama 1.

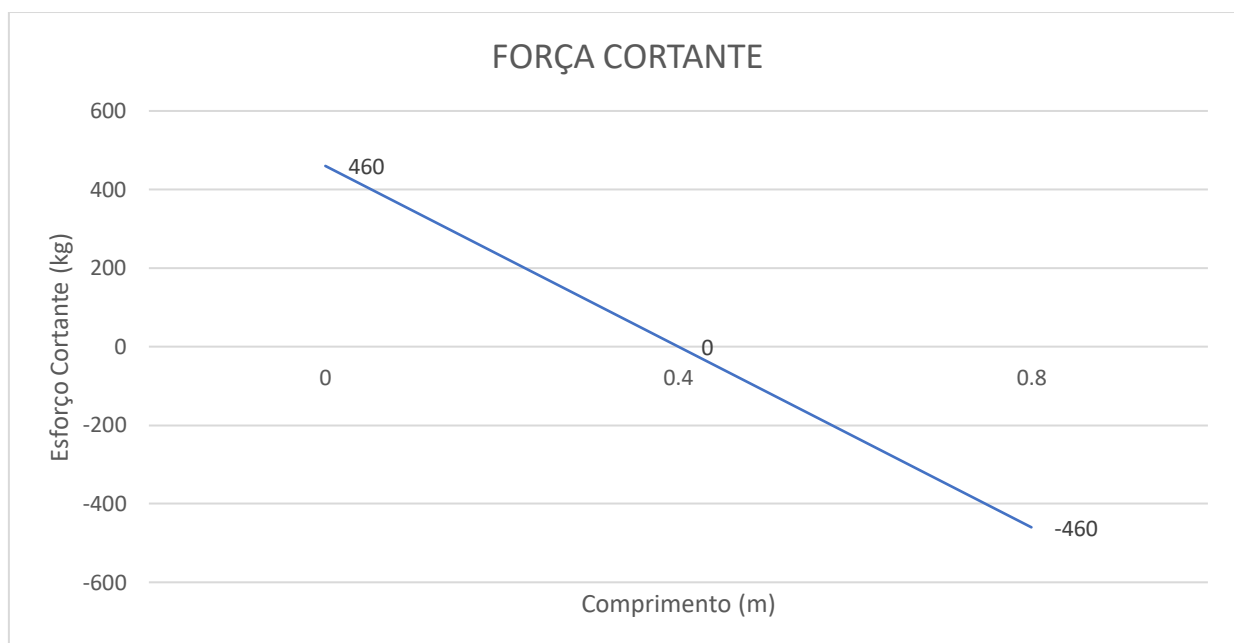
Diagrama 1 - Diagrama Corpo Livre



Fonte - Excel (autor)

Tendo as especificações definidas, o Diagrama de Força cortante pode ser gerado. No caso do projeto do Carrinho Munck observou-se que em três situações ocorreram uma variação de força cortante em momentos no qual as cargas estavam sendo distribuídas, como mostra o Diagrama 2.

Diagrama 2 – Diagrama Força Cortante



Fonte - Excel (autor)

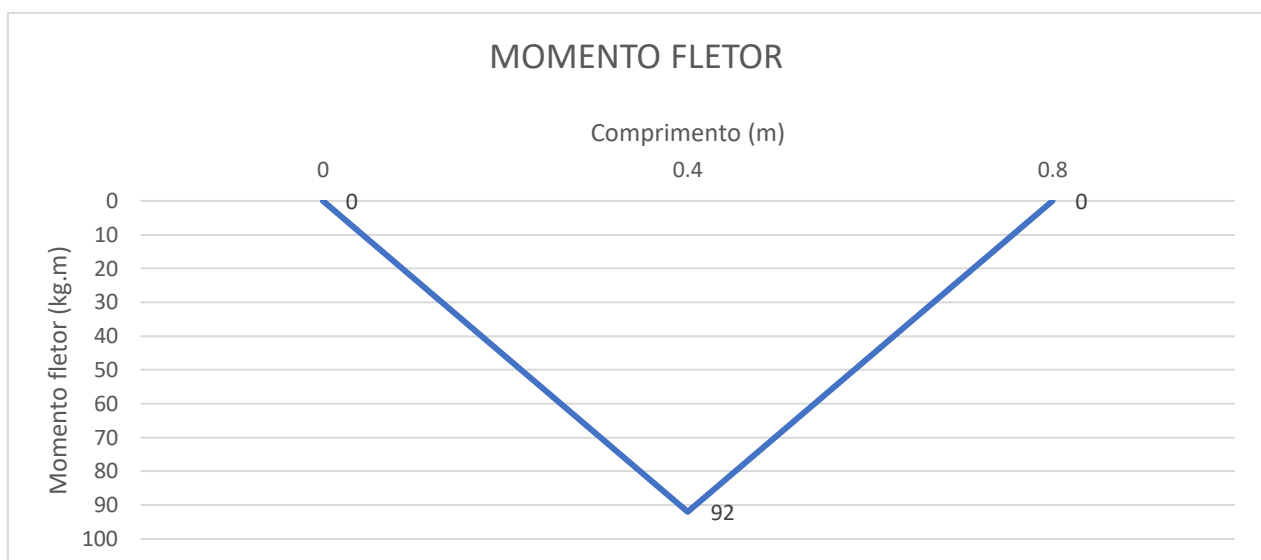
Analisando o Diagrama de Força Cortante, foi possível encontrar as seguintes informações:

- Indicação dos locais no quais o eixo estará sujeito a maior esforço;
- Força cortante passando pelo eixo zero, indicando o ponto de maior momento.

Dando sequência na análise dos esforços sofridos pelo eixo de rodas, é importante se preocupar com a força de torção que causa flexão no eixo. Com isso, a partir dos dados coletados no Diagrama de Força Cortante, se faz possível analisar o Diagrama de Momento Fletor do eixo.

Vale lembrar que no caso da carga ser concentrada (920kgf), o diagrama sempre será uma reta inclinada, como demonstrado no Diagrama 3.

Diagrama 3 – Diagrama Momento Fletor



Fonte - Excel (autor)

Analisando com atenção o Diagrama Momento Fletor, é possível extrair as seguintes informações:

- Momento fletor positivo (côncavo para cima);
- Magnitude do momento fletor, mostrando a variação ao longo do comprimento do eixo, tendo como indicação os valores dispostos ao longo do eixo vertical do diagrama;
- O ponto máximo indica onde o eixo está sujeito a maior esforço;

Em conclusão, os diagramas de força cortante e momento fletor desempenham um papel essencial na análise estrutural e no design de vigas. O diagrama de força cortante revela como as forças de cisalhamento variam ao longo da viga, destacando pontos críticos e ajudando na identificação de cargas concentradas. Já o diagrama de momento fletor

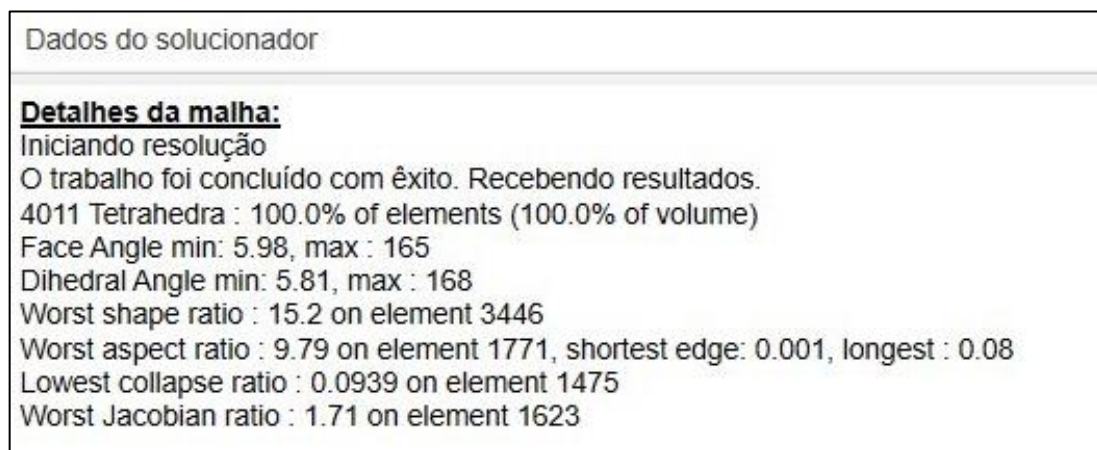
fornece informações sobre as forças de flexão, indicando onde a viga está mais sujeita a curvar-se.

4.3 Ensaio das tensões no eixo de rodas

A realização de ensaios de tensões é uma etapa essencial no processo de projeto e análise de componentes, como o eixo de rodas, no software Fusion 360. Este software oferece ferramentas para simular e avaliar as tensões que um eixo pode experimentar sob diferentes condições de carga e operacionais. Ao conduzir ensaios de tensões, pode-se obter insights valiosos sobre a resistência estrutural do eixo, identificar áreas de potencial falha e realizar ajustes no design para otimizar o desempenho e a durabilidade do componente.

Na Figura 15 é possível verificar os parâmetros da malha, levando em consideração que o eixo de rodas foi projetado com Aço 1045.

Figura 15 - Dados da Malha

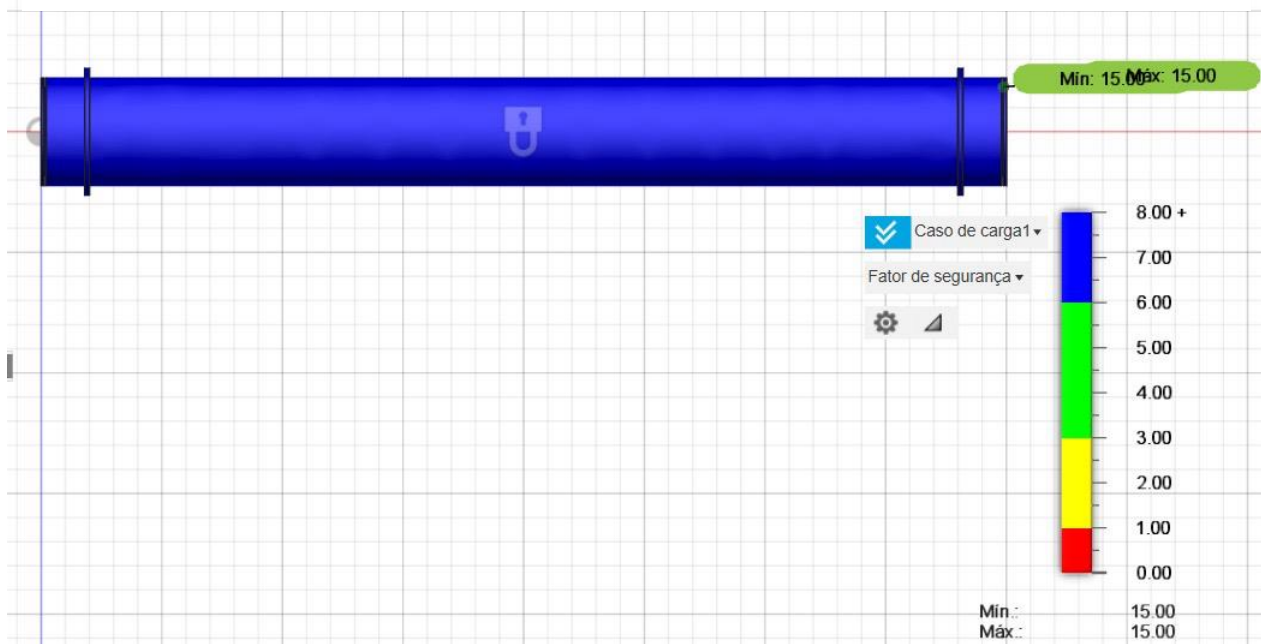


Fonte - Fusion 360 (autor)

Após os dados da malha serem configurados, os ensaios dos esforços podem ser realizados. No caso deste projeto, os ensaios priorizados foram:

- Ensaio aplicando o fator de segurança 15% (Figura 16) - o próprio Fusion já considera este valor automaticamente
- Ensaio de tensão, aplicado nas extremidades do eixo (Figura 17)
- Ensaio de deslocamento total (Figura 18);
- Ensaio de força de reação (Figura 19);
- Ensaio de deformação (Figura 20);

Figura 16 - Ensaio de esforços aplicando Fator de Segurança



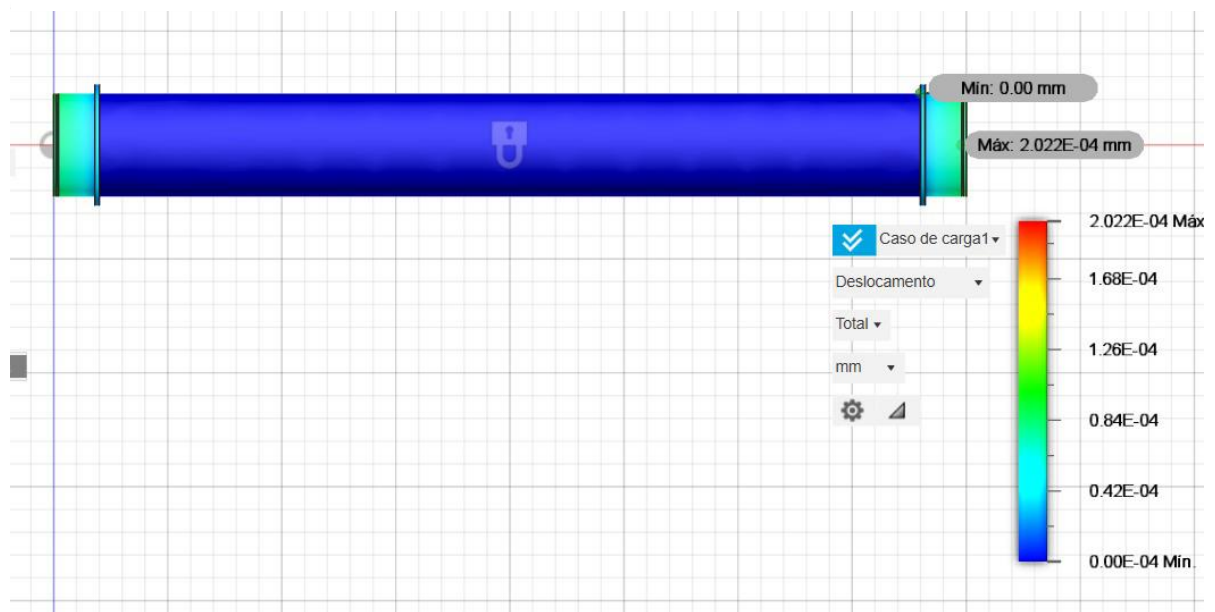
Fonte - Fusion 360 (autor)

Figura 17 - Ensaio de tensão



Fonte - Fusion 360 (autor)

Figura 18 - Ensaio de deslocamento



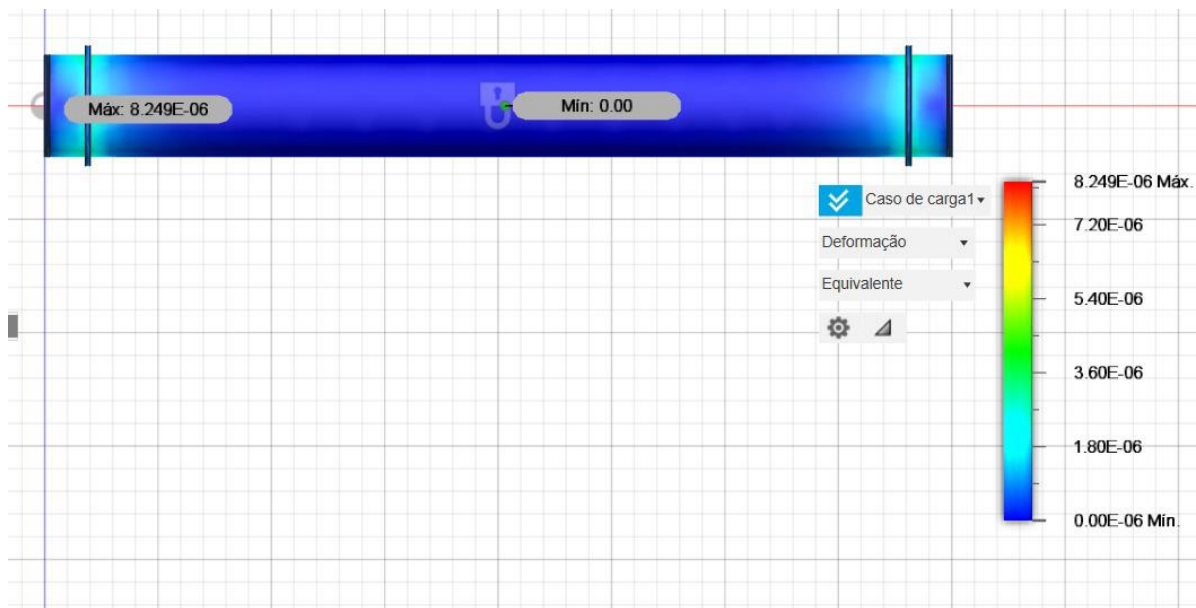
Fonte - Fusion 360 (autor)

Figura 19 - Ensaio de força de reação



Fonte - Fusion 360 (autor)

Figura 20 - Ensaio de deformação



Fonte - Fusion 360 (autor)

Realizando uma análise dos ensaios do eixo de rodas, o mesmo atende uma carga de 800kg ou 920kg (considerando o fator de segurança) por eixo, de carga total do carrinho com 1.600kg. Levando em consideração também, o peso de 300kg que o carrinho suporta no içamento, a estrutura possui um peso de 1.300kg.

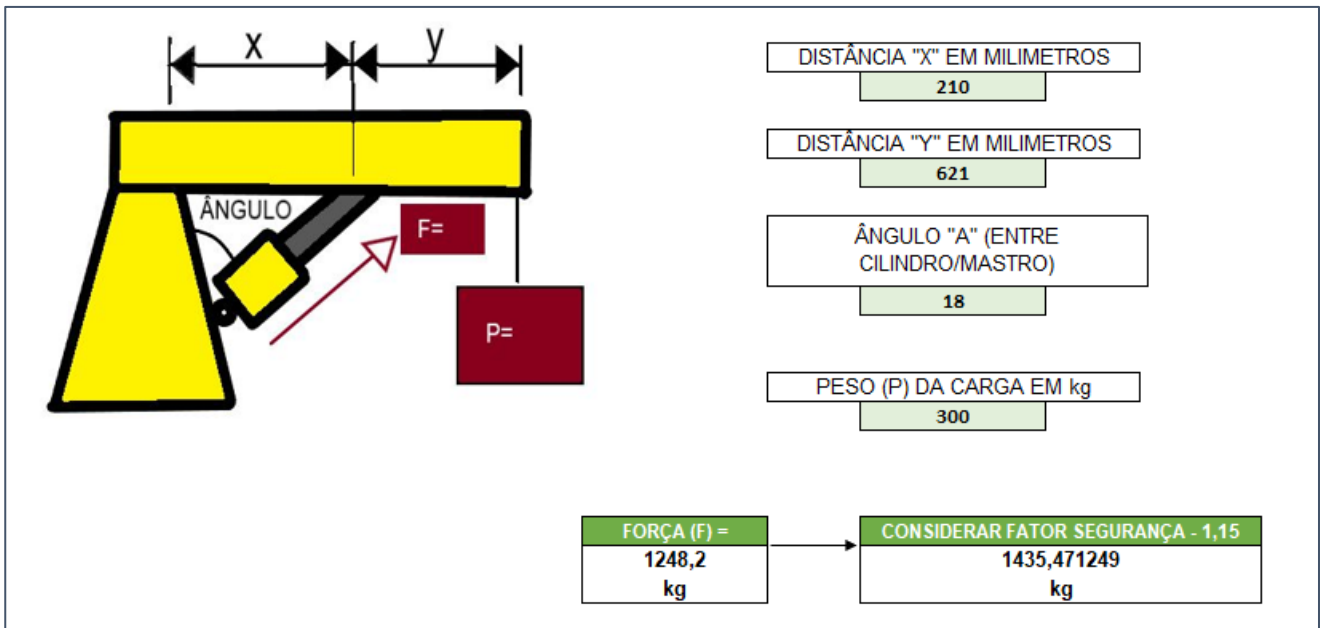
A realização de ensaios de tensão em eixos serve para garantir a integridade estrutural e o desempenho confiável de componentes mecânicos. Essa prática oferece oportunidades essenciais sobre como os eixos respondem a diferentes condições de carga, permitindo ajustes no projeto para otimizar a resistência e evitar falhas prematuras. Em resumo, os ensaios de tensão são fundamentais para assegurar a durabilidade e eficiência dos eixos em diversas aplicações.

4.4 Análise dos cenários

Calcular o valor da carga máxima suportada pela lança do Carrinho Munck é fundamental para garantir a segurança e eficiência das operações de içamento. Essa análise fornece informações cruciais para determinar a capacidade de carga da lança e garantir que ela não seja submetida a esforços superiores aos seus limites de projeto.

A análise foi realizada utilizando o pior cenário (Figura 21), onde "x" representa o encaixe entre o macaco hidráulico e a lança de içamento. Neste cenário o ângulo entre o macaco hidráulico e a base do sistema é de 18°. Com base nesse ângulo, a tendência é realizar mais força no momento de suspensão de carga.

Figura 21- Aplicação de carga



Fonte - Excel (modificado pelo autor)

Segue explicação de como os valores de força e peso foram encontrados;

1. Tendo conhecimento do ângulo entre o cilindro do macaco hidráulico até a base de içamento. A indicação para realizar esse passo está na Figura 21, onde está escrito "Ângulo";
2. Transforma esse ângulo em radianos e posteriormente em número decimal;
3. Esse valor decimal (chamado de x), coloca-se o mesmo em cosseno, ficando assim $\cos(x)$;
4. Após etapa anterior, o resultado de $\cos(x)$ insere no resultado da variável "y";
5. Em seguida, realiza a soma do comprimento total da lança;
6. Logo após, utiliza o valor anterior para dividir pelo comprimento da lança, que na Figura 21, onde está representada pela letra Y;
7. Seguindo, realiza uma multiplicação entre o valor da carga a ser levantado e o valor da do resultado da sequência anterior;
8. Finalizando, utiliza o resultado da sequência anterior e divide o mesmo pelo "y", que foi calculado logo no começo.

Com isso, é possível comprovar que a escolha do macaco hidráulico deve ser acima de 1.248,2 kg carga máxima suportada. Considerando o Fator de Proteção de 15%, o macaco hidráulico deve ter limite de 1.435,47 kg. Contudo, comercialmente é mais fácil encontrar macacos hidráulicos que suportam 2 toneladas.

Resumindo, o Carrinho Munck suporta até 300kg de carga içada, onde o conhecimento preciso deste parâmetro é fundamental para evitar sobrecargas que poderiam resultar em danos à estrutura, falhas operacionais ou até mesmo acidentes. Em resumo, o peso e a força adequados são elementos-chave na operação confiável e segura de carrinhos Munck, assegurando um desempenho eficiente e a segurança de todos os envolvidos.

4.4 Normas de Segurança

A operação de carrinhos Munck está sujeita a várias normas de segurança para garantir a proteção dos operadores, trabalhadores e do ambiente ao redor. Embora as normas possam variar de acordo com o país, região ou setor específico, algumas diretrizes gerais incluem:

- **NR 11 (Norma Regulamentadora 11 - Transporte, Movimentação, Armazenagem e Manuseio de Materiais):** estabelece requisitos para operações com equipamentos como o carrinho Munck, incluindo aspectos relacionados à capacitação de operadores, sinalização, inspeções, entre outros.

- **ISO 4309 - Equipamentos de Elevação: Cordas de Arame - Códigos de Cores, Designações e Indicações de Utilização:** estabelece padrões para identificação e utilização de cabos de aço, que são componentes fundamentais em carrinhos Munck.

- **ABNT NBR ISO 11660-1 - Equipamento de Elevação de Carga e Máquinas de Elevação - Placas de Identificação e Instruções de Segurança - Parte 1: Conteúdo e Regras para Apresentação:** estabelece requisitos para placas de identificação e instruções de segurança em equipamentos de elevação, fornecendo informações cruciais para operadores e pessoal envolvido.

As normas podem variar e é fundamental a sinergia entre as regulamentações locais específicas ao operar Carrinhos Munck. Além disso, a capacitação adequada dos operadores, a manutenção regular do equipamento e a adesão rigorosa às práticas de segurança são essenciais para garantir operações seguras e eficientes.

4.4.1 Boas Práticas

A segurança dos operadores em máquinas de trabalho pesado, como Munck, requer precauções específicas. Assim como em qualquer equipamento, é essencial o uso de Equipamentos de Proteção Individual (EPI), incluindo luvas, óculos de proteção, sapatos fechados antiderrapantes e capacetes com jugular para todos os funcionários.

Esses EPIs desempenham um papel crucial na redução significativa dos danos causados por acidentes no local de trabalho. Recomenda-se operar o carrinho com cargas entre 70% e 80% de sua capacidade total. Caso haja variações no peso dos materiais transportados, é necessário considerar a substituição do modelo de caminhão. Antes de iniciar as operações, é imperativo realizar um estudo para avaliar se o terreno suporta adequadamente grandes cargas.

A atenção dedicada a essas medidas de segurança reflete o compromisso com a saúde e o bem-estar dos funcionários.

4.5 Protótipo final

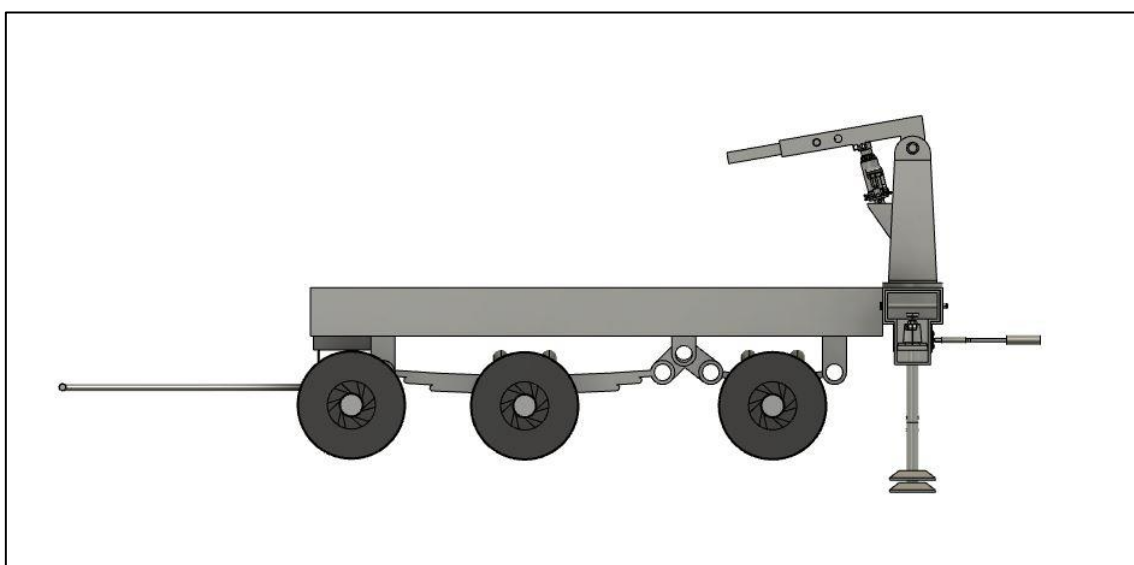
O protótipo final do Carrinho Munck, meticulosamente concebido e desenvolvido no software Fusion 360, incorpora uma estrutura principal fabricada em aço carbono 1020,

onde a escolha desse material proporciona uma base robusta e durável, capaz de suportar cargas substanciais durante as operações de içamento.

Destacando também o eixo central do carrinho, construído com aço 1045, uma liga que oferece alta resistência e tenacidade. A utilização do aço 1045 no eixo assegura não apenas a integridade estrutural necessária, mas também proporciona uma solução confiável para resistir aos esforços associados às demandas operacionais variadas.

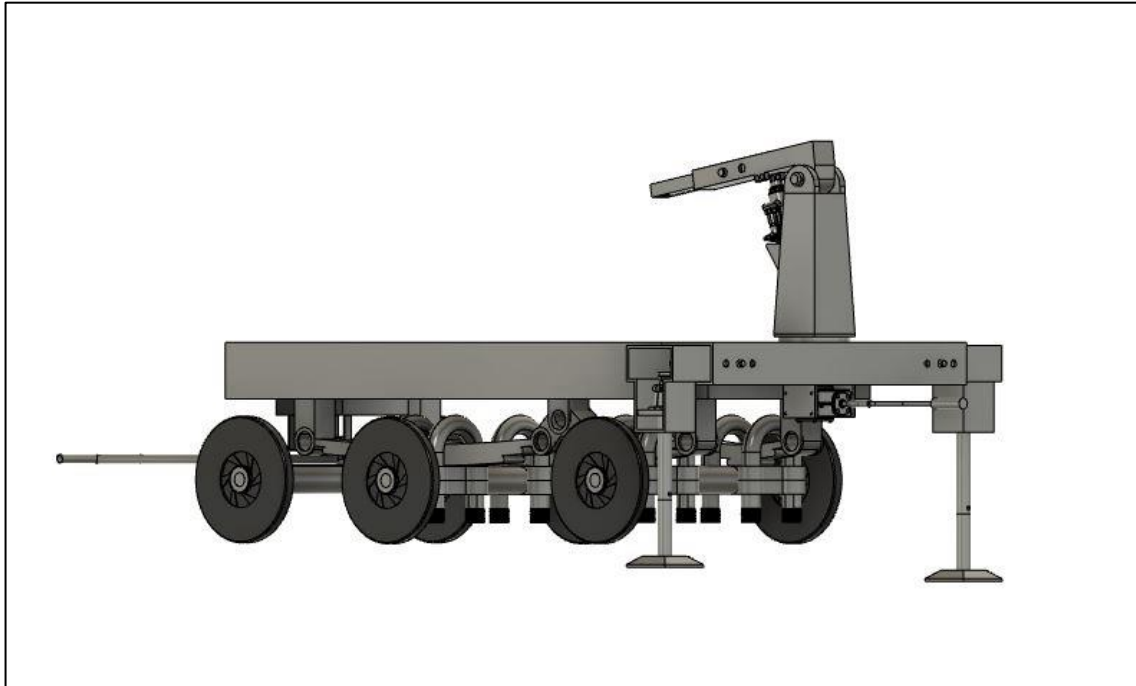
Protótipos como este representam o compromisso contínuo da indústria em aprimorar a eficiência operacional, garantir a conformidade com normas de segurança e oferecer soluções robustas para diversas necessidades logísticas. Este Carrinho Munck em fase inicial reflete o potencial de inovação na movimentação de cargas e destaca o papel crucial da pesquisa e do desenvolvimento na evolução constante desses equipamentos essenciais para o transporte de cargas em diversos setores. Nas Figuras 22, 23, 24 e 25, é possível visualizar a junção de todos os sistemas citados anteriormente no tópico “3. Materias e Métodos”, formando assim o Carrinho Munck em formato de protótipo virtual. A modelagem no Fusion 360 permitiu a visualização tridimensional precisa do carrinho Munck, considerando detalhes como a geometria da lança, o sistema de patolagem, o sistema de giro, entre outros elementos cruciais.

Figura 22 - Carrinho Munck



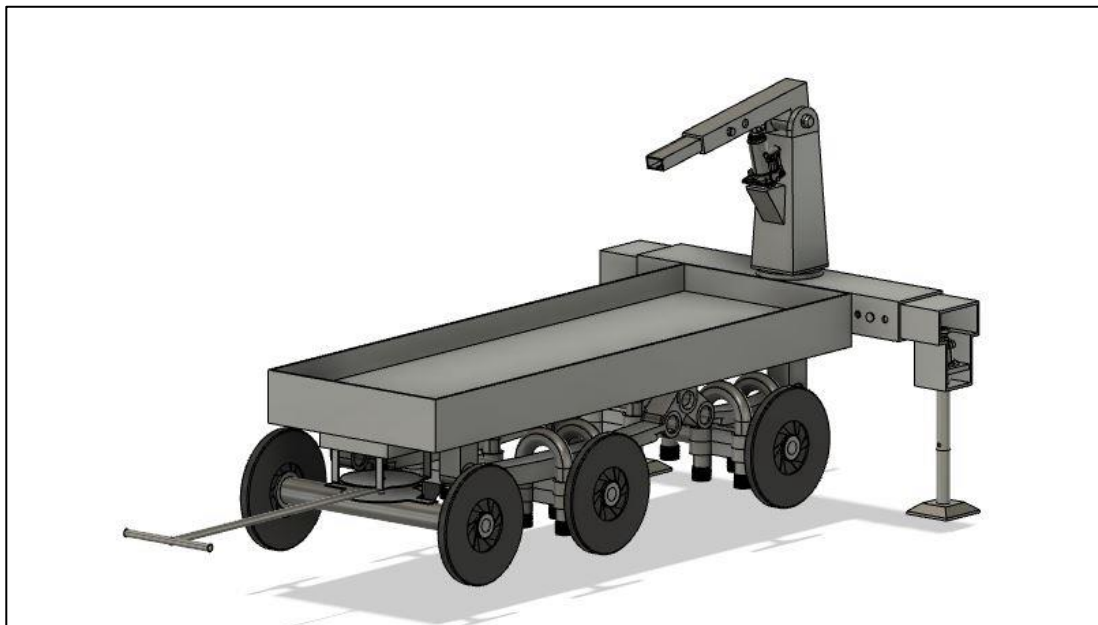
Fonte - Fusion 360 (autor)

Figura 23 – Carrinho Munck



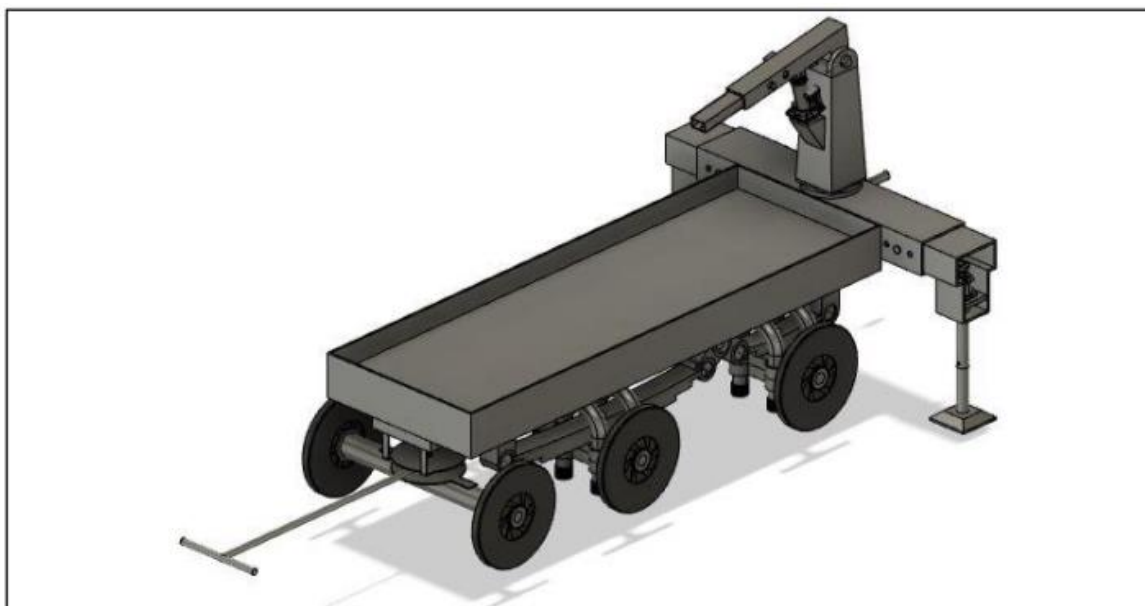
Fonte – Fusion 360 (autor)

Figura 24 – Carrinho Munck



Fonte - Fusion 360 (autor)

Figura 25 – Carrinho Munck



Fonte – Fusion 360 (autor)

A simulação de tensões no software proporcionou uma análise detalhada da resistência do material, garantindo a segurança e eficiência operacional do protótipo.

Este projeto representa um avanço significativo na engenharia de carrinhos Munck, incorporando tecnologia avançada para otimizar o desempenho e a durabilidade. Este carrinho Munck representa não apenas uma realização técnica, mas também um compromisso com a excelência na manipulação eficiente e segura de cargas industriais.

5.Considerações Finais/Conclusões

Ao longo deste trabalho, explora-se de maneira abrangente os desafios e considerações fundamentais envolvidos no planejamento e dimensionamento de um Carrinho Munck, aplicando de forma específica os princípios da resistência dos materiais. O cerne deste estudo foi a compreensão da interação entre as cargas operacionais, os materiais utilizados e a necessidade de garantir não apenas a funcionalidade eficiente, mas também a segurança estrutural do equipamento.

Durante o processo de desenvolvimento, depararam-se com desafios que demandaram uma abordagem inovadora e adaptativa. A necessidade de equilibrar a eficiência operacional com a capacidade estrutural exigiu uma cuidadosa ponderação dos materiais, geometrias e técnicas construtivas.

O estudo realizado não apenas resultou na concepção de um Carrinho Munck otimizado para suas funções específicas, mas também contribuiu para o corpo de conhecimento na

área de engenharia mecânica e estrutural. A aplicação dos conceitos de resistência dos materiais não apenas assegurou a robustez do projeto, mas também serviu como uma ponte entre a teoria e a prática, ressaltando a importância de uma abordagem holística no desenvolvimento de equipamentos dessa natureza.

Ao longo deste trabalho, a modelagem se revelou como uma ferramenta essencial, permitindo uma abordagem sistemática, análise detalhada e refinamento iterativo. A utilização de técnicas de modelagem proporcionou uma compreensão abrangente do problema em questão, orientando as fases iniciais do processo de design. A representação visual e virtual do protótipo permitiu uma análise crítica antes da implementação física, resultando em economia de recursos e tempo.

Logo, a integração dos conceitos de resistência dos materiais e modelagem no planejamento e dimensionamento do Carrinho Munck não apenas conferiu solidez técnica ao projeto, mas também ressaltou a necessidade de uma abordagem multidisciplinar e inovadora para enfrentar os desafios na engenharia mecânica. Este trabalho, portanto, não apenas representa uma contribuição para a literatura acadêmica, mas também um passo significativo em direção à melhoria contínua na concepção de equipamentos industriais robustos e seguros.

6. Referências Bibliográficas

Livro

BEER, Ferdinand Pierre; **JOHNSTON**, E. Russel; **DEWOLF**, John T. **Resistência dos materiais**. 3. ed. São Paulo: McGraw Hill, 2006

HIBBELER, R. C. **Resistência dos materiais**. 7. ed. São Paulo: Pearson Education: Prentice-Hall, 2010.

SEVERINO, Daniel de Moraes. **Autodesk Fusion 360: modelamento, montagens e design**. 1. ed. São Paulo: Érica, 2018.

NOVIKOV, I., **Teoria dos Tratamentos Térmicos dos Metais**, Rio de Janeiro, Editora UFRJ, 1994.

Internet

BARBOSA, Juarez. Cálculo da área de “Patolamento de Guindastes”. Consultoria Engenharia, 2018. Disponível em: <https://consultoriaengenharia.com.br/seguranca-ocupacional/calculo-da-area-de-patolamento-de-guindastes/>. Acesso em: 05 nov. 2023

Certificações de segurança para caminhão Munck. Empilhatec, 2021. Disponível em: <https://www.empilhatec.com.br/post/certificacoes-seguranca-munck-1#:~:text=NBR%2014768,sobre%20ve%C3%ADculos%20ou%20bases%20fixas>. Acesso em: 28 out. 2023.

COELHO, Beatriz. Como fazer as referências de site nas normas ABNT? Mettzer, 2017. Disponível em: <https://blog.mettzer.com/referencia-de-sites-e-artigos-online/#:~:text=AUTOR%20OU%20ORGANIZA%C3%87%C3%83O.-,Nome%20do%20site%2C%20ano.,%3A%20dia%2C%20m%C3%AAs%20e%20ano>. Acesso em: 28 out. 2023

Como alternar entre modelagem direta e paramétrica no Fusion 360. Autodesk, 2023.

Disponível em:

<https://www.autodesk.com.br/support/technical/article/caas/sfdcarticles/sfdcarticles/PTB/How-to-switch-between-a-parametric-or-direct-modeling-environment-in-Autodesk-Fusion-360.html>. Acesso em: 21 out. 2023

MatWeb, Your Souerce for Materials Information. MatWeb, 2023. Disponível em:

<https://www.matweb.com>. Acesso em: 21 nov. 2023

O que é coroa e o parafuso com rosca sem-fim? IBR Redutores, 2018. Disponível em:

<https://www.redutoresibr.com.br/noticia/o-que-e-coroa-e-o-parafuso-com-rosca-sem-fim->. Acesso em: 05 nov. 2023.

Propriedades Mecânicas e Geométricas dos Perfis Estruturais. Curso de Projeto e Cálculo de Estruturas Metálicas. [S.I.]. Calculista de Aço, 2017. Disponível em:

<https://calculistadeaco.com.br/wp-content/uploads/2017/03/Aula-2-Propriedades-Mec%C3%A2nicas-e-Geom%C3%A9tricas-dos-A%C3%A7os-Estruturais.pdf>. Acesso em: 05 nov. 2023.