

Faculdade Evangélica de Goianésia - FACEG
Curso de Engenharia Mecânica

LUCAS GABRIEL DE OLIVEIRA SILVA
LUIZ PAULO DE SOUZA DIAS

PROJETO DE UM PROTÓTIPO DE GUINDASTE TOMBADOR LATERAL (HILO)

Publicação Nº 03

Goianésia - GO
2024

FICHA CATALOGRÁFICA

SILVA, LUCAS GABRIEL;
DIAS, LUIZ PAULO

Projeto Guindaste tombador lateral (HILO), 2024, (ENG/FACEG, Bacharel, Engenharia Mecânica, 2024).

ARTIGO – FACEG – FACULDADE EVANGÉLICA DE GOIANÉSIA

Curso de Engenharia Mecânica.

- | | |
|------------------------|---------------------|
| 1. Máquina de elevação | 3. Fabricação |
| 2. Dimensionamento | 4. Custos |
| I. ENM/FACEG | II. Protótipo (10°) |

REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA

SILVA, L.G e DIAS, L.P. Projeto Guindaste Tombador Lateral (HILO), Publicação – 2024/1
Curso de Engenharia Mecânica, Faculdade Evangélica de Goianésia – FACEG, Goianésia,
GO. 2024.

CESSÃO DE DIREITOS

NOME DO AUTOR: Lucas Gabriel de Oliveira Silva;

Luiz Paulo de Souza Dias

TÍTULO DO TRABALHO DO ARTIGO: Projeto Guindaste Tombador Lateral

GRAU: Bacharel em Engenharia Mecânica ANO: 2024

É concedida à Faculdade Evangélica de Goianésia - FACEG a permissão para reproduzir cópias deste TCC e para emprestar ou vender tais cópias somente para pro2pósitos acadêmicos e científicos. O autor reserva outros direitos de publicação e nenhuma parte deste TCC pode ser reproduzida sem a autorização por escrito do autor.

Assinado digitalmente na ZapSign por
LUCAS GABRIEL DE OLIVEIRA SILVA
Data: 26/06/2024 13:46:02.725 (UTC-0300)

Lucas Gabriel De Oliveira Silva

Lucas Gabriel de Oliveira Silva
Goianésia/GO Brasil

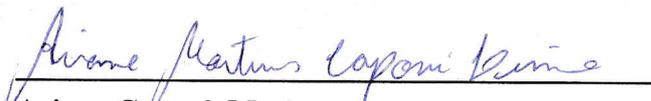


Assinado digitalmente
Luiz Paulo de Souza D
Data: 26/06/2024 21:45:0

Luiz Paulo Dias
Goianésia/GO Brasil

**TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO, EM FORMA DE ARTIGO,
SUBMETIDO AO CURSO DE ENGENHARIA MECÂNICA DA FACEG**

Aprovados por:



**Ariane Caponi, Mestra
(ORIENTADOR)**



**Marinés Gomes, Doutora
(EXAMINADOR INTERNO)**



**Ivandro Rocha, Mestre
(EXAMINADOR INTERNO)**

PROJETO GUINDASTE TOMBADOR LATERAL (HILO)

Lucas Gabriel de Oliveira Silva¹, Luiz Paulo de Souza Dias²
e Ariane Martins Caponi Lima³

¹Acadêmico de Engenharia Mecânica /FACEG Email: lucas.gabriel133@gmail.com

²Acadêmico de Engenharia Mecânica /FACEG Email: lpdiaslpdias@gmail.com

³Orientador(a) e Professor(a) do Curso de Engenharia Mecânica/FACEG Email: ariane.lima@faceg.edu.br

RESUMO: O setor sucroalcooleiro e sucroenergético apresenta grande evolução na expansão industrial com o aumento crescente de produção de produtos alimentícios, combustível e energia limpa e renovável, e esta evolução na indústria implica uma demanda de atualização nos equipamentos deste segmento, seja estrutural ou tecnológico. Este estudo visa dimensionar estruturalmente os componentes do guindaste tombador lateral, equipamento que descarrega vagões de cana, melhorando a aplicabilidade e a redução de desperdícios de matéria prima no descarregamento da carga, um vagão com 40 toneladas de cana. Foi levado em consideração para o projeto estrutural o atendimento pleno as normas vigentes da ABNT, também foi executado simulações nos pontos críticos da estrutura utilizando o software. Como fator imprescindível para concepção do projeto foi revisto o material utilizado, o custo de produção e a manutenibilidade, melhorando a confiabilidade do sistema. A perda de eficiência e aplicabilidade torna-se fatores preocupantes nesta operação principalmente por se tratar de um equipamento essencial para o descarregamento de cana de açúcar. Com o intuito de compreender as razões para o desperdício de matéria prima foi iniciado este estudo e observado as análises até a confiabilidade estrutural. Esta abordagem visa aumentar a eficiência e precisão na construção do equipamento real. Após a concepção e análise crítica de projeto constatamos que falhas no dimensionamento pode tornar crescente a tendência de rupturas nos pontos críticos das ligações estrutural e base do equipamento. Testes empíricos foram realizados com um protótipo fabricado o que possibilitou a fase analítica operacional projeto.

Palavras-chave: Máquina de Elevação; Dimensionamento; Fabricação; Custos.

ABSTRACT: The sugarcane-alcohol and Sucoenergetic sector are showing significant evolution in industrial expansion with the increasing production of food products, fuel, and clean, renewable energy. This evolution in the industry implies a demand for updates in the equipment of this sector, whether structurally or technologically. This study aims to dimension structurally the components of the lateral tipping crane, improving its applicability and reducing raw material waste during the unloading of a 40-ton sugarcane wagon. The structural design will fully comply with the current ABNT standards, with mechanical tests also conducted on critical points of the structure using computational applications. As an essential factor for the project's conception, the material used, production cost, and maintainability will be reviewed, enhancing the system's reliability. The loss of efficiency and applicability becomes concerning factors in this operation, primarily because it deals with essential equipment for unloading sugarcane in Sucoenergetic industries. With the aim of understanding the reasons for raw material waste, this study was initiated, culminating in analyzes up to structural reliability. This approach aims to increase efficiency and precision in the construction of the current equipment. After the conception and critical project analysis, it was observed that failures in dimensioning can increase the tendency for ruptures at critical points of the structural connections and the equipment's base. Empirical tests were conducted with a prototype, enabling the operational and analytical phase of the project.

Keywords: Lifting Machine; Dimensioning; Manufacturing; Costs

1. INTRODUÇÃO

Mundialmente o Brasil é referência e pioneiro em produção de cana-de-açúcar e produtos derivados, setor de altíssima relevância para os negócios brasileiros, sendo protagonista fundamental no mercado agrícola e na economia do país [1] As indústrias sucroalcooleiras estão em constante busca de inovação e tecnologia e tem por seu principal tema a entrega de energia limpa e sustentável com o mínimo de perda, e na qual cada etapa do processo tem sua grande importância, o que contribui significante no resultado do produto final.

A operação de elevação de carga desempenha um importante papel na indústria sucroalcooleira, sendo fundamental a eficiência operacional e a segurança nos processos, exigindo aprimoramento contínuo de eficiência global e a garantia da segurança nos procedimentos. As

máquinas de elevação e transporte são empregadas para mover cargas em estabelecimentos ou áreas, departamentos, fábricas e indústrias, nos locais de construções, de armazém e recarga.[2] A engenharia mecânica, ao explorar os fundamentos da elevação de carga, destaca a importância da otimização dos equipamentos envolvidos nessa atividade visando minimizar as perdas e riscos operacionais.

Com o decorrer das necessidades de evolução de produção e da tecnologia surgem diversos tipos de máquinas de elevação e transporte para atender aos diferentes tipos de manipulações e transporte de carga, tais como: guindastes que se movem sobre trilhos de rolamentos ou guindastes em balanço; grupos de guindastes sem trilhos composto por guindastes de coluna montado em truques; grupos de guindastes montados em

esteiras; grupo de guindaste em ponte ou guindastes em trilhos suspensos. O grupo de máquinas de elevação também inclui tipos especiais de máquinas, destinadas a trabalhos definidos e muitas vezes para trabalhos específicos em aplicações industriais [2].

O guindaste tombador lateral Hilo mecânico desempenha uma função única e especializada para o processamento da cana de açúcar, que é o descarregamento de vagões, num ambiente de produção puxada, e rigoroso trabalho contínuo sem paradas programadas, dedicando exclusivamente ao descarregamento da cana de açúcar na mesa alimentadora. Esta singularidade destaca a importância evolutiva na precisão do manuseio da matéria prima junto com a garantia da disponibilidade dos equipamentos na indústria, estabilizado com a segurança e eficiência industrial, caracterizando uma ferramenta fundamental e estratégica na etapa inicial do processamento da cana com a alimentação primária das mesas e desfibrção seguindo para a extração [3].

O sistema de transporte empregado, é significativamente afetado pelos processos de carregamento e descarregamento, o principal objetivo dos sistemas de transporte é transportar a cana e manuseá-la de forma eficiente com custos mínimos. O processo de transporte da cana se inicia no campo, anteriormente aos moldes manuais de corte e carregamento o que resultava numa cana mais limpa que é transportada de forma integral ou inteira. Esta configuração evidencia a utilização prioritária manual onde impacta significativamente no aumento do custo de mão de obra os riscos à segurança, perdas no processo e dificuldades na manipulação de descarregamento [4]. Neste formato de produção caracteriza uma carga volumosa prejudicando o transporte do campo para a indústria e no descarregamento da carga na indústria.

A alta demanda por aumento de produção e soluções no processo a tecnologia permitiu mecanizar esta etapa, e com a automatização tornou este processo mais preciso e eficiente. As colhedoras e transbordos automáticos guiados por Sistema de Posicionamento

Global (GPS) preparam a cana de forma picada, melhorando o manuseio no carregamento e descarregamento dos vagões, tornando-o mais precisos e eficientes, facilitando no processo de preparo e extração de moagem [5]. Com o avanço da tecnologia e a necessidade em atender a demanda de produção das indústrias sucroalcooleiras, os Guindastes de descarregamento de vagões ou Hilos Mecânicos foram atualizados com melhorias nas características de trabalho e operação, estrutural e geométrica, nos componentes de acionamentos e atuadores.

A importância deste sistema de descarregamento de vagões no recebimento da cana de açúcar evidencia a preocupação com o mínimo desperdício, o custo de manutenção minimizado e acidente zero. Considerando as atualizações e implementações já realizadas nos componentes elétricos e acionadores, este guindaste constitui basicamente o conceito característico de bascular vagões ou trelias de cana de açúcar, e é exigido que esta estrutura metálica deve ser dimensionada em concordância com a necessidade de produção e a carga que será elevada, também levando em consideração que a base da estrutura receberá todo o carregamento da torre e das forças aplicadas no momento da elevação da carga, que no decorrer do desempenho do trabalho pode ser comprometido levando a fadigas que podem evoluir a falhas ou rupturas nos pontos críticos. Desta forma se dá a necessidade do dimensionamento adequado deste equipamento em projeto. Nesta natureza, as tarefas deste projeto devem ser em fases que possam ser repetidas ao longo da vida ou utilização do produto, desde a sua concepção à sua utilização, sendo analisada e registrada cada etapa do projeto [6].

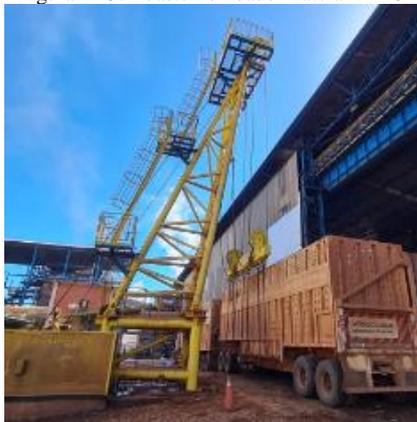
A utilização do modelo para este projeto já está em uso em algumas usinas, e para definição das melhorias propostas o seu sucesso depende tanto de experiências como de habilidades já vivenciadas.

2. REFERENCIAL TEÓRICO

Levando em consideração de projetos já antes desenvolvidos que atendem a vários tipos de solicitações em diversas aplicações desta natureza, os guindastes são amplamente utilizados neste processo de descarregamento tendo em vista a diversidade e modelos projetados a satisfazer as necessidades de produção em diversas regiões operacionais dentro dos orçamentos permitidos [4]. Entretanto, *retrofit's (Materiais adicionados que não fazem partes do projeto original)* e atualizações tornam necessários para melhorar a basculação dos vagões e diminuir o desperdício de matéria prima no ato do descarregamento, também para diminuir a atuação do trabalho manual e elevar a segurança operacional. Neste caso a máquina de elevação e transporte deverá satisfazer a todas as exigências dos processos de produção e assegurar, ao mesmo tempo, um alto grau de mecanização segura das mais favoráveis condições de trabalho [2].

O tombador lateral é um equipamento classificado na categoria de movimentação de carga, especificamente projetado para realizar uma função específica nos ambientes sucroalcooleiros como mostrado na figura 1, o estabilizador suspenso é engastado por correntes e ganchos nos vagões para o descarregamento nas mesas alimentadoras. Este sistema de descarregamento está passivo de receber modificações e algumas delas para garantir a resistência, bem como nos pinos engastados na parte inferior do guindaste [8].

Figura 1: Guindaste Tombador Lateral HILO



Fonte: Próprios autores, 2024

Este modelo de tombador lateral é projetado para içar cargas alocadas em vagões articuladas lateralmente. Entanto, o sistema de correntes resulta em perdas maiores de receita, uma vez que a massa de carga útil permitida é reduzida resultando num derramamento ineficiente, o que por sua vez aumenta a probabilidade de derramamento da carga de fora da mesa e desta forma resulta em limpeza recorrente após o descarregamento da carga. Este sistema foi utilizado por décadas em diversas regiões na América e África do Sul [4].

No âmbito industrial, a engenharia mecânica participa e desenvolve melhorias nos elevadores de carga onde a exposição a diversas aplicações, cria-se melhorias aprimorando o desempenho de tarefas específicas. O tombador lateral desempenha uma atividade exclusiva no segmento. No entanto, o desempenho eficiente desta tarefa depende da integridade de um sistema complexo, composto por vários dispositivos e componentes, todos essenciais para garantir tanto a segurança quanto a eficiência operacional. Este sistema inclui principalmente estruturas de aço, roldanas, cabos de aço, correntes, sistema de acionamento e condicionamento elétricos entre outros elementos de máquinas [8].

A escolha adequada dos materiais para a estrutura é fundamental, e o aço, por sua resistência e durabilidade, é comumente empregado. A estrutura deve ser projetada levando em consideração as cargas que será submetida durante as operações de basculação lateral do vagão. Os pontos de ligação na estrutura do tombador lateral são pontos críticos que exigem atenção especial. A qualidade da soldagem e fixação nesses pontos influencia diretamente a integridade estrutural. Problemas como a flambagem, que é a instabilidade global da estrutura, podem ocorrer se os pontos de ligação não forem devidamente projetados e executados [7].

Uma compreensão aprofundada sobre os potenciais falhas em componentes mecânicos é determinante para sua disponibilidade e segurança além de garantia para o projeto. Estudos sobre análises de falhas e estratégias de manutenção serão também relevantes para

mitiga os riscos do projeto. Para se ter uma confiabilidade, necessita-se de um sistema onde definições quantitativas em termos de probabilidades na ausência de quebras ou falhas, é de suma importância [9].

No âmbito específico do projeto a literatura destaca a importância da seleção cuidadosa dos componentes, como os cabos, redutores de potência do motor, os quais desempenham papéis críticos no sistema, sendo que o projetista mecânico abrange desde os conceitos básicos até a aplicação prática, o que dispõe dos componentes essenciais do guincho. Em vista ao perigo causado pela quebra da máquina, rompimento de qualquer natureza pode causar um acidente catastrófico, desta forma todos os mecanismos devem ser fabricados com materiais de alta qualidade em conformidade as especificações estabelecidas [2].

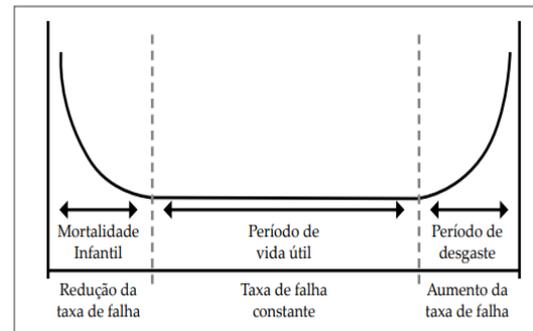
3. METODOLOGIA

A engenharia desempenha um papel crucial ao gerenciar a energia, facilitar a oferta de recursos para produção e empregar ferramentas e técnicas de automação. Neste contexto de engenharia, abordam os principais conceitos fundamentais como, a mecânica dos sólidos e dos fluidos, o transporte de massa e momento, bem como os processos de fabricação [6]. No escopo do projeto de engenharia mecânica, todas as disciplinas pertinentes a essa área são contempladas. Desta forma todo recurso utilizado num projeto visa a melhoria de utilização e segurança dos equipamentos seguindo a ordem tecnológica de alguns dos conceitos da engenharia. A necessidade de redimensionamento e revisão do sistema é sempre válida quando está a favor de redução de custos, elevar a eficiência e consolidação da segurança, sobrepondo ao investimento inicial e de melhoria. Evidente que determinados problemas solicitam uma revisão, e certas condições adversas podem comprometer sistematicamente os resultados esperados para o equipamento. Fatores como choques mecânicos, desgastes excessivos, trincas indesejadas e falhas de componentes podem diminuir a carga por ciclo do equipamento. A análise crítica e ajustes no projeto podem indicar melhorias significativas o que

pode proporcionar uma confiabilidade com baixas probabilidade de falhas e maior segurança em sua aplicabilidade.

A curva da banheira explica a relação da manutenção dos ativos com o ciclo de vida do equipamento, em busca do comportamento médio do seu desgaste. Uma alta taxa de falhas, podem ser motivadas por problemas de fabricação, falhas na instalação, erros ou problemas no projeto, componentes problemáticos e problemas de montagem. Estas falhas caracterizando no início de operação dos equipamentos são conhecidas na área de mortalidade infantil, na segunda fase há estabilização nos níveis de falhas, onde é o período de vida útil do equipamento e logo em seguida, a terceira fase, falhas por desgastes ou fim da vida útil, com crescente taxa de falhas, como mostrado na figura 2.

Figura 2 – Curva da banheira



Fonte: [10]

Uma função de risco é normalmente dada em termos de falhas por unidade de tempo. A forma de taxa de falhas é um indicativo da maneira como uma unidade envelhece. Um valor pequeno para a função de risco implica uma unidade exposta a menor quantidade de risco. Podendo ser analisado na Equação 1.

$$\lambda = \frac{\text{Número de falhas observadas}}{\Sigma \text{Tempo de funcionamento}} \quad (1)$$

O conhecimento do processo produtivo e aplicabilidade exigida do equipamento tem sua importância no que tange a confiabilidade do equipamento, desta forma o dimensionamento o coeficiente admitido

deve ser menor ao requerido para segurança de operação. Neste processo em questão há requerimento de produção de 680 TCH (Tonelada Cana Hora), sem paradas no equipamento, descarregando vagões carregados com 40 toneladas, ciclos que duram cerca de 3,5 minutos, neste tempo, levamos em consideração o posicionamento do vagão, subida da carga, tempo de descarregamento e descida do vagão. Nesta configuração de trabalho há desperdícios consideráveis de cana os quais contabilizam cerca de 0,2% diários afetando negativamente neste processo analisado, sendo este desperdício exigindo mobilização de equipe para limpeza do local, parada do equipamento por alguns minutos impactando negativamente a disponibilidade. Em consideração a estes desperdícios, descritos nos seguintes dados da tabela 1, dados de um ano safra com os seguintes impactos na produção.

Tabela 1: Impactos de produção e disponibilidade de produção

Tempo	Produção (ton)	Desperdício (ton)	Parada para limpeza
1 horas	680	1,36	2,4 min
8 horas	5440	10,88	19,2 min
30 dias	$4,8 \cdot 10^5$	960	28,8 horas
210 dias	$34,2 \cdot 10^5$	6840	100,8 horas

Fonte: Dados próprios *In Loco*.

Nota-se o volume de perda de produção e as inúmeras paradas que são geradas pela simples limpeza realizada, levando em consideração os custos contabilizados de ferramentas em que viabilizem a retirada deste volume de desperdício, o que se torna inviável a limpeza manual.

Figura 3: Desperdício de matéria



Fonte: Dados próprios *In Loco*.

Este sistema de descarregamento demonstra ter um bom desempenho operacional e boa eficiência nos ciclos de descarregamento e a sua aplicação tem boa aceitação neste seguimento industrial, entretanto este sistema ainda apresenta pontos críticos que necessitam de atenção em termos de segurança, prevenção a falhas, manutenibilidade e ergonomia. Aos termos operacionais nesse processo de elevação de carga ocorrem quedas de matéria prima, causando perdas para o processo. De forma não menos relevante, os choques mecânicos cometidos durante o período de elevação podem transferir cargas concentradas em determinados pontos críticos de ligações da estrutura soldados ou parafusados, onde falhas por trincas podem ser originadas evoluindo em determinado período de tempo até a sua ruptura total, estas falhas prematuras geram paradas inesperadas e manutenções indesejadas o que podem acarretar em uma perda de produção e custo de manutenção elevado para o equipamento. A exposição de componentes ou partes rodantes do equipamento torna sua segurança comprometida elevando o Número de Avaliação de Risco (do inglês *Hazard Rating Number*, HRN) [11],

influenciando também negativamente a ergonomicamente com movimentos repetitivos do operador.

A estrutura do tombador lateral é construída com materiais robustos tubulares em aço carbono de forma que sua amarração assegura a resistência e estabilidade principalmente nas operações de descarregamento. Os componentes de rolamento e as roldanas são essenciais para facilitar o movimento do sistema e na redução do esforço de solicitação de carga, permitindo a distribuição da carga e o deslocamento suave durante o processo de elevação. Os cabos de aço são empregados para suportar e conectar o sistema de tração com o vagão que está com a carga, sendo um componente considerável crítico para este sistema. Todos os componentes deste sistema pertencem há algumas peculiaridades, desta forma a seleção do material e o dimensionamento adequado são fundamentais para garantir a segurança, eficiência operacional e produção.

O dimensionamento de um projeto na engenharia deve definir e calcular os movimentos, forças e mudanças de energia de modo a determinar as dimensões, as formas para cada uma das peças que integram a máquina. [7]. A compreensão dos princípios fundamentais, como a mecânica dos materiais utilizados nos dispositivos de elevação assim como as forças envolventes e fatores de segurança são fatores essenciais para o desenvolvimento de soluções eficientes. [2]. O projeto estrutural do Guindaste, inclui os parâmetros de escolha dos materiais e da integridade dos componentes, o que é intrinsecamente relevante à capacidade do equipamento em suportar as cargas por ciclos necessárias antes de qualquer intervenção.

Com base no projeto conceitual, o dimensionamento dos componentes, a montagem estrutural seguindo com a tolerância dimensional e fator de segurança, serão estabelecidos de acordo com a legislação das normas técnicas brasileiras ABNT NBR 8800 e ABNT NBR 8400, o que também direcionará as abordagens da flambagem estrutural, definição da angulação de inclinação da torre e análise das cargas

atuantes, o dimensionamento do cabo e roldanas e os tipos de ligações. A velocidade de operação está definida de acordo com a aplicação exigida para esta produção, podendo sofrer leve variação na taxa de operação que podem chegar a 5% para mais ou 15% para menos da produção efetiva. A escolha da geometria e dimensões gerais devem ser priorizadas na fase inicial do projeto, a funcionalidade, resistência, distorção, deflexão, rigidez e garantia do pleno funcionamento, além dos custos de atualização são empregados na manutenção, como explica Budynas [6].

As atualizações neste sistema, se torna um fator importante para a melhoria da eficiência em acompanhamento da evolução da produção, desta forma também consegue-se diminuir o desperdício de matéria prima e reduções de custo de manutenção. Para este projeto o plano de manutenção e inspeções se tornam tão importante quanto toda a base para a concepção do projeto. As inspeções regulares na estrutura e ligações da estrutura permite avaliar se a aplicabilidade está em segurança. O acompanhamento da evolução dos desgastes dos componentes de acionamento se torna importantes para identificação da manutenção preventiva e/ou atuação de manutenção com antecedência diminuindo os custos de manutenção para o equipamento. Também deverá ser considerado nos gabaritos de inspeção os sistemas hidráulicos do freio do acionamento e itens de segurança assim como os sistemas de intertravamentos automatizados e botoeiras de acionamento que é a garantia da eficácia de segurança arrojada para o operado. Por se tratar de um equipamento que é item de elevação de carga, deverão ser adotados conceitos e critérios rigorosos de inspeções e acompanhamentos diários que estarão passíveis e monitorados pela normativa NR11. Os relatórios de inspeções e validações de projeto e melhorias deverão ser arquivados de fácil acesso no controle de manutenção [12]. Deverá ser cumprido os requisitos para as normativas e instalado os itens que atendem a Normas Regulamentadoras NR12, NR10 E NR11, que determinam sobre as proteções mecânicas ao distanciamento de partes

em movimento, condicionamento dos componentes de baixa tensão e cuidados as partes elétricas, e manuseio e transporte de cargas, devendo estes princípios básicos estar acessível a todos os operadores e mantenedores do equipamento, devendo a capacitação e preparo dos operadores para este tipo de atividade estar atualizada e em dias devido a sua singularidade e aos riscos evidentes relacionados a esta atividade.

O capital dispendido neste projeto inclui, os investimentos iniciais de construção e aquisição de componentes variados do equipamento, custo de transporte e montagem, custos de construção relacionados a sua instalação e aplicação, custos das edificações e estruturas. Cabem aqui também despesas com a manutenção das instalações da máquina e de seus componentes, custos com certificadores de segurança, auditoria ou vistorias em geral.

O protótipo foi desenvolvido nas dependências do Centro Tecnológico da Faculdade Evangélica de Goianésia – FACEG, localizada na cidade Goianésia-GO, onde foram conduzidas as primeiras investigações e o desenvolvimento inicial do projeto. Escolha esta devida ao suporte técnico necessário para realização das atividades de pesquisa. Partes do protótipo bem como definições de dimensionamento e desenvolvimento de alguns componentes foram desenvolvidos também na instituição. Foram inseridos a este trabalho informações sobre aplicabilidade e operacionalidade para continuidade do projeto, dados obtidos por exemplares semelhantes em operação que estão na região do Vale do São Patrício - GO

Para sintetizar a compreensão do processo e das etapas de concepção do projeto, segue os processos mostrados na tabela 2.

Tabela 2 - Requisitos e processo de fase do projeto

Etapa	Metodologia do projeto
Identificação do problema	- Melhorar o condicionamento e a eficiência do equipamento - Definição da aplicabilidade: 680 TCH Carga de 40 toneladas por ciclo
Concepção	- Definição de dimensões gerais e materiais utilizados e execução - Definição de custos

Análises	- Verificar e analisar conformidade do projeto, modificações deverão ser realizadas, se necessário após validação da análise.
Detalhamento do projeto	- Fabricação de croquis, fornecedores, especificações e detalhamento de fabricação
Protótipo	Fabricação do protótipo, verificação do sistema e realização de teste. (Se necessário ajuste retorne a Análises).
Finalização	Construção do projeto real, acompanhar comportamento do equipamento durante a operação

Fonte: Próprio autor, 2024

O Guindaste HILO é projetado para içar ou elevar cargas por meio de em sistema mecânico e elétrico. A sua estrutura é composta por vigas tubulares em aço com ligações soldadas ou parafusadas, e mecanismos que compõem os sistemas acionadores e tração o que permite que o trabalho de içamento. Os vagões ou trelas são articulados lateralmente com altura de caixa aproximada de 4,40 m largura de 2,60 m com 40 toneladas de carga onde o vagão é engatado por ganchos no estabilizador ou (balanção) que realiza o movimento de subida para descarregar e descida para posição de descanso.

O protótipo do Hilo foi construído baseado em modelos reais, afim de encontrar os erros com aplicabilidade melhorada, seguindo todos os protocolos da norma NBR 8800, utilizando os recursos de solda, caldeiraria e usinagem com materiais reais de aço carbono e aço inox 304 de alta qualidade.

Os requisitos e processo de fase do projeto podem ser verificados na Tabela 3.

Tabela 3 - Requisitos e processo de fase do projeto

Processos	Conceito
Definição de dimensões	Escolha da escala e dimensões do projeto e componentes;
Geometria	Altura do sistema: 550 (mm), base ao topo; Largura e comprimento da base inferior: 35 x 35 (mm);
Fabricação	Escolha do material custo x benefício; Usinagem e caldeiraria, manufatura de componente; Montagem da estrutura e componentes, soldagem e acabamento;
Montagem	Instalação do sistema elétrico, motor e redutor, passagem do cabo;
Testes	Realizações de teste de operação e capacidade.

Fonte: Próprios autores, 2023.

3.1 Dimensionamento e estruturação do Projeto

A utilização do material em formato tubular em aplicações estruturais para elevar carga é amplamente adotada devido as suas propriedades mecânicas e sua vantagem estrutural. Devido ao seu momento de inércia alto em relação ao seu peso, proporciona maiores resistência a flexão e torção, desta forma a estrutura se torna mais rígida e estável na aplicação, devido à distribuição uniforme de carga de um círculo. As estruturas tubulares oferecem excelente correlação Peso/Resistência, resultando em estruturas mais leves o que diminui a carga natural em outros componentes do sistema como a base de sustentação. Devido a sua geometria tubular, permite a facilidade de ligações ao longo da estrutura, bem como melhora na distribuição linear de carga nestes pontos críticos. Este proposto sistema geométrico também se aplica em outros seguimentos o qual deseja correlacionar peso/resistência, devido a sua alta performance empregada juntamente com materiais específicos de aplicação.

Em projetos de máquinas se faz importante para determinar as frequências naturais do conjunto e de seus subconjuntos, para evitar problemas com ressonância durante a operação. Neste projeto em específico haverá momentos no ciclo de descarregamento em que todo o sistema sofrerá fortes acelerações de vibração na estrutura, isto devido a diversos fatores como: distribuição da carga, movimento brusco da carga, balanços ou oscilações laterais e características da estrutura como as frequências naturais que podem ser amplificadas em ressonâncias com outras incitações, podendo levar a situações catastróficas gerando fissuras e rompimentos inesperados podendo falhar em pontos críticos na estrutura.

A frequência natural sem amortecimento é obtida pela Equação 2:

$$\omega_n = \sqrt{\frac{K}{m}} \quad (2)$$

ω_n : Frequência natural;

m : massa móvel do sistema;

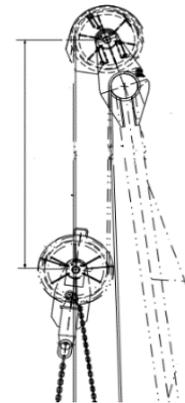
K : Constante efetiva de mola do sistema

Antes de aprofundar nos demais conceitos deste projeto é importante a definição do dimensionamento primário deste projeto, que é sua altura e angulação de trabalho, para que se tenha o trabalho livre do vagão e garantia do movimento de subida e deslocamento angular do balanço, a altura total da torre deve conter pela obtenção da equação 3, de forma que a componente altura total comporte todo o conjunto içado de forma a considerar o vagão basculado o comprimento da corrente do balanço e espaço livre de trabalho, como mostrado na figura 4 e 5.

Equação 3:

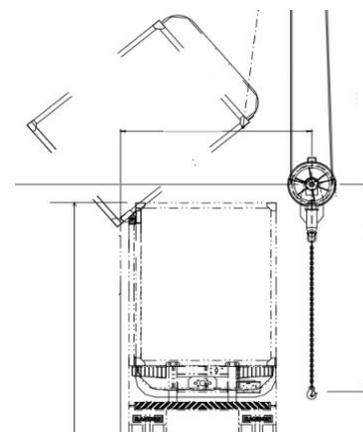
$$H_{total} = 3,6 * H_{Vagão} \quad (3)$$

Figura 4: Espaço livre entre estabilizador e roldanas superiores



Fonte: Própria, 2024

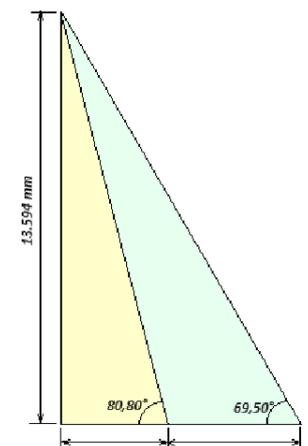
Figura 5: Movimento de descarregamento



Fonte: Própria, 2024

O perímetro circular do movimento bascular do vagão e alinhamento das roldanas superiores com o engaste do vagão definem o movimento do conjunto vagão/balanço gerando o momento de força de tração das correntes do balanço no ato do içamento, desta forma este ponto de equilíbrio do conjunto é importante para que ao final do movimento de bascular aconteça um bom encaixe da aba superior do vagão com a estrutura da mesa alimentadora ou chaparia lateral da esteira, este encaixe deve acontecer de forma precisa pois é o ponto primordial para a vedação de descarregamento o que minimizará o desperdício de matéria prima evitando a queda de cana picada ao chão. Este ponto de equilíbrio de descarregamento ou basculação se deve a inclinação ideal de trabalho da torre, conforme indicado na figura 6 diminuindo os esforços de carga na chaparia de sustentação das polias superiores, isto devido ao direcionamento de trabalho proporcionado pela angulação de ataque da torre. Em contrapartida o sistema está exposto a pontos onde necessita de devidos cuidados no dimensionamento pois podem se tornar em pontos críticos devido a cargas pontuais torcionais e defletoras localizada nos braços de suporte das roldanas superiores, que podem gerar trincas até sua ruptura, o que será ponto de análise adiante deste trabalho.

Figura 6: Esquemática de angulação da torre



Fonte: Dados próprios, 2024

A finalidade deste equipamento exige um conceito robusto e resistente, considerando uma estrutura

mais leve o custo de fabricação mais rentável, assim como também uma boa confiabilidade de serviço. Esta estrutura está sujeita a várias cargas e diferentes situações, e garantir que estará preparada para suportar todos estes vetores deve considerar boa parte deles. A parte inferior da estrutura está sujeita a cargas de compressão isto devido ao peso da própria estrutura e principalmente da carga içada, na extremidade superior próximo as roldanas a carga aplicada gera momentos fletores nas junções e pode gerar pontos de cisalhamento, que sofrem mudanças abruptas de cargas ou nas próprias junções dos componentes estruturais. Devido ao dimensional deste equipamento também estar sujeito a ações externas como a pressão do vento devido a acontecer em diversas direções, e exposição a corrosão por parte do ambiente. As forças de inercias devem ser consideradas devidos aos movimentos bruscos ou na mudança no estado de movimento, bem como a aceleração e desaceleração gerando forças adicionais a estrutura, devendo considerar os impactos gerados por paradas súbitas inesperadas que podem variar ainda mais a aceleração e conseqüentemente aumentando a inércia da estrutura. Desta forma as considerações ao aumento nas cargas dinâmicas exigem um dimensionamento robusto da estrutura a fim de evitar falhas inesperadas e exposição a acidentes graves propiciadas por fadigas geradas por ciclos de cargas envolvidos pela aceleração e desaceleração constantes de trabalho.

Tabela 4 – Valores da pressão aerodinâmica, extraído tabela 7 NBR 8400

Altura em relação ao solo (m)	Vento limite de serviço			Vento máximo (equipamento fora de serviço)		
	Velocidade m/s	Velocidade Km/h	Pressão aerodinâmica (N/m ²)	Velocidade m/s	Velocidade Km/h	Pressão aerodinâmica (N/m ²)
0 a 20	20	72	250	36	130	800
20 a 100				42	150	1100
Mais de 100				46	165	1300

Fonte: Adaptado, ABNT, 1984.

De acordo com a NBR 8400 (ABNT 1984) nas solicitações devidas ao levantamento de carga de serviço, levam-se em conta as oscilações provocadas pelo levantamento brusco da carga, multiplicando-se as

solicitações devidas à carga de serviço pelo fator de coeficiente dinâmico. O valor do coeficiente dinâmico a ser aplicado à solicitação devida à carga de serviço é dado pelas equações 3 e 4:

a) Determinação a solicitação total no assentamento da carga:

$$S_g - S_L \cdot \frac{(c-1)}{2} \tag{3}$$

b) Comparar com a solicitação do equipamento da carga determinada:

$$S_g + c \cdot S_L \tag{4}$$

S_g : solicitação devida ao peso próprio

S_L : Solicitação devida à carga de serviço

c : Coeficiente dinâmico: utilizar 1,3, se “v” $L \geq 1$

V : Velocidade de elevação

A escolha de um material ideal para a torre ou a estrutura principal deve ser considerado as diversas propriedades do material das quais garantem a correta aplicação com a resistência, ductilidade, a capacidade de suportar e distribuir energia das cargas aplicadas sem gerar trincas, sendo um material tenaz e resistente a fadigas. Os aços carbono e de baixa liga e alta resistência mecânica apresentam boa relação a característica desta aplicação, conforme mostrado na tabela 5.

Tabela 5: Aços de uso frequentes especificados pela ASTM para uso estrutural NBR 8800, 2008.

Classificação	Denominação	Produto	Grupo de perfil ^{1,2} ou faixa de espessura disponível	Grau	f_y MPa	f_u MPa		
Aços-carbono	A36	Perfis	1, 2 e 3	-	250	400 a		
		Chapas e barras ^c	$t \leq 200$ mm				550	
Aços de baixa liga e alta resistência mecânica	A500	Perfis	4	A	230	310		
				B	290	400		
				42	290	415		
				50	345	450		
				55	380	485		
				60	415	520		
	A572	Perfis	1, 2 e 3	1 e 2	65	450	550	
					$t \leq 150$ mm	42	290	415
					$t \leq 100$ mm	50	345	450
					$t \leq 50$ mm	55	380	485
					60	415	520	
					65	450	550	
A992 ^d	Perfis	1, 2 e 3	-	345 a	450	450		
				450	450	450		
Aços de baixa liga e alta resistência mecânica resistentes à corrosão atmosférica	A242	Perfis	-	1	345	485		
				2	315	460		
				3	290	435		
				$t \leq 19$ mm	345	480		
	A588	Chapas e barras ^c	-	-	$19 \text{ mm} < t \leq 37,5 \text{ mm}$	315	460	
					$37,5 \text{ mm} < t \leq 100 \text{ mm}$	290	435	
					1 e 2	345	485	
					$t \leq 100$ mm	345	480	
					$100 \text{ mm} < t \leq 125 \text{ mm}$	315	460	
					$125 \text{ mm} < t \leq 200 \text{ mm}$	290	435	
A913	Perfis	1 e 2	50	345	450			
			60	415	520			
			65	450	550			

Fonte: ABNT NBR 8800, 2008

Outro fator com grande relevância para este projeto, é o coeficiente de flambagem que podem ser analisados e mensurados pelo fator de torção K , o qual deve ser determinado pela análise estrutural conforme dita suas amarrações e engastes propostos pela norma NBR 8800 [13], o coeficiente de flambagem, conforme mostra a figura 7. As extremidades dos componentes que compõem a torre estrutural são todas ligações engastadas, ou seja, união soldadas em toda sua estrutura com pontos de apoio transversal para maior estabilidade e robustez das vigas tubulares o que melhora na distribuição de energia mecânica e acelerações. Desta forma, pela característica de engaste é observável as possíveis formas de flambagem em determinados setores ou períodos isolados da estrutura, possibilitando também a análise da estrutura como um todo, revelando valores aproximados de flambagem.

Figura 7 - Coeficiente de flambagem, extraído da tabela E.1

	(a)	(b)	(c)	(d)	(e)	(f)
A linha tracejada indica a linha elástica de flambagem						
Valores teóricos de K_x ou K_y	0,5	0,7	1,0	1,0	2,0	2,0
Valores recomendados	0,65	0,80	1,2	1,0	2,1	2,0
Código para condição de apoio						

Fonte: Adaptado ABNT NBR 8800, 2008

A criticidade da escolha do material ideal, também deverá ser considerada para o tipo solda, bem como a seleção do eletrodo a ser utilizado, e a forma de executar a soldagem e o material utilizado em cada eletrodo torna-se um ponto crucial e crítico para a estrutura, devido a resistência mecânica na junção, a resistência a deformação e a capacidade de se comportar em aplicação específica. A ductilidade e a composição química do eletrodo devem ser compatíveis com o material base, afim de evitar trincas e falhas nas zonas térmicas afetadas. A

tabela 6 de características de eletrodos fornece informações detalhadas sobre as propriedades e adequações de cada tipo de eletrodo, baseadas na classificação (American Welding Society) e (International Organization for Standardization) AWS/ISO, atendendo as recomendações para condição específicas.

Tabela 6 - Propriedades e características eletrodo AWS.

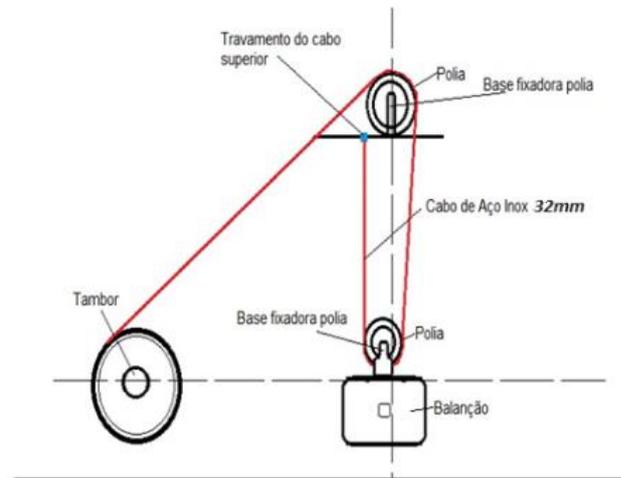
Eletrodo	Classificação AWS/ISO	Composição química	Resistência a tração	Propriedade mecânica
E6010	AWS A5.1	C: 0,12% ; Mn: 0,5%	410-480 MPa	Boa tenacidade; penetração profunda
E6013	AWS A5.1	C: 0,12%, Mn: 0,4%	420-500 MPa	Solda em chapas; menor penetração
E7018	AWS A5.1	C: 0,12%, Mn: 0,4%	490-620 MPa	Alta resistência a ductilidade e a fratura
E308L-16	AWS A5.4	C: 0,03%, Cr: 20%, Ni: 10%	550-690 MPa	Boa ductilidade; aço inox 304
E309L-16	AWS A5.4	C: 0,03%, Cr: 24%, Ni: 13%	560-730 MPa	Alta resistência; soldagem Inox em aço carbono
E316L-16	AWS A5.4	C: 0,03%, Cr: 18%, Ni: 12%, Mo: 2%	560-730 MPa	Excelente resistência a corrosão; aço inox 3016

Fonte: Adaptado, AWS, 2012.

3.1.1 Cabos de aço

Este equipamento possui o sistema de redução onde o redutor é acionado por motor elétrico que gera toda a força necessária para içamento da carga, e uma parte desta redução e distribuição de carga acontece na interligação de polias com dois conjuntos de polias e cabos de aço, sendo duas polias no topo da torre e outras duas no estabilizador, uma das extremidades do cabo de aço está fixo à base superior da torre, de forma que minimize a tensão de cisalhamento no cabo, logo, passa pelos dois sistemas de polias, fixando posteriormente no Tambor, que é o componente de acionamento do sistema. Este sistema conta com dois conjuntos de cabos, conforme a Figura 8.

Figura 8 - Diagrama do Sistema de polias e cabos



Fonte: Próprios autores, 2024.

A escolha do cabo foi realizada primeiramente definindo a cálculo de tensão, considerando um fator de segurança geralmente utilizado de 5x, ou seja, rompendo a 200 toneladas capacidade do cabo. A seleção adequada do cabo e a compreensão de suas propriedades mecânicas e aplicações deve ser realizada atendendo ao sistema e a segurança da operação. As propriedades mecânicas determinam a resistência a tração, a flexibilidade e a resistência ao desgaste, estes fatores são primordiais para a segurança e confiabilidade do equipamento, nesta aplicação exige a instalação de um cabo altamente resistente a tração, conforme a tabela 7. As propriedades mecânicas do aço inox utilizado no cabo pode ser analisado na tabela 7.

Tabela 7: Tipos e características de Cabos de aço

Tipo do cabo	Construção	Diâmetro	Resistência a tração	Ruptura
Aço Carbono	6x36	32mm	1770N/mm ²	205 Ton
Aço Carbono	8x19	32mm	1770N/mm ²	205 Ton
Aço Inox	8x19	32mm	1570N/mm ²	195 Ton

Fonte: Adaptado, ISO2408, 2017

Considerando a configuração de aplicação com o cabo de aço carbono de 32 mm de diâmetro, com alta resistência, podemos concluir a capacitação para o cabo de aço com a equação 5 e 6. Utilizando como proporção típica de 75% da resistência à tração.

Equação 5: Cálculo da área do cabo.

$$\sigma_y = 0.75 * \sigma_t \quad (5)$$

$$A = \pi * \frac{d^2}{4};$$

Equação 6: Cálculo limite de escoamento

$$F_y = \sigma_y * A \quad (6)$$

mm. As definições do tambor e suas dimensões mostram na Figura 9.

3.1.2 Polias e Tambor

A escolha das polias e tambores foram feitas a partir da determinação do diâmetro mínimo de enrolamento de um cabo. Também segundo a norma, não há valores mínimos absolutos para os diâmetros das polias e tambores dos quais um cabo não poderá ser utilizado, assim como não há um diâmetro mínimo absoluto exigido para os diferentes tipos de cabos [13].

As polias e eixos podem ser manufaturadas com o aço SAE 1045 ou aço inoxidável 304 ou 316. O diâmetro das polias inferiores e superiores, balanço e topo da torre, foram definidas a partir da Equação 7. Em consideração o diâmetro do cabo de aço e fator de configuração para polia de 30 conforme a equação. O dimensionamento da polia é crucial para garantir que o cabo tenha uma vida útil adequada, sendo o diâmetro da polia o suficiente para evitar o desgaste prematuro do cabo e da própria polia, nesta proporção é assegurado a redução da deflexão no cabo, sendo ideal para aplicações críticas.

(7)

$$De = 30 * D$$

Onde,

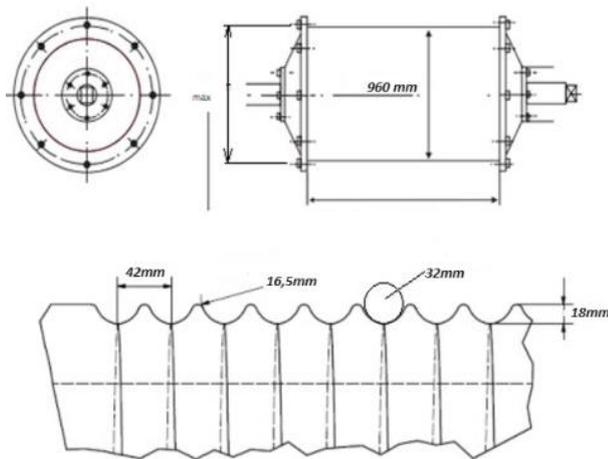
De = Diâmetro externo polia

D = Diâmetro do cabo.

Para os Tambores não há valores mínimos absolutos para os diâmetros de trabalho, dos quais um cabo não pode ser utilizado. A vida útil do cabo varia de acordo com o contínuo uso de sua função e do diâmetro dos tambores, quando se mantém inalterados as demais condições [13].

Deste modo as dimensões do tambor foram definidas para que não ficasse desproporcional as polias, desta forma com as dimensões externas aproximadas, e também foi atendido ao quesito de enrolamento do cabo conforme o seu diâmetro assim como calculado para as polias permanecendo o diâmetro primitivo maior que 960

Figura 9 - Dimensões do tambor e alojamento do cabo de aço



Fonte: Próprios autores, 2024

A rizeza do cabo sobre as polias e o tambor é devida a resistência da curvatura do cabo sobre a superfície, o atrito entre os fios internos do cabo ao se curvar tem que se deslocar uns em relação aos outros e também a elástica flexão dos fios, ou seja, rizeza elástica. Considera-se então somente a rizeza anelástica, trabalho de deformação devido às forças elásticas da curvatura que o cabo faz de endireitamento, assim não representa perdas no sistema. [15].

3.1.3 Acionamento

O conjunto de acionamento e redutor estão acoplados diretamente sem a necessidade de uma peça intermediária. Todo o sistema de acionamento está instalado sob uma base de concreto projetada para este equipamento e sob a base metálica, responsável por fazer toda a fixação do sistema de acionamento com o solo, importante que esta chaparia também seja robusta e bem dimensionada, para que não propicie trincas futuras em pontos críticos que recebam maior carga. O motor equivalente ao sistema, assim aciona diretamente o redutor, que está acoplado ao tambor onde o cabo de aço está instalado, os tambores são posicionados e fixados por mancal de rolamentos e suporte de sustentação do mancal.

O motor utiliza uma voltagem de 440 V e potência de 150 CV 4 polos e saída o que garante torque necessário para esta operação e que o mesmo está sob uma estrutura metálica bem fixado a chaparia da base, acionado por

comandos de botoeiras e com sistemas de intertravamentos e limitadores. O redutor também está instalado na base metálica com suporte e calços que nivelam a altura do conjunto e permite uma perfeita acoplagem do redutor com o motor, o redutor conta com o fator de redução de 1:90 com entrada de 1750 rpm e saída de 19,4 rpm.

3.2 Construção do protótipo

O protótipo foi construído em escala reduzida para realização de testes de forma que antecipe avaliações e aplicabilidades antes mesmo de executar altos investimentos de projeto. Este protótipo foi construído proporcionalmente ao real com o intuito de desempenhar um papel fundamental para testes empíricos semelhante ao desempenhado pelo equipamento real, análises de comportamento da estrutura, as distribuições das cargas dinâmicas, bem como os pontos em que necessitam de atenção, possibilitando a identificação de possíveis problemas e como planejar a solução. O protótipo permite também a análise do dimensionamento definido para estrutura, a robustez e os pontos de ligações. A análise da velocidade de operação permite a validação da aplicabilidade. Com o dimensionamento das roldanas em escala proporcional, foi possibilitada a análise do comportamento do cabo de aço como as torções, conformação e possíveis formação de trincas e desgastes em pontualidades.

Para a montagem foram utilizados os recursos de caldeiraria e soldagem especializada, definido uma escala de 1:30, onde se aproxima ao real as seguintes dimensões 550 mm de altura, base quadrada de 35 mm x 35 mm e angulação de inclinação da torre de 80°, conforme mostra a figura 10. O Protótipo possui um conjunto de acionamento com redução, que está acoplado ao tambor, e logo o cabo de aço, assim acionando o sistema para o içamento da carga. O motor possui voltagem de 12 V e potência de 42 W a saída do redutor a 65 rpm com a frequência de 60Hz, conforme mostra a figura 11. O motor é alimentado por uma fonte e um potenciômetro para controle de velocidade do motor onde a frequência

pode ser modulada e testado diversas velocidades de operação, o que possibilitou que o teste realizado acontecesse de diversas formas.

Figura 10 – protótipo Guindaste Tombador Lateral



Fonte: Próprio autor, 2024

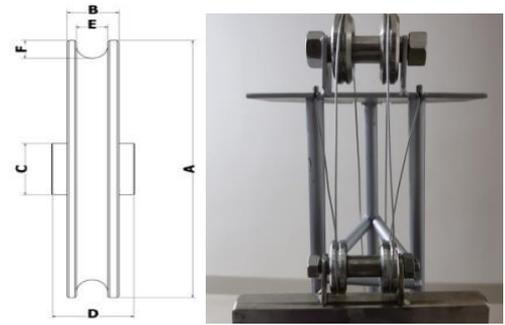
Figura 11 – Acionamento do protótipo



Fonte: Próprio autor, 2024.

A solda utilizada para a junção das partes da torre e base da estrutura foi seguida segundo os critérios tabelados pelas normas AWS, e o eletrodo utilizado foi o de aço carbono AWS E 7018 e nas peças de inox o eletrodo AWS E 309L. A usinagem possibilitou a manufatura das polias inferiores e superiores, o balanção e eixos, sendo todo o dimensional definidos a partir da equação de dimensionamento de polias, levando em consideração o diâmetro do cabo de aço e fator constante para polias de 30 conforme mostra a figura 12 e os dados da tabela 8.

Figura 12 – Dimensionamento da polia



Fonte: Próprio autor, 2024

Tabela 8 – Dados dimensionais da polia

D mm	ØA	ØB	ØC	ØD	ØE	ØF
Balanção	35	12	10	25	3	2
Superior	45	14	12	30	3	2

Fonte: Próprio autor, 2024.

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Os resultados obtidos no desenvolvimento e nos testes realizados com o protótipo satisfazem as expectativas esperadas de aplicação. De forma que os resultados obtidos pelos testes realizados foram categóricos ao dimensionamento proposto, satisfazendo de forma geral a altura da torre sem restrições ao vagão de cana e a angulação de inclinação da torre, que permitiu livre trabalho de basculação do vagão. Foi retirado os seguintes dados nos testes com o protótipo, a velocidade de elevação e cargas aplicadas de operação simulando o tempo de cada ciclo e diferenciação de cargas. Conforme a tabela 8 os dados obtidos nos mostram satisfatórios em velocidades mais baixas, entretanto o sistema trabalhando com velocidades mais altas pode agregar a inercia, logo, pode prejudicar a estrutura em consequência de falhas prematuras devido a acelerações excedentes e impactos indesejados.

Tabela 9 – Análise em diferentes velocidades

Corpo de prova (kg)	Potência (w)	Frequência aproximada do motor (Hz)	Rotação eixo de saída (rpm)	Tempo de subida (s)	Descida (mm)
5.0	42	20	8	8	5
5.0	42	40	17	5	30
5.0	42	60	25	4	70

Fonte: Próprio autor, 2024

No teste de carga o protótipo mostrou ter boa estabilidade, nos indicando boa resistência e robustez satisfazendo a aplicação, embora não foi possível mensurar a flambagem e os pontos de tensões no protótipo devido à falta de aparelhos especiais, durante os testes o sistema comportou de forma linear e constante. Na tabela 10 é indicado o comportamento do sistema com diferentes cargas. Nota-se que devido o protótipo não possuir freios o sistema continua em movimento devido a inércia o que está proporcional carga utilizada, ao final do teste, com o corpo de prova máximo o sistema não foi capaz de vencer a inércia persistindo o movimento. Neste teste prova que há necessidade de um sistema de frenagem no acionamento do redutor ou no motor altamente eficiente, dimensionados de acordo com a carga e a velocidade de operação, sendo de extrema importância para a segurança do equipamento e da operação.

Tabela 10 – Teste com diferentes cargas

Corpo de prova (kg)	Potência (w)	Frequência aproximada do motor (Hz)	Rotação eixo de saída (rpm)	Tempo de subida (s)	Inercia na descida (mm)
2.0	42	40	17	4	6
5.0	42	40	17	5	30
7.0	42	40	14	6	60
12.0	42	40	10	10	-

Fonte: Próprio autor, 2024

No processo de fabricação do protótipo foi observado a possibilidade de fabricação fragmentada do equipamento de escala real, separando em seções da estrutura da torre e da base, devido ao dimensional não favorecer com a logística do equipamento inteiriço, desta forma o projeto deverá atentar-se aos seguimentos e detalhamentos de montagem do equipamento. Os demais itens de componentes como roldanas, cabo de aço, eixos, estabilizador, tiveram bom desempenho nos testes realizados, embora os testes não tenham provado o protótipo a fadigas, não foi pontuado anomalias nestes componentes, entretanto o alinhamento das roldanas é um ponto crítico para o sistema de tração, pois desalinhamentos podem provocar desgastes prematuros nos cabos. Estes componentes apresentaram boa

estabilidade e rendimento atendendo a solicitação e aplicação do equipamento.

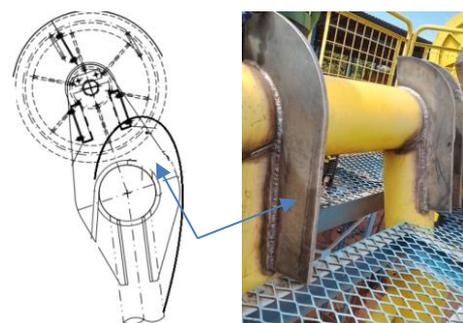
Durante testes com o modelo real do guindaste, foram identificados pontos críticos que apresentaram falhas, dos quais necessitam de atenção para garantir a eficácia e segurança do equipamento. O primeiro ponto a ser identificado foram trincas em evolução de ruptura em soldas na parte superior da torre onde está alocado os mancais das roldanas, esta falha foi devida as forças atuantes tangenciais e torcionais que em determinada carga por ciclos originou a trinca, conforma mostra as figuras 12 e 13. Neste ponto foi realizado melhoria no projeto, ajustando o reforço do eixo de ligação da estrutura com chapas de aço carbono A36 de 19 mm de espessura conforme mostra as seguintes figuras.

Figura 12 – Trinca na parte superior da torre



Fonte: Próprio autor, 2024

Figura 13 – Melhoria Instalada



Fonte: Próprio autor, 2024

A base do sistema de redução recebe altas cargas majoritariamente de tração na base dos fixadores dos mancais do tambor, devido a tração exercida pelo cabo de aço ao realizar a elevação da carga neste ponto está sujeito ao surgimento de trincas nas soldas de união da base do mancal com a chaparia da base do sistema de acionamento conforme mostra a figura 13. Desta forma a robustez neste

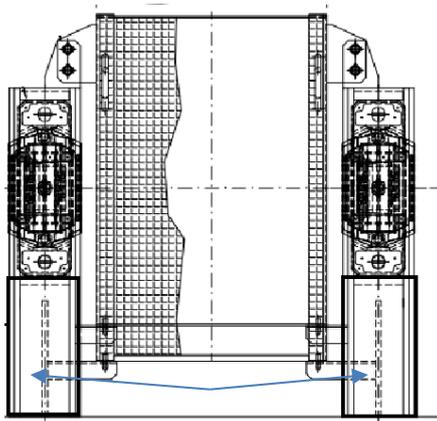
ponto deverá ser complementada com espessura da chaparia da base do acionamento, com chapas mais resistentes ou espessas, como: A36 alta resistência com 22mm de espessura, melhorar as configurações de chanfro e soldagem da base do mancal na chaparia, além disto recomendo que seja realizado um travamento na seção da base do mancal, afim de melhorar a robustez e na uniformização da distribuição da carga na chaparia do acionamento, conforme mostra a figura 14.

Figura 13 – Trincas na solda da base do mancal com a chaparia



Fonte: Próprio autor, 2024

Figura 14 – Melhoria na robustez na base do mancal



Fonte: Próprio autor, 2024

As falhas identificadas no equipamento fornecem informações valiosas para o aprimoramento do projeto. A implementação das medidas propostas não apenas corrigirá os pontos críticos, mas também resultará em um aumento significativo na eficiência e segurança do sistema de elevação. Espera-se que, com essas melhorias, o equipamento apresente um desempenho confiável e sustentável em operações contínuas, reduzindo o risco de paradas não programadas e aumentando a vida útil dos componentes. Além disso, a adoção de tecnologias

avançadas de monitoramento, como sensores de desgaste e sistemas de controle automatizado, inspeções rotineiras, contribuirá para a manutenção preventiva e a detecção precoce de falhas, garantindo uma operação mais eficiente e segura.

4.1 Testes

Com o protótipo construído foi iniciado os testes, onde foi realizado simulações sem carga, carga de 2 kg, 5 kg, 7 kg e 12 kg considerando como o peso máximo de trabalho para o protótipo, sendo está carga a proporcional da carga real, colocado a prova final na estrutura.

Nos primeiros testes sem carga foi identificado a necessidade de corrigir o tempo de operação por ciclo, mesmo o protótipo sem carga não é viável que o tempo de trabalho seja muito curto devido a inversa proporção tempo/velocidade, pois poderá provocar falhas e fadigas prematuras na base do equipamento devido as acelerações criadas pelos movimentos bruscos, aumentando também os esforços na base nos principais pontos de concentração de tensão nas soldas, viabilizando o ajuste no tempo do ciclo, aumentando o tempo de subida e decida.

Para as avaliações foram utilizadas ferramentas essenciais para a realização dos testes, como balança de precisão, cronômetro, calibradores, potenciômetro e medidor de torque para verificação de capacidade máxima de tração. as quais viabilizaram na coleta de dados. A velocidade de trabalho e tempo de operação de cada ciclo foram ajustadas conforme a utilização dos corpos para testes conforme os dados da tabela 9. Testes para verificação do volume do corpo de carga validaram o espaço de trabalho e a basculação do vagão, com a altura máxima do vagão de 4,40m com a altura apresentada para o projeto.

Os testes foram aplicados em diversos cenários, e fica claro que a inercia composta nos corpos em movimento tendem a permanecer em movimento no sentido de maior aceleração e força atuantes, e na aplicação de descida, mesmo com o acionamento desenergizado o sistema tende a movimentar-se nesta direção por um determinado período, isto valida a necessidade de freios de alta capacidade no acionamento do sistema impedindo que

o movimento perdure por determinado tempo evitando possíveis falhas no equipamento e até acidentes operacionais.

O protótipo mostrou ser fiel as aplicações feitas, e se torna viável com a antecedência de problemas de fabricação, material a ser utilizado, método de logística e montagem e investimentos iniciais, desta forma possibilita que revisões no projeto sejam realizadas a ajustes de execução e aplicação sejam feitos, antes mesmo da execução final do projeto.

5 CONCLUSÃO

O presente trabalho abordou o desenvolvimento, análise e aprimoramento de elevação de carga por guindaste tombador lateral, utilizado em indústrias sucroalcooleiras. Durante as pesquisas o qual foi desafiadora devido a poucas informações acessíveis, devido se tratar de um equipamento com projetos e orientações restritas, mas com o compromisso de contribuir a rede acadêmica as pesquisas seguiram de diversos artigos de diferentes regiões como da América e África onde há registro de utilização deste equipamento.

Desde o início das pesquisas realizadas nas dependências da FACEG-Goianésia, até os testes práticos com o protótipo cada etapa foi cuidadosamente planejada e executada para garantir a aproximação detalhada do equipamento. Com a utilização de metodologias avançadas e a construção de um protótipo em escala reduzida, foi possível identificar e analisar diversos pontos críticos que com a eficiência e a segurança do sistema. Entre os principais problemas identificados, a deformação estrutural, o desgaste prematuro dos cabos de aço, falhas nos sistemas de freio, desalinhamento das roldanas e instabilidade na base estrutural são os pontos que exigem atenção pois onde há probabilidade de ocorrência de falhas catastróficas.

A implementação das medidas corretivas aqui propostas, como o reforço estrutural, a utilização de materiais de maior resistência, o aprimoramento do sistema

de frenagem e a correção do alinhamento das roldanas, mostra-se essencial para a melhoria do desempenho do equipamento. Além disso, a introdução de tecnologias de monitoramento contínuo e controle automatizado contribuirá para uma operação mais eficiente e segura, reduzindo o risco de falhas e aumentando a vida útil dos componentes.

Este estudo evidenciou a importância de uma abordagem multidisciplinar e detalhada no desenvolvimento do projeto do guindaste tombador lateral, ressaltando a relevância da engenharia mecânica na concepção de projetos mais robustos e seguros, contribuindo também com a redução de manutenções e custo relativo. O trabalho realizado contribui significativamente para a otimização do processo, minimizando desperdícios de matéria-prima que anteriormente ocasionava grandes impactos e que pode ser controlado com a angulação da inclinação da torre.

Com a conclusão deste projeto, espera-se que as soluções apresentadas possam ser aplicadas de maneira eficiente em indústrias sucroalcooleiras e outras áreas que necessitem de sistemas de elevação de carga confiáveis. A continuidade das pesquisas e a implementação das melhorias sugeridas proporcionarão avanços contínuos, beneficiando não apenas a indústria, mas também a academia e os futuros projetos de engenharia mecânica.

6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] PERALTA, M. A. Guindaste: Histórias e Definição. Disponível: <https://docplayer.com.br/16937159-1-guindaste-historia-e-defnicao.html>
- [2] RUDENKO, N. **Máquinas de Elevação e Transporte**. 1ª. ed. Rio de Janeiro: Livros Técnicos e Científicos Editora L.T.D.A., 1976.
- [3] MACHADO,S.S. **Tecnologia da fabricação do açúcar**. Inhumas: IFG; Santa Maria: Universidade federal de Santa Maria, 2012
- [4] MOODLEY,S. **A Review of Whole Stick Sugarcane Transfer Systems**, South Africa: University of KwaZulu-Natal, 2010.
- [5] p Ramos, Thiago A. **Perdas industriais na recepção, preparo e moagem da cana no setor sucroenergético** Universidade Federal da Paraíba. João Pessoa, 2020.
- [6] BUDYNAS, R. G.; NISBETT, J. K. **Elementos de Máquinas de Shigley**. Tradução de João Batista de Aguiar; José Manoel de Aguiar e José Benaque Rubert. 8ª. ed. Porto Alegre: AMGH, 2011.
- [7] Norton, Robert L. **Projeto de máquinas** [recurso eletrônico] : uma abordagem integrada / Robert L. Norton ; [tradução: Konstantinos Dimitriou Stavropoulos ... et al.]. – 4. ed. – Dados eletrônicos. – Porto Alegre : Bookman, 2013.
- [8] Solano, Sebastián D. **Análise estrutural de um Guindaste de arame para o descarregamento de vagões de cana-de-açúcar na usina de açúcar de San Carlos**. Universidad Tecnológica de Pereira: Risaralda, 2022.
- [9] Fogliatto, Flávio Sanson **Confiabilidade e manutenção industrial** [recurso eletrônico] / Flávio Sanson Folgliatto e José Luis Ribeiro Duarte. - Rio de Janeiro: Elsevier: ABEPRO, 2011
- [10] Netto, Alfredo Pieritz **Manutenção industrial**. / Alfredo Pieritz Netto. – Indaial: UNIASSELVI, 2018.
- [11] NR-12 - **SEGURANÇA NO TRABALHO EM MÁQUINAS E EQUIPAMENTOS**, Portaria MTP n.º 806, de 13 de abril de 2022
- [12] NR 11 - **TRANSPORTE, MOVIMENTAÇÃO, ARMAZENAGEM E MANUSEIO DE MATERIAIS**, Portaria MTPS n.º 505, de 29 de abril de 2016.
- [13] ABNT NBR 8800. **Projetos de estruturas de aço e de estruturas mistas de aço e concreto de edifícios**, Rio de Janeiro – RJ. Associação Brasileira de Normas Técnicas, 2008.
- [14] ABNT NBR 8400. **Cálculo de equipamento para levantamento e movimentação de cargas**. Rio de Janeiro – RJ. Associação Brasileira de Normas Técnicas, 1983.
- [15] PURQUERIO, B. de M., **Projeto de máquinas e elevação e transporte**, Dimensionamento dos mecanismos São Carlos, 1983.