



**UNIVERSIDADE FEDERAL DE OURO PRETO – UFOP**

**ESCOLA DE MINAS**

**DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA MECÂNICA**



**ARTHUR MOZAR DIAS**

**CONSTRUÇÃO DE UM SISTEMA MECÂNICO PARA  
ENSACAMENTO DE HIDRATO ÚMIDO EM *BIG BAGS***

**OURO PRETO - MG  
2025**

**ARTHUR MOZAR DIAS**  
**arthur.dias@aluno.ufop.edu.br**

**CONSTRUÇÃO DE UM SISTEMA MECÂNICO PARA  
ENSACAMENTO DE HIDRATO ÚMIDO EM *BIG BAGS***

Monografia apresentada ao Curso de  
Graduação em Engenharia Mecânica  
da Universidade Federal de Ouro Preto  
como requisito para a obtenção do  
título de Engenheiro Mecânico.

**Professor orientador:** DSc. Diogo Antonio de Sousa

**OURO PRETO – MG**  
**2025**

## SISBIN - SISTEMA DE BIBLIOTECAS E INFORMAÇÃO

D541c Dias, Arthur Mozar.

Construção de um sistema mecânico para ensacamento de hidrato úmido em Big Bags. [manuscrito] / Arthur Mozar Dias. - 2025.  
87 f.: il.: color., tab.. (Série: -)

Orientador: Prof. Dr. Diogo Souza.  
Monografia (Bacharelado). Universidade Federal de Ouro Preto. Escola de Minas. Graduação em Engenharia Mecânica .  
ISBN: -.  
ISSN: -.

1. Desenho industrial - Projetos de engenharia. 2. Projetos de engenharia - Ensacadeira. 3. Automação. I. Souza, Diogo. II. Universidade Federal de Ouro Preto. III. Título.

CDU 621

Bibliotecário(a) Responsável: Maristela Sanches Lima Mesquita - CRB-1716



## FOLHA DE APROVAÇÃO

**Arthur Mozar Dias**

### **Construção de um sistema mecânico para ensacamento de hidrato úmido em *big bags***

Monografia apresentada ao Curso de Engenharia Mecânica da Universidade Federal de Ouro Preto como requisito parcial para obtenção do título de Engenheiro Mecânico

Aprovada em 14 de agosto de 2025

#### Membros da banca

DSc. Diogo Antônio de Sousa - Orientador (Universidade Federal de Ouro Preto)  
DSc. Washington Luis Vieira da Silva (Universidade Federal de Ouro Preto)  
MSc. Sávio Sade Tayer (Universidade Federal de Ouro Preto)

Diogo Antônio de Sousa, orientador do trabalho, aprovou a versão final e autorizou seu depósito na Biblioteca Digital de Trabalhos de Conclusão de Curso da UFOP em 25/08/2025



Documento assinado eletronicamente por **Diogo Antonio de Sousa, PROFESSOR DE MAGISTERIO SUPERIOR**, em 25/08/2025, às 14:15, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 6º, § 1º, do [Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015](#).



A autenticidade deste documento pode ser conferida no site [http://sei.ufop.br/sei/controlador\\_externo.php?acao=documento\\_conferir&id\\_orgao\\_acesso\\_externo=0](http://sei.ufop.br/sei/controlador_externo.php?acao=documento_conferir&id_orgao_acesso_externo=0), informando o código verificador **0966113** e o código CRC **FCAA04EE**.

A Deus dedico mais esta etapa vencida,  
aos meus avós Mozar e Maria e minha  
mãe Gigliola por nunca deixarem de  
acreditar.

## **AGRADECIMENTO**

Deixo meu agradecimento especialmente à minha família, pois apenas sou reflexo do que um dia sonhei ser para vocês. Obrigado.

Agradeço a minha melhor amiga e parceira de vida Iara, por todo o carinho e companheirismo.

Agradeço ao meu orientador Diogo Antônio de Sousa, por todo o incentivo, empenho e suporte na realização deste trabalho

A todos professores da gloriosa Escola de Minas de Ouro Preto, especialmente do DEMEC, por todo o conhecimento e aprendizado que levarei por toda a vida.

Obrigado a empresa ACTECH por me dar todo apoio e suporte para realização desse trabalho

A República Vaticano por ser outro lar que em minha vida encontrei.

A todos os amigos que estiveram comigo nessa jornada que foi Ouro Preto, obrigado!

*“Você pode encontrar muitas derrotas, mas você não deve ser derrotado. Na verdade, pode ser necessário encontrar derrotas, assim você pode saber quem você realmente é, o que pode crescer e como você pode sair da derrota” – Maya Angelou.”*

## RESUMO

Este trabalho apresenta o desenvolvimento de um sistema mecânico para o ensacamento de hidrato úmido em *Big Bags*, voltado à substituição do processo manual de enchimento por uma solução automatizada eficiente e segura. O projeto contemplou o dimensionamento de estruturas metálicas, rosca transportadora, integrando conceitos de projeto mecânico, automação e metrologia. A metodologia envolveu pesquisa bibliográfica, seleção de materiais e componentes comerciais, modelagem de *software* de simulação e análise estrutural. Como resultado, obteve-se um equipamento capaz de atender à demanda de 12960 toneladas/mês, com ganhos de precisão em pesagem, robustez estrutural e maior confiabilidade em comparação ao processo manual tradicional. Conclui-se que a integração de diferentes subsistemas mecânicos e automatizados permitiu propor uma solução aplicável ao ambiente industrial, contribuindo para a padronização do processo, redução de esforços manuais e aumento da produtividade.

**Palavras-chave:** Automação industrial; Sistemas de pesagem; Metrologia; Estruturas metálicas; Modelagem.

## ABSTRACT

This work presents the development of a mechanical system for the bagging of wet hydrate in Big Bags, aimed at replacing the manual filling process with an efficient and safe automated solution. The project included the design of metallic structures and a screw conveyor, integrating concepts of mechanical design, automation, and metrology. The methodology involved bibliographic research, selection of materials and commercial components, software modeling for simulation, and structural analysis. As a result, equipment capable of meeting a demand of 12,960 tons per month was obtained, with improvements in weighing accuracy, structural robustness, and higher reliability compared to the traditional manual process. It is concluded that the integration of different mechanical and automated subsystems made it possible to propose a solution applicable to the industrial environment, contributing to process standardization, reduction of manual efforts, and increased productivity.

**Keywords:** Industrial automation; Weighing systems; Metrology; Metallic structures; Modeling..

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - <i>Big Bag</i> Fonte: Pesquisa Direta.....	6
Figura 2 - Fluxograma da metodologia aplicada Fonte: Pesquisa Direta.....	24
Figura 3 - Catálogo Manual de Operação XCMG-LW300-BR Fonte: XCMG (2024) .....	31
Figura 4 - Moega em 3D Fonte: Pesquisa Direta .....	32
Figura 5 - Valores de massa e volume de Hidrato Úmido fornecidos pelo <i>SolidWorks</i> Fonte: Pesquisa Direta .....	33
Figura 6 - Valore da massa da moega fornecido pelo <i>SolidWorks</i> Fonte: Pesquisa Direta.....	34
Figura 7 - Detalhamento da moega Fonte: Pesquisa Direta .....	35
Figura 8- Vista frontal da estrutura metálica Fonte: Pesquisa Direta.....	36
Figura 9- Vista isométrica da estrutura metálica Fonte: Pesquisa Direta.....	36
Figura 10 - Tabela, barras e perfis de guias de bolso Fonte: Gerdau (2025).....	37
Figura 11 - Pontos de solicitação de carga da estrutura Fonte: Pesquisa Direta .....	38
Figura 12 - Limite de escoamento máximo Fonte: Pesquisa Direta.....	38
Figura 13 - Fator de segurança na estrutura Fonte: Pesquisa Direta .....	39
Figura 14 - Estrutura metálica em detalhe Fonte: Pesquisa Direta.....	40
Figura 15 - Massa da chapa metálica que apoia o <i>Big Bag</i> Fonte: Pesquisa Direta.....	41
Figura 16 - Detalhe das molas superiores Fonte: Pesquisa Direta .....	42
Figura 17 - Detalhe das molas inferiores Fonte: Pesquisa Direta.....	42
Figura 18 - Dimensionais dos amortecedores de apoio da estrutura Fonte: VIBRA-STOP (2025) .....	43
Figura 19 - Suporte duplo motovibradores 3D Fonte: Pesquisa Direta.....	44
Figura 20 - Suporte duplo motovibradores detalhado Fonte: Pesquisa Direta .....	45
Figura 21 - Layout isométrico e transparente dos motovibradores Fonte: Pesquisa Direta .....	46
Figura 22 - Características da borracha natural Fonte: Pesquisa Direta.....	46
Figura 23 - Vista da junta elastômera Fonte: Pesquisa Direta.....	47

Figura 24 - Junta elastômera em detalhe Fonte: Pesquisa Direta .....	48
Figura 25 - Dimensionamento rosca helicoidal Fonte: Pesquisa Direta.....	49
Figura 26 - Vista isométrica do alojamento da rosca helicoidal Fonte: Pesquisa Direta .....	50
Figura 27 - Vista de montagem do alojamento da rosca helicoidal Fonte: Pesquisa Direta ....	50
Figura 28 - Vista em detalhe da rosca helicoidal Fonte: Pesquisa Direta .....	51
Figura 29 - Detalhamento da rosca helicoidal Fonte: Pesquisa Direta.....	52
Figura 30 - Detalhamento do suporte de tubulação Fonte: Pesquisa Direta.....	53
Figura 31- Características do Mancal UFC 208 Fonte: SKF (2025).....	54
Figura 32 - Dimensões do Mancal UFC 208 Fonte: SKF (2025).....	54
Figura 33 - Especificações das células de carga Fonte: Alfa Instrumentos (2025).....	55
Figura 34 - Dimensões da célula de carga Fonte: Alfa Instrumentos (2025).....	56
Figura 35 - Vista 3D da célula de carga Fonte: Pesquisa Direta .....	57
Figura 36 - Vista peças inferiores Fonte: Pesquisa Direta.....	58
Figura 37 - Vista das peças superiores com alças fechadas Fonte: Pesquisa Direta .....	59
Figura 38 - Vista das peças superiores com alças abertas Fonte: Pesquisa Direta .....	60
Figura 39 - Catálogo de forças dos Cilindros Pneumáticos SMC Fonte: Tona Automação (2024) .....	61
Figura 40 - Vista de montagem do cilindro CDB55100-125M Fonte: Pesquisa Direta .....	62
Figura 41 - Vista de montagem da proteção superior Fonte: Pesquisa Direta .....	64
Figura 42 - Vista de montagem final Fonte: Pesquisa Direta.....	64
Figura 43 - Montagem real Fonte: Pesquisa Direta.....	65
Figura 44 - Vista isométrica da montagem física Fonte: Pesquisa Direta.....	65

**LISTA DE TABELAS**

Tabela 1 - Variáveis e indicadores Fonte: Pesquisa Direta .....	28
Tabela 2 - Características motovibrador Oil Vibra 411 kg de impacto Fonte: OIL VIBRATORS (2025) .....	44

**LISTA DE SIMBOLOS**

- Af – Área efetiva do pistão (cm<sup>2</sup>)  
C – Fator de correção para inclinação (adimensional)  
D – Diâmetro externo do helicóide (m)  
F – Força (N)  
K – Constante elástica da mola (N/m)  
L – Comprimento útil da rosca (m)  
m – Massa (kg)  
M – Massa total (t)  
N – Rotação (rpm)  
P – Potência (W ou CV)  
Pp – Pressão de trabalho (bar)  
Q – Vazão mássica (t/h)  
S – Passo da rosca (m)  
T – Torque (N·m)  
t – Tempo (h ou s)  
v – Velocidade linear (m/s)  
V – Volume (m<sup>3</sup>)  
fs – Fator de serviço (adimensional)  
 $\alpha$  – Ângulo de inclinação (°)  
 $\gamma$  – Massa específica (t/m<sup>3</sup> ou kg/m<sup>3</sup>)  
 $\rho$  – Densidade (kg/m<sup>3</sup>)  
 $\eta$  – Rendimento (%)  
 $\omega$  – Velocidade angular (rad/s)  
 $\theta$  – Ângulo (°)  
 $\tau$  – Tensão de cisalhamento (Pa)
- t/h – toneladas por hora  
rpm – rotações por minuto  
m<sup>3</sup> – metro cúbico  
cm<sup>2</sup> – centímetro quadrado  
kN – quilonewton  
MPa – megapascal  
bar – bar

W – watt

CV – cavalo-vapor

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO .....</b>	<b>1</b>
1.1	Formulação do Problema.....	1
1.2	Justificativa.....	2
1.3	Objetivos.....	3
1.3.1	Geral .....	3
1.3.2	Específicos.....	3
1.4	Estrutura do Trabalho .....	3
<b>2</b>	<b>REVISÃO BIBLIOGRÁFICA .....</b>	<b>4</b>
2.1	Projeto.....	4
2.2	Automação.....	4
2.2.1	Automação em Projetos Mecânicos .....	5
2.3	<i>Big Bags</i> .....	5
2.4	Estruturas de Armazenagem de Material.....	6
2.4.1	Moegas .....	7
2.5	Sistemas de Transporte de Material.....	8
2.5.1	Rosca transportadora .....	9
2.6	Motores elétricos para roscas transportadoras.....	10
2.7	Rolamentos e mancais .....	11
2.8	Sistemas de Pesagem de Material.....	11
2.8.1	Balança integradora com célula de carga .....	12
2.9	Sistemas de Vibração.....	13
2.9.1	Sistemas de vibração para compactação e escoamento de material .....	14
2.9.2	Motovibradores.....	15
2.10	Sistemas de inibição de vibração.....	16
2.10.1	Molas .....	17
2.10.2	Juntas de elastômeros .....	18
2.11	Sistemas de içamento de carga .....	19
2.11.1	Cilindros Pneumáticos.....	19
2.11.2	Classificação cilindros pneumáticos.....	20
<b>3</b>	<b>METODOLOGIA.....</b>	<b>22</b>
3.1	Tipo de Pesquisa.....	22
3.2	Materiais e Métodos .....	23

3.2.1	Moega .....	24
3.2.2	Estrutura metálica .....	24
3.2.3	Amortecedores e molas .....	25
3.2.4	Motovibradores.....	25
3.2.5	Junta elastômera .....	25
3.2.6	Dimensionamento da rosca transportadora.....	25
3.2.7	Seleção rolamentos e mancais .....	26
3.2.8	Mesa de içamento .....	26
3.2.9	Seleção dos cilindros pneumáticos .....	27
3.3	Variáveis e indicadores.....	27
3.4	Instrumento de coleta de dados .....	28
3.5	Tabulação de dados .....	29
3.6	Considerações finais .....	29
<b>4</b>	<b>RESULTADOS .....</b>	<b>30</b>
4.1	Moega .....	30
4.2	Estrutura metálica .....	35
4.3	Seleção de molas .....	40
4.4	Motovibradores.....	43
4.5	Dimensionamento da junta .....	46
4.6	Dimensionamento da rosca helicoidal .....	48
4.8	Dimensionamento da mesa de içamento .....	55
4.9	Configuração final do sistema de ensacamento.....	63
<b>5</b>	<b>CONCLUSÃO.....</b>	<b>66</b>
<b>6</b>	<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....</b>	<b>67</b>
	<b>ANEXO.....</b>	<b>67</b>

# 1 INTRODUÇÃO

## 1.1 Formulação do Problema

No contexto industrial, o controle rigoroso da velocidade e da massa durante o processo de embalagem é fundamental para assegurar a qualidade, a segurança e a eficiência operacional. Conforme descrito pelo Centro de Tecnologia de Embalagem - CETEA (2021) as embalagens devem garantir a integridade do produto durante o transporte e a distribuição, suportando esforços dinâmicos e variações de carga presentes nesses estágios. Para tanto, é imprescindível que o processo produtivo mantenha um ritmo adequado, aliado ao controle preciso da massa dos produtos embalados, evitando tanto o excesso quanto a falta de material, fatores que podem comprometer a conformidade regulatória e a satisfação do consumidor.

Além disso, a automação dos sistemas de embalagem, integrada a sensores e dispositivos de pesagem, possibilita a manutenção de um fluxo contínuo e uniforme, reduzindo paradas e retrabalhos. Observa-se que a elevação da velocidade, quando devidamente controlada, contribui para o aumento da produtividade sem sacrificar a precisão e a qualidade, enquanto o controle acurado da massa minimiza desperdícios e assegura a padronização do produto final. Dessa forma, o equilíbrio entre velocidade e controle de massa configura-se como fator crítico para a otimização dos processos industriais, impactando diretamente a competitividade e a sustentabilidade das operações, o que pode ser apresentado e melhorado em um novo projeto (CETEA, 2021).

Conforme destacado por Oliveira *et al.* (2024), o correto dimensionamento e a integração desses sistemas com os equipamentos de transporte e processamento são fundamentais para a otimização do espaço físico, minimização de perdas materiais e aumento da eficiência operacional. Além disso, a automação desses sistemas contribui para a redução de intervenções manuais, promovendo maior segurança e confiabilidade aos processos produtivos.

A automação industrial apresenta-se como elemento crucial para a melhoria do desempenho dos processos produtivos, eliminando tempos de ociosidade, reduzindo perdas e desperdícios, além de padronizar produtos e garantir maior uniformidade e qualidade ao produto final. A automação integra áreas como mecânica, eletrônica e informática, promovendo ganhos significativos em agilidade, economia, rendimento e segurança. Ademais, a automação viabiliza o controle preciso dos processos, resultando em maior produtividade e redução de retrabalho (Rocha, 2022).

No setor industrial, o processo de ensacamento de materiais em *Big Bag* ainda é, em muitos casos, realizado de forma manual, o que gera limitações quanto à precisão da pesagem, à padronização da produção e à segurança dos operadores. Esse cenário se mostra particularmente crítico no caso do hidrato úmido, cuja a elevada massa específica e condições de manuseio exigem maior controle e robustez dos equipamentos utilizados. Assim a ausência de um sistema mecânico adequado compromete a eficiência operacional, aumenta o risco de falhas e restringe a competitividade da empresa. Diante desse contexto surge a necessidade de desenvolver um sistema mecânico automatizado para o ensacamento de hidrato úmido em *Big Bags*, capaz de garantir precisão na pesagem, confiabilidade estrutural e redução da dependência de esforços manuais. A formulação desse problema orienta o presente trabalho, que busca apresentar uma solução aplicável ao ambiente industrial, aliando princípios de projeto mecânico, automação e metrologia.

Assim, este trabalho tem como objetivo responder à seguinte problemática:

## **COMO CONSTRUIR UM SISTEMA MECÂNICO DE ENSACAMENTO DE HIDRATO ÚMIDO EM *BIG BAGS* ?**

### **1.2 Justificativa**

A realização de um projeto mecânico para o ensacamento de hidrato úmido em *Big Bags* justifica-se pela necessidade de substituir o processo manual atualmente adotado pela empresa analisada neste estudo, que apresentava limitações em termos de produtividade, ergonomia e segurança. O esforço físico demandado pelos operadores, aliado à baixa precisão de pesagem e à falta de padronização, gera perdas de material, retrabalhos e riscos de acidentes. Sob perspectiva industrial, a automação desse processo representa um ganho significativo: maior controle da massa ensacada, redução de desperdícios, aumento da confiabilidade operacional e melhorias nas condições de trabalho. Além disso, a solução proposta está alinhada às demandas atuais por eficiência energética, redução de custos e competitividade no setor produtivo. Dessa forma, o desenvolvimento de um sistema mecânico automatizado para o ensacamento de hidrato úmido em *Big Bags* contribui não apenas para otimizar o desempenho da linha de produção, mas também para promover maior sustentabilidade e segurança no ambiente industrial.

### **1.3 Objetivos**

#### **1.3.1 Geral**

Desenvolver um projeto mecânico de um sistema de ensacamento de “*Big Bags*” com Hidrato Úmido e pesagem.

#### **1.3.2 Específicos**

- Realizar um estudo bibliográfico sobre o dimensionamento de ensacadeiras, com foco na seleção de seus componentes, moegas, roscas transportadoras, içamento de cargas, e células de cargas.
- Dimensionar uma ensacadeira eficiente que atenda à capacidade de produção mensal de 12960 ton / mês, substituindo o processo manual de enchimento de *Big Bags*.
- Realizar a montagem do equipamento no campo
- Validar o projeto mecânico desenvolvido, por meio de comparação entre os resultados teórico e os desempenhos observados no equipamento construído, avaliando a conformidade entre o modelo real da máquina em operação.

### **1.4 Estrutura do Trabalho**

Pode-se dividir esse trabalho em 5 capítulos, dos quais no primeiro pode-se observar a apresentação do problema e todos os aspectos que se pode trabalhar em conceitos fundamentando a pergunta problema.

Já o segundo, se é analisado uma revisão bibliográfica, dos conceitos dos que serão aprofundados em uma base teórica para argumentação deste trabalho.

No terceiro capítulo é realizado uma descrição detalhada sobre a metodologia utilizada para a pesquisa e análise na obtenção de resultados.

Em seguida no capítulo quatro, aborda-se a análise propriamente dita dos resultados dos cálculos apresentados e quais serão avaliados conforme os parâmetros observados.

E como conclusão no capítulo 5, trata-se de demonstração do estudo ajudará a entender como um projeto pode mudar a realidade de uma empresa.

## **2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA**

### **2.1 Projeto Mecânico**

De acordo com Vargas (2009), projetos são empreendimentos temporários, com início e fim definidos, desenvolvidos para criar um produto, serviço ou resultado exclusivo.

Para Kerzner (2013), projeto é um esforço temporário empreendido para criar um produto, serviço ou resultado exclusivo, que demanda planejamento, execução e controle rigorosos para atender aos requisitos estabelecidos.

Os projetos mecânicos são um subsetor da engenharia que envolve a concepção, análise e fabricação de componentes e sistemas mecânicos, como máquinas, estruturas e dispositivos de transmissão de energia (SHIGLEY *et al.*, 2015).

Conforme Norton (2004), o projeto mecânico é uma atividade multidisciplinar que integra conhecimentos de mecânica, materiais, termodinâmica e controle, visando transformar necessidades técnicas em soluções concretas.

A aplicação de princípios científicos e tecnológicos permite a otimização do desempenho, a prevenção de falhas e a redução de custos operacionais. Além disso, a incorporação de automação nos projetos mecânicos tem se mostrado fundamental para aumentar a precisão, a produtividade e a segurança dos processos industriais (Rocha, 2022).

### **2.2 Automação**

Segundo Groover (2008), a automação pode ser definida como a tecnologia que lida com a aplicação de sistemas mecânicos, eletrônicos e baseados em computador para operar e controlar a produção.

Além disso, a automação está intimamente ligada ao conceito de controle automático de processos, em que instrumentos são utilizados para medir, transmitir, comparar e atuar em sistemas, a fim de obter o produto desejado com pouca ou nenhuma intervenção humana. Conforme o dicionário Aurélio (2002), automação é o “sistema pelo qual os mecanismos controlam seu próprio funcionamento, quase sem interferência do homem”. A automação, portanto, representa uma evolução tecnológica que visa aumentar a produtividade, a precisão e a segurança em diversos setores, tornando-se uma realidade cada vez mais presente no cotidiano das organizações e da sociedade.

Além disso, a automação está associada à redução de erros humanos e ao aumento da produtividade. Para Oliveira (2020, p. 45), "a automação permite a execução de tarefas repetitivas com maior velocidade e confiabilidade, liberando o ser humano para atividades que exigem criatividade e tomada de decisão".

### **2.2.1 Automação em Projetos Mecânicos**

A importância da automação em projetos mecânicos para uma empresa é evidenciada pelos benefícios diretos que ela proporciona ao desenvolvimento e à operação dos equipamentos industriais. A integração de sistemas automatizados em projetos mecânicos resulta em ganhos significativos de produtividade, repetibilidade e rastreabilidade dos processos, além de reduzir a dependência da força de trabalho manual e os riscos de lesões ocupacionais. Projetos mecânicos bem estruturados, que incorporam automação desde a concepção, permitem a visualização completa do sistema, a previsão de eventuais falhas e a otimização do dimensionamento de componentes, fatores que aumentam a confiabilidade e a segurança do projeto, (Alves *et al.*, 2022).

Além disso, a automação se apresenta como uma aliada estratégica no desenvolvimento de produtos e equipamentos mecânicos personalizados, com maior rapidez de prototipagem e adaptação às especificações técnicas do cliente. Isso é possível graças à utilização de ferramentas como softwares CAD/CAE integrados a sistemas automatizados de testes e validações. De acordo com estudos realizados por Martins (2017), a automação aplicada a projetos mecânicos em empresas do setor metalmeccânico resultou em uma redução média de 25% no tempo de desenvolvimento e uma queda significativa nos custos operacionais associados à produção em pequena e média escala.

### **2.3 Big Bags**

Conforme a Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT), em sua norma NBR 16029:2012, o contentor flexível é definido como um corpo de tecido flexível, tipicamente polipropileno, com um ou mais dispositivos de içamento (alças), projetado para o transporte de sólidos. Sua capacidade volumétrica pode chegar a 3 metros cúbicos e a capacidade de carga varia, em geral, de 500 a 2.000 quilogramas. A estrutura do *Big Bag* é pensada para maximizar

a eficiência operacional, permitindo o carregamento e descarregamento por meio de equipamentos mecânicos, como empilhadeiras e guindastes, o que resulta em significativa redução do tempo de manuseio e da necessidade de mão de obra quando comparado à sacaria convencional (SILVA; VIEIRA, 2016).

Pode-se observar o *Big Bag* na Figura 1



Figura 1 - *Big Bag*  
Fonte: Pesquisa Direta (2025)

Nota-se na figura 1 a utilização de um *Big Bag* dentro da indústria.

## 2.4 Estruturas de Armazenagem de Material

As estruturas de armazenagem de material consistem em sistemas físicos e organizacionais projetados para a estocagem segura, eficiente e acessível de insumos, produtos semiacabados e acabados dentro de uma empresa ou entre elos da cadeia produtiva. Tais estruturas englobam desde armazéns e depósitos até dispositivos específicos como prateleiras metálicas, estantes porta-paletes, silos, tanques e contêineres. A armazenagem é parte fundamental da logística industrial, sendo responsável não apenas pelo acondicionamento dos materiais, mas também por manter a integridade, rastreabilidade e disponibilidade dos produtos de acordo com as demandas do processo produtivo (Rodrigues, 2015)

De acordo com Ballou (2006), do ponto de vista técnico, as estruturas de armazenagem devem ser dimensionadas considerando critérios como tipo de material, volume, massa,

frequência de acesso, métodos de movimentação e segurança. O sistema de armazenagem ideal é aquele que minimiza custos e maximiza a eficiência do fluxo de materiais, ao mesmo tempo em que garante condições adequadas de conservação e segurança. Assim, a escolha das estruturas está diretamente relacionada ao layout da planta industrial, à automação empregada na movimentação interna e ao perfil da produção.

#### 2.4.1 Moegas

Para uma definição assertiva sobre o que é moega Roberts (2017, p. 112) define:

Moegas, também conhecidas como tremonhas ou funis de armazenamento, são estruturas de transição projetadas para facilitar o fluxo controlado de materiais granulares entre equipamentos industriais. Segundo Roberts (2017, p. 112) as moegas são caracterizadas por sua geometria convergente, que promove a transição entre a seção de armazenamento e o ponto de descarga, garantindo o escoamento contínuo do material. Seu design fundamental consiste em uma seção vertical superior (denominada corpo) conectada a uma seção inferior inclinada (cone de descarga).

Uma moega pode ser definida como um reservatório em formato de funil, geralmente uma pirâmide ou um cone invertido, projetado para receber uma grande quantidade de material de forma intermitente e descarregá-lo de maneira controlada e contínua em um sistema subsequente, como uma esteira transportadora, um alimentador vibratório ou um elevador de canecas (REIS, 2011).

Conforme Barbosa-Póvoa *apoud* Guimareais (2018), o projeto de uma moega é um desafio de engenharia que deve levar em consideração as propriedades do material a ser manuseado, como granulometria, umidade, densidade e ângulo de repouso. Tais características influenciam diretamente o fluxo do material e a inclinação das paredes da estrutura. Um projeto inadequado pode levar a problemas operacionais severos, como a formação de arcos ou pontes (*bridging*), que bloqueiam completamente o fluxo, ou a formação de um canal central de escoamento (*rat holing*), que deixa material estagnado nas laterais

## 2.5 Sistemas de Transporte de Material

Segundo Tompkins *et al* (2010), os sistemas de transporte de material consistem em um conjunto de equipamentos e métodos utilizados para movimentar matérias-primas, produtos em processo ou produtos acabados de um ponto a outro dentro de uma planta industrial ou entre diferentes setores de uma cadeia produtiva. São fundamentais para garantir o fluxo contínuo e eficiente dos materiais ao longo do processo produtivo. O sistema de transporte de materiais é responsável por até 70% do tempo total de produção em muitas operações industriais, o que demonstra seu papel estratégico para a eficiência logística e produtiva.

Conforme Groover (2008), a concepção de um sistema de movimentação eficaz é norteada por um conjunto de princípios universalmente reconhecidos. Dentre eles, o Princípio do Planejamento estabelece que toda movimentação deve ser resultado de um plano detalhado, que atenda às necessidades de produção e às restrições estratégicas. O Princípio da Otimização do Fluxo busca organizar o percurso dos materiais de modo a minimizar a distância, o tempo e os manuseios. Adicionalmente, o Princípio Ergonômico visa adaptar as tarefas e os equipamentos às capacidades humanas para aumentar a segurança e prevenir lesões. Por fim, o Princípio da Automação sugere a aplicação de tecnologias para substituir operações manuais repetitivas ou perigosas, visando maior eficiência, precisão e segurança

Tompkins *et al.* (2018, p. 147-152), propõem uma classificação abrangente dos sistemas de transporte de materiais em ambientes industriais, dividindo-os em duas categorias principais:

- Sistemas de Transporte Contínuo: Caracterizam-se pelo fluxo ininterrupto de materiais ao longo de todo o sistema de movimentação (TOMPKINS et al., 2018, p. 148). Os autores subdividem esta categoria em:
  - Transportadores por arraste (correias, correntes);
  - Transportadores por gravidade (calhas, rampas);
  - Transportadores por vibração;
  - Sistemas pneumáticos.
- Sistemas de Transporte Discreto: Destinam-se ao movimento de unidades individuais ou lotes definidos de materiais (TOMPKINS et al., 2018, p. 150). Esta categoria inclui:
  - Equipamentos com operador (empilhadeiras, paleteiras);

- Sistemas automatizados (AGVs, robôs);
- Transportadores acumulativos;
- Sistemas suspensos.

### 2.5.1 Rosca transportadora

O transportador helicoidal, também conhecido como rosca transportadora, é um mecanismo empregado na movimentação contínua de materiais a granel. Sua estrutura é composta por um parafuso de hélice contínua (helicóide) posicionado em um eixo, que rotaciona dentro de uma calha fixa, a qual pode ter seção transversal em "U" ou circular (tubular). O princípio de funcionamento consiste na rotação do eixo, que faz com que as faces da hélice impulsionem o material, forçando seu deslocamento no sentido axial ao longo da calha, desde o ponto de alimentação até o de descarga. Este tipo de equipamento é aplicado para o transporte de materiais sólidos com diversas granulometrias, como cimento, grãos e pós químicos (REIS, 2011).

O transportador helicoidal é um equipamento para movimentação contínua de materiais, de modo que sua versatilidade o torna presente em inúmeros setores industriais. Seu correto dimensionamento é essencial para a eficiência do processo, e o cálculo da capacidade de transporte é a etapa fundamental deste dimensionamento. A determinação da vazão mássica, ou seja, quantas toneladas o equipamento consegue mover por hora, depende de fatores geométricos, da velocidade de operação e de coeficientes que representam as características do material transportado e a configuração do sistema.

Uma das formulações mais consagradas para este cálculo, apresentada por Moura (2004), permite determinar a capacidade mássica (Q) em toneladas por hora (t/h) e é expressa pela Eq. 1:

$$Q = 60 \cdot \frac{\pi \cdot D^2}{4} \cdot S \cdot N \cdot \psi \cdot \gamma \cdot C \quad (1)$$

Sendo:

Q = Capacidade mássica do transportador (t/h);

D = Diâmetro do helicóide (m);

$S$  = Passo da rosca (m);

$N$  = Velocidade de rotação (rpm);

$\psi$  = Eficiência de carregamento (adimensional), que representa o grau de ocupação da calha e varia conforme o material. Por exemplo: 0,125 para materiais abrasivos de fluxo lento; 0,25 para fluxo médio com média abrasividade; 0,32 para fluxo livre com média abrasividade; e 0,4 para fluxo livre de materiais não abrasivos;

$\gamma$  = Massa específico do material ( $t/m^3$ );

$C$  = Fator de correção para a inclinação do transportador (adimensional), que reduz a capacidade à medida que o ângulo aumenta.

A precisão no levantamento desses parâmetros é crucial. A eficiência de carregamento ( $\psi$ ) e o fator de inclinação ( $C$ ) são obtidos em tabelas técnicas e dependem de uma análise criteriosa do material (abrasividade, fluidez, granulometria) e do layout da instalação. A partir da capacidade calculada, define-se a potência do motor e dimensionam-se os demais componentes mecânicos do equipamento, como o eixo, os mancais e o sistema de acionamento, garantindo a integridade estrutural e a vida útil do transportador (SHIGLEY; MISCHKE; BUDYNAS, 2005).

## 2.6 Motores elétricos para roscas transportadoras

Conforme a CEMA (2011), o dimensionamento de motores para transportadores helicoidais requer o cálculo preciso da potência e do torque necessários para vencer a resistência do material e as forças de atrito ao longo do transporte. Esses sistemas são amplamente utilizados em indústrias de mineração, alimentícia e química, onde a eficiência energética e a confiabilidade operacional são críticas. Destaca-se que a seleção inadequada do motor pode levar a falhas prematuras, consumo excessivo de energia ou subutilização do equipamento (CEMA, 2011).

De acordo com Shigley (2018), a potência necessária para acionar uma rosca transportadora horizontal pode ser calculada por meio de equações que consideram a vazão mássica, o comprimento do transportador e o coeficiente de atrito do material. Evidencia-se que a aplicação de fatores de correção, como o fator de serviço e o rendimento do redutor, é essencial para garantir margens de segurança adequadas às condições reais de operação. Além

disso, ressalta-se que o torque no eixo deve ser verificado para evitar sobrecargas mecânicas (SHIGLEY, 2018).

## **2.7 Rolamentos e mancais**

Os rolamentos e mancais desempenham papel fundamental no suporte e no guiamento de elementos rotativos em sistemas mecânicos, possibilitando a transmissão de movimento com mínima perda por atrito. Enquanto os mancais oferecem apoio estático e absorção de cargas, os rolamentos viabilizam o movimento relativo entre superfícies com reduzida resistência mecânica, devido ao uso de corpos rolantes como esferas ou roletes. Conforme Callister e Rethwisch (2014), a escolha entre mancais de deslizamento e rolamentos depende da natureza da aplicação, considerando fatores como carga, velocidade e condições de lubrificação.

A classificação desses elementos pode ser feita com base na forma de contato, na natureza do movimento e no tipo de carga suportada. Rolamentos podem ser divididos, principalmente, em rolamentos de esferas e de rolos, enquanto os mancais podem ser classificados como hidrodinâmicos ou hidrostáticos, dependendo do regime de lubrificação. Os rolamentos de esferas são utilizados em aplicações que exigem menor atrito e alta rotação, enquanto os de rolos são mais adequados para cargas radiais elevadas (CALLISTER; RETHWISCH, 2014).

## **2.8 Sistemas de Pesagem de Material**

Conforme CEMB (2014), os sistemas de pesagem de materiais consistem em um conjunto de componentes integrados, incluindo células de carga, indicadores e softwares, projetados para mensurar a massa de substâncias com exatidão. Esses sistemas são amplamente empregados em setores industriais, como o alimentício, farmacêutico e químico, nos quais a precisão é fundamental. Ressalta-se que a calibração periódica e a seleção adequada dos equipamentos são imprescindíveis para assegurar a confiabilidade dos resultados. Ademais, sistemas automatizados podem minimizar erros humanos e elevar a eficiência produtiva (CEMB, 2014).

De acordo com Silva e Oliveira (2017), os sistemas de pesagem passaram por avanços significativos com a incorporação de tecnologias digitais, possibilitando sua integração a

sistemas de gestão empresarial. Evidencia-se que a rastreabilidade dos dados gerados por esses sistemas é crucial para o atendimento a normas regulatórias, como as estabelecidas pela ANVISA e ISO 9001. Além disso, destaca-se que a escolha do sistema deve levar em consideração aspectos como capacidade, ambiente operacional e necessidade de automação (SILVA; OLIVEIRA, 2017).

Em estudo mais recente, Pereira et al. (2020) analisaram sistemas de pesagem de alta precisão para laboratórios farmacêuticos, enfatizando que a incerteza da medição deve ser reduzida para evitar desvios em dosagens de princípios ativos. Constatou-se que a utilização de células de carga com compensação térmica e proteção contra interferências eletromagnéticas é indispensável em ambientes sensíveis. Também se aborda a relevância da certificação metrológica para garantir conformidade com padrões internacionais (PEREIRA et al., 2020).

Por fim, sob uma perspectiva teórica, Ribeiro (2019) define os sistemas de pesagem como parte integrante da metrologia industrial, sendo essenciais para o controle de qualidade e a gestão de custos. Discute-se que a implementação desses sistemas demanda a análise de requisitos legais e técnicos, como a Resolução INMETRO nº 236/1994. Também se salienta a tendência de sistemas conectados à Internet das Coisas (IoT), que permitem o monitoramento remoto e a coleta de dados em tempo real (RIBEIRO, 2019).

### **2.8.1 Balança integradora com célula de carga**

As balanças estacionárias com célula de carga constituem sistemas de pesagem de alta precisão projetados para operação em condições estáticas, amplamente utilizados em laboratórios e indústrias que demandam exatidão em medições de massa. Segundo Almeida (2019), esses equipamentos operam com base no princípio de células de carga do tipo *strain gauge*, que convertem deformações mecânicas em sinais elétricos proporcionais à massa aplicada. Diferentemente de sistemas dinâmicos utilizados em esteiras transportadoras, as balanças estacionárias realizam medições em condições de repouso, o que permite alcançar níveis de precisão superiores a  $\pm 0,1\%$  da capacidade nominal, sendo essenciais em aplicações onde pequenas variações de massa são críticas.

Os componentes principais desses sistemas incluem plataforma rígida de pesagem, células de carga, sistema de condicionamento de sinal, interface digital e estrutura de proteção contra interferências ambientais (NOGUEIRA; MARTINS, 2021). A arquitetura desses

equipamentos é projetada para minimizar influências externas, sendo que os modelos mais avançados incorporam tecnologias como compensação automática de temperatura e filtros digitais para redução de ruído elétrico. Carvalho et al. (2022) destacam que as balanças de última geração podem realizar até 100 leituras por segundo com tempo de estabilização inferior a 2 segundos, características que as tornam particularmente adequadas para processos industriais que exigem simultaneamente rapidez e precisão.

No contexto industrial, essas balanças encontram aplicações críticas em diversos setores. Na indústria farmacêutica, são essenciais para dosagem precisa de princípios ativos, onde variações mínimas podem comprometer a qualidade do produto final. No setor químico, são amplamente utilizadas no controle de matérias-primas, especialmente em processos que exigem pesagem repetitiva com alta confiabilidade (RIBEIRO, 2020). A conformidade metrológica desses equipamentos é regulamentada pela norma ABNT NBR ISO/IEC 17025, que estabelece requisitos rigorosos para calibração periódica utilizando massas padrão rastreáveis ao Inmetro (ALMEIDA, 2019).

Entre os fatores críticos que afetam o desempenho dessas balanças, destacam-se vibrações ambientais, correntes de ar, variações térmicas e instabilidade na alimentação elétrica. A instalação adequada em ambientes controlados e a realização de manutenção preventiva regular são essenciais para garantir a confiabilidade contínua das medições. Estudos recentes apontam para a crescente integração desses sistemas com plataformas de gestão industrial através de interfaces digitais, permitindo o registro automatizado de pesagens e maior rastreabilidade dos processos (CARVALHO et al., 2022).

## **2.9 Sistemas de Vibração**

O estudo de vibrações em equipamentos mecânicos é um campo da engenharia que analisa o movimento oscilatório de corpos e sistemas sob a ação de forças desbalanceadas. Fundamentalmente, qualquer sistema que possua massa e elasticidade é capaz de vibrar. A análise de vibração busca caracterizar esse movimento em termos de frequência, amplitude, e fase, para compreender suas causas e prever suas consequências. Em projetos de engenharia, a vibração pode ser um fenômeno indesejado, causando falhas por fadiga, ruído excessivo ou perda de precisão. Contudo, em certas aplicações industriais, a vibração é induzida de forma controlada e proposital, tornando-se o princípio de funcionamento de equipamentos projetados

para realizar trabalho útil, como o transporte, a dosagem e a compactação de materiais (RAO, 2018).

Do ponto de vista teórico, a vibração mecânica é caracterizada por movimentos oscilatórios de um sistema em torno de uma posição de equilíbrio, podendo ser classificada em livre, forçada, amortecida ou não amortecida. A dinâmica das vibrações em equipamentos para escoamento e compactação envolve o estudo das frequências naturais dos sistemas, modos de vibração e a resposta a excitações externas. Conforme apresentado por Vance et al. (2010), a análise de vibração utiliza conceitos avançados de física e matemática para identificar padrões de movimento que podem indicar condições operacionais ideais ou a presença de defeitos. A correta aplicação desses princípios permite o desenvolvimento de sistemas que controlam a vibração para melhorar o fluxo e a compactação, minimizando impactos negativos como desgaste e falhas estruturais (VANACE et al., 2010).

Os sistemas de vibração em equipamentos industriais são tecnologias fundamentais para o controle, otimização e manutenção de processos que envolvem escoamento e compactação de materiais. A vibração, quando devidamente controlada e aplicada, pode facilitar o fluxo de materiais sólidos, evitando bloqueios e aglomerações, além de melhorar a densidade e uniformidade na compactação. Segundo Mendes Neto (2024), a análise e controle das vibrações em máquinas industriais são essenciais para garantir a eficiência operacional, prevenir falhas prematuras e aumentar a vida útil dos equipamentos. A vibração aplicada em equipamentos como vibradores mecânicos e mesas vibratórias é cuidadosamente projetada para atuar em frequências e amplitudes específicas, otimizando o desempenho do processo (MENDES NETO, 2024).

### **2.9.1 Sistemas de vibração para compactação e escoamento de material**

Os sistemas de vibração para equipamentos são projetados a partir do conceito de vibração forçada. Neste caso, uma força excitatriz periódica, geralmente gerada por motovibradores com massas excêntricas ou por excitadores eletromagnéticos, é aplicada à estrutura do equipamento (como uma calha, peneira ou mesa). A resposta do sistema a essa excitação depende da relação entre a frequência da força aplicada e as frequências naturais do equipamento. As frequências naturais são propriedades intrínsecas do sistema, determinadas por sua massa e rigidez. Um dos principais objetivos no projeto de equipamentos vibratórios é operar em uma frequência de excitação específica que otimize o desempenho da tarefa, evitando

a ressonância — fenômeno que ocorre quando a frequência de excitação coincide com uma frequência natural, levando a amplitudes de vibração excessivas e potencialmente destrutivas (NORTON; PENNOCK, 2013).

No contexto do escoamento de materiais, os sistemas de vibração são aplicados para superar as forças de atrito interno e de adesão entre as partículas de um material a granel, bem como o atrito entre o material e as paredes do recipiente (silo, moega ou funil). A energia vibratória introduzida no sistema reduz o ângulo de atrito interno efetivo e fluidiza momentaneamente o material, promovendo seu fluxo contínuo e prevenindo a formação de arcos ou pontes (obstruções) que impedem a descarga. Equipamentos como alimentadores vibratórios, por exemplo, utilizam um movimento vibratório direcional, geralmente linear, para transportar material ao longo de uma calha. A intensidade e a frequência da vibração são cuidadosamente controladas para regular a vazão do material de forma precisa e uniforme, sendo uma tecnologia essencial para processos de dosagem e alimentação (RODRIGUES, 2010).

## **2.9.2 Motovibradores**

Segundo Linhares (2017), os motovibradores são, fundamentalmente, motores de indução que possuem massas excêntricas (contramassas) instaladas em uma ou ambas as extremidades de seu eixo. A sua função primordial não é gerar torque para movimentar uma máquina, mas sim produzir vibrações mecânicas a partir de uma força centrífuga. Esta força é gerada porque a rotação dos contramassas cria um desbalanceamento dinâmico, transmitindo uma força vibratória para a estrutura onde o motovibrador está fixado. A intensidade desta força, e conseqüentemente a amplitude da vibração, pode ser ajustada alterando a posição relativa das massas excêntricas (LINHARES, 2017).

Na mesma linha, Nikkel (2017) explica que o motovibrador é fundamental para processos industriais que demandam movimentação eficiente de produtos a granel, pois “ao ser acoplado ao equipamento, transmite vibração controlada, facilitando o transporte ou a compactação dos materiais”. Já Rodrigues (2021) salienta que além da versatilidade, a regulação da intensidade e frequência das vibrações é alcançada pelo dimensionamento das massas excêntricas e pelo controle da rotação do motor, permitindo sua adaptação a várias demandas industriais.

## 2.10 Sistemas de inibição de vibração

Os sistemas de controle de vibrações constituem elementos essenciais para a garantia da estabilidade estrutural e do adequado funcionamento de equipamentos mecânicos. Rao (2017) propõe uma classificação abrangente dos principais tipos de inibidores de vibração, categorizando-os conforme seus princípios físicos de operação e campos de aplicação predominantes.

O primeiro grupo compreende os amortecedores viscosos, caracterizados por cilindros hidráulicos contendo fluidos de alta viscosidade. Esses dispositivos atuam através da conversão de energia cinética em energia térmica durante o escoamento do fluido, demonstrando particular eficácia no amortecimento de vibrações na faixa de 50 a 500 Hz. Suas principais aplicações ocorrem nos setores automotivo e aeroespacial, especificamente em sistemas de suspensão veicular e mecanismos de controle de estabilidade aerodinâmica (RAO, 2017).

O segundo grupo engloba os isoladores elastoméricos, constituídos por arranjos estratificados de elastômeros intercalados com placas metálicas. Esses componentes mostram-se especialmente eficientes no isolamento de vibrações de baixa frequência (5-25 Hz), sendo amplamente empregados na montagem de equipamentos rotativos industriais, como compressores e bombas centrífugas. A otimização do desempenho desses isoladores depende fundamentalmente da seleção apropriada da dureza do material elastomérico (RAO, 2017).

O terceiro grupo é formado pelos absorvedores dinâmicos de massa sintonizada (TMD), que consistem em sistemas massa mola secundários acoplados à estrutura principal. Esses dispositivos operam com base no fenômeno de ressonância, sendo calibrados para vibrar em oposição de fase à estrutura que se deseja proteger. Suas aplicações mais relevantes incluem a estabilização de edifícios altos sujeitos a cargas eólicas e a proteção de linhas de transmissão de energia contra oscilações induzidas por ventos (RAO, 2017).

Os sistemas de inibição de vibração, tecnicamente conhecidos como sistemas de controle de vibração, são projetados com o objetivo de atenuar, isolar ou eliminar a energia vibratória indesejada em estruturas e equipamentos mecânicos. A presença de vibração excessiva é uma das principais causas de falhas estruturais, desgaste prematuro de componentes, imprecisão em processos de manufatura e desconforto ou risco à saúde humana. Portanto, a implementação de um sistema de inibição não é apenas uma medida corretiva, mas

uma estratégia de projeto fundamental para garantir a integridade estrutural, a confiabilidade operacional e a vida útil de um sistema mecânico. A abordagem para a inibição pode seguir dois caminhos principais: o isolamento, que busca impedir a transmissão da vibração de uma fonte para uma estrutura adjacente, ou o amortecimento, que visa dissipar a energia vibratória do próprio sistema (RAO, 2018).

Outra justificativa crucial para a utilização de sistemas de inibição é a garantia da precisão e qualidade em operações e produtos. Em ambientes industriais, equipamentos de alta precisão, como máquinas-ferramenta, equipamentos de metrologia ou sistemas ópticos, são extremamente sensíveis a vibrações externas provenientes do piso da fábrica. Vibrações podem causar desvios micrométricos na posição de uma ferramenta ou de uma peça, resultando em produtos fora das especificações de tolerância e na perda de qualidade. Nesse contexto, plataformas de isolamento vibratório são empregadas para proteger o equipamento sensível, criando uma barreira que impede a propagação das ondas vibratórias do ambiente para o sistema, assegurando assim a estabilidade necessária para a sua operação correta (SILVA, 2011).

### **2.10.1 Molas**

Os sistemas de inibição de vibração por meio de molas são amplamente utilizados em engenharia para controlar e reduzir os efeitos nocivos das vibrações mecânicas em equipamentos industriais. As molas funcionam como elementos elásticos que armazenam energia durante a compressão ou extensão e a liberam posteriormente, promovendo o isolamento vibratório ao desacoplar a fonte da vibração do sistema sensível. Conforme Ximenes e Mainier (2005), o isolamento por molas é uma das estratégias mais eficientes para bloquear a transmissão de vibrações, principalmente quando combinada com materiais amortecedores, que dissipam a energia vibratória, reduzindo a amplitude das oscilações e prevenindo danos estruturais.

A base teórica para o dimensionamento e análise do comportamento das molas em sistemas vibratórios está fundamentada na Lei de Hooke, que estabelece a relação linear entre a força aplicada  $FF$  e a deformação  $xx$  da mola, expressa pela Eq.2 onde  $K$  representa a constante elástica da mola, que depende de suas propriedades geométricas e do material utilizado (SILVA et al., 2021).:

$$F = k \cdot x_f = K \cdot x \quad (2)$$

A frequência natural do sistema massa-mola, que determina a resposta vibratória, é dada pela Eq. 3, onde  $m$  é a massa suportada pela mola:

$$Fn = \frac{1}{2\pi} \cdot \sqrt{\frac{k}{m}} \quad (3)$$

A combinação das molas com materiais elastoméricos ou amortecedores viscosos potencializa a inibição de vibrações, promovendo maior dissipação de energia e controle das oscilações, conforme destacado por Ximenes e Mainier (2005) e corroborado por estudos recentes na área de isolamento vibratório.

A aplicação prática das molas como isoladores vibratórios é amplamente documentada em estudos técnicos e acadêmicos. Oliveira et al. (2021) demonstraram que a instalação de molas helicoidais em sistemas industriais reduziu significativamente a amplitude das vibrações, melhorando a segurança operacional e a durabilidade das máquinas. A seleção e o dimensionamento corretos das molas, considerando fatores como rigidez, frequência natural e capacidade de carga, são essenciais para garantir a eficiência do sistema de inibição de vibração, alinhando-se às melhores práticas de engenharia e normas técnicas vigentes (OLIVEIRA et al., 2021; XIMENES; MAINIER, 2005).

### 2.10.2 Juntas de elastômeros

Os sistemas de inibição de vibração por juntas de elastômeros são amplamente empregados em aplicações industriais que demandam redução de ruído e controle de vibrações mecânicas. As juntas elastoméricas, geralmente compostas por borrachas sintéticas, atuam simultaneamente como elementos de vedação e de isolamento dinâmico, absorvendo parte da energia vibratória devido às suas propriedades viscoelásticas. Segundo Costa e Freitas (2017), essas propriedades permitem que os elastômeros convertam energia mecânica em calor, promovendo o amortecimento das oscilações transmitidas entre componentes.

A eficiência desses sistemas está diretamente relacionada à seleção adequada do tipo de elastômero, à frequência da excitação e ao nível de deformação imposto. Conforme Callister e Rethwisch (2014), a histerese apresentada por esses materiais durante ciclos de carga e descarga

contribui significativamente para a dissipação de energia, sendo um fator essencial no controle de vibrações de baixa e média frequência.

Além disso, os elastômeros são capazes de desacoplar mecanicamente componentes estruturais com diferentes rigidezes, minimizando a propagação de vibrações indesejadas. Estudos experimentais realizados por Silveira et al. (2018) demonstraram que a substituição de suportes metálicos rígidos por elementos elastoméricos reduziu significativamente os níveis de vibração transmitida a estruturas sensíveis.

## **2.11 Sistemas de içamento de carga**

Os sistemas de içamento de cargas compreendem o conjunto de equipamentos, acessórios, materiais e procedimentos de engenharia dedicados à elevação e movimentação vertical e horizontal de objetos pesados ou volumosos. Tais sistemas são indispensáveis em setores como a construção civil, a indústria pesada, a montagem eletromecânica e as operações portuárias, onde a movimentação manual de cargas seria impraticável ou insegura. O objetivo fundamental de um sistema de içamento é posicionar uma carga de um ponto a outro de forma segura, precisa e eficiente, utilizando equipamentos como guindastes, pontes rolantes, talhas, pórticos e guinchos (REIS, 2011).

O sistema de içamento de cargas constitui um componente essencial em atividades de construção, montagem e movimentação industrial, sendo responsável pela elevação segura e controlada de objetos pesados. Segundo Schledorn (2018), esses sistemas compreendem um conjunto de equipamentos como guindastes, talhas, cabos de aço e polias, cuja escolha depende da magnitude da carga, da altura de içamento e do ambiente operacional. A correta seleção e dimensionamento destes elementos são fundamentais para assegurar a integridade da carga e a segurança dos trabalhadores envolvidos.

### **2.11.1 Cilindros Pneumáticos**

Os cilindros pneumáticos constituem elementos fundamentais em sistemas de automação industrial, convertendo energia pneumática em movimento mecânico linear. Segundo Ribeiro (2018), estes atuadores destacam-se por sua simplicidade construtiva, alta

confiabilidade e custo relativamente baixo quando comparados a sistemas hidráulicos ou elétricos equivalentes.

O princípio de funcionamento baseia-se na admissão de ar pressurizado em uma de suas câmaras, que atua sobre a área de um êmbolo (pistão), forçando seu deslocamento e o da haste a ele conectada. A força teórica gerada pelo atuador é diretamente proporcional à pressão de trabalho e à área do êmbolo, sendo calculada pela Eq. 4:

$$F = P.A \quad (4)$$

No entanto, para o dimensionamento prático, deve-se considerar as perdas por atrito, resultando em um rendimento que geralmente varia de 90% a 95%. A seleção de um cilindro para uma aplicação específica passa, invariavelmente, pela análise da força necessária para a tarefa, o que determinará o diâmetro do êmbolo, e pelo curso (deslocamento) que a haste precisa executar (BOLTON, 2009).

### 2.11.2 Classificação cilindros pneumáticos

Conforme estabelecido pela ISO 6432:2015 e complementado por Santos (2020), os cilindros pneumáticos podem ser categorizados:

- Quanto ao Funcionamento:
  - Ação simples: Retorno por mola ou carga externa;
  - Ação dupla: Alimentação pneumática em ambos os sentidos;
  - Sem haste: Para aplicações com espaço limitado.
- Quanto à Construção:
  - Corpo metálico (aço ou alumínio);
  - Versões sanitárias (aço inox para indústrias alimentícias);
  - Cilindros tandem: Para maior força em espaços compactos.

O projeto adequado de cilindros pneumáticos requer a consideração de diversos fatores técnicos, conforme apresentado por Oliveira e Ferreira (2019):

- Força teórica, calculada pela Eq. 5:

$$F = PP.Af = P.A \quad (5)$$

Onde:

- PP = Pressão de trabalho (bar)
- Af = Área efetiva do pistão (cm<sup>2</sup>)
- Velocidade do êmbolo, influenciada por:
  - Vazão de ar comprimido;
  - Carga aplicada;
  - Amortecedores internos.

### **3 METODOLOGIA**

Neste capítulo será apresentado a metodologia utilizada para o desenvolvimento e realização deste trabalho.

#### **3.1 Tipo de Pesquisa**

Pode-se compreender segundo Silva & Simond (2005) que pesquisa quantitativa é quando há manipulação de dados numéricos, pode parecer que uma resposta correta e óbvia, mas existe outro aspecto crucial a ser considerado. A pesquisa quantitativa só é significativa quando há um problema claramente definido e quando há informações e teorias disponíveis sobre o objeto de estudo, que aqui é entendido como o foco da pesquisa ou aquilo que se deseja investigar. Em outras palavras, a pesquisa de natureza quantitativa só é viável quando se compreendem as características do objeto de estudo e se tem controle sobre o que será investigado.

De acordo com Creswell (2021) a pesquisa qualitativa envolve questionamentos, métodos de coleta, análise de dados e interpretações feitas pelo pesquisador a respeito dos significados dos dados. Mas também, por outro lado, a pesquisa quantitativa testará teorias objetivas, investigando relações entre variáveis e analisando os dados numéricos por meio de procedimentos estatísticos.

De acordo com Gil (2019), a pesquisa qualitativa parte do pressuposto de que há múltiplas perspectivas sobre a realidade, considerando fator como a influência do contexto na obtenção dos dados, análise minuciosa e detalhada dos dados, e ênfase na descrição dos resultados. Por outro lado, a pesquisa quantitativa parte do princípio de uma única realidade objetiva.

Dessa forma, este trabalho é uma pesquisa mista, composta por uma pesquisa de revisão bibliográfica visando demonstrar o processo de criação de uma estrutura de acerto de massa e embalagem, conforme os cálculos e necessidades apresentadas, e uma análise qualitativa dos materiais e dimensionamentos.

Conforme Gil (2002), as pesquisas podem ser categorizadas em três grupos principais: exploratórias, descritivas e explicativas.

As pesquisas exploratórias pretendem aprimorar ideias ou descobrir intuições. Segundo Sellitz (1967), geralmente esse tipo de pesquisa envolve levantamento bibliográfico, entrevistas com especialistas no assunto e análise de exemplos. Em muitos casos, é considerado uma forma de pesquisa bibliográfica ou de estudo de caso.

A pesquisa exploratória, frequentemente empregada em estudos de natureza pouco abrangente, tem como propósito desenvolver, esclarecer e modificar conceitos e ideias, além de levantar hipóteses. Procedimentos de amostragem e técnicas quantitativas de coleta de dados são menos utilizados nesse tipo de pesquisa. Por sua vez, a pesquisa descritiva se caracteriza pela descrição de um fenômeno com base nas relações entre as variáveis, podendo, adicionalmente, identificar e determinar a natureza dessas relações. Por fim, a pesquisa explicativa identificará os fatores que determinam ou contribuem para a ocorrência de um fenômeno (GIL, 2019).

Assim, conforme o apresentado acima se classificou este trabalho como uma pesquisa exploratória por utilizar o método bibliográfico utilizando material de estudo como artigos, materiais científicos, explicativa, ao determinar o processo de idealização de um equipamento através de métodos experimentais.

### **3.2 Materiais e Métodos**

A Figura 1 apresenta um fluxograma com as principais etapas do projeto, organizadas em uma sequência lógica que vai desde a definição do problema e revisão bibliográfica até os aspectos técnicos de dimensionamento e seleção de componentes, finalizando com a elaboração do relatório.

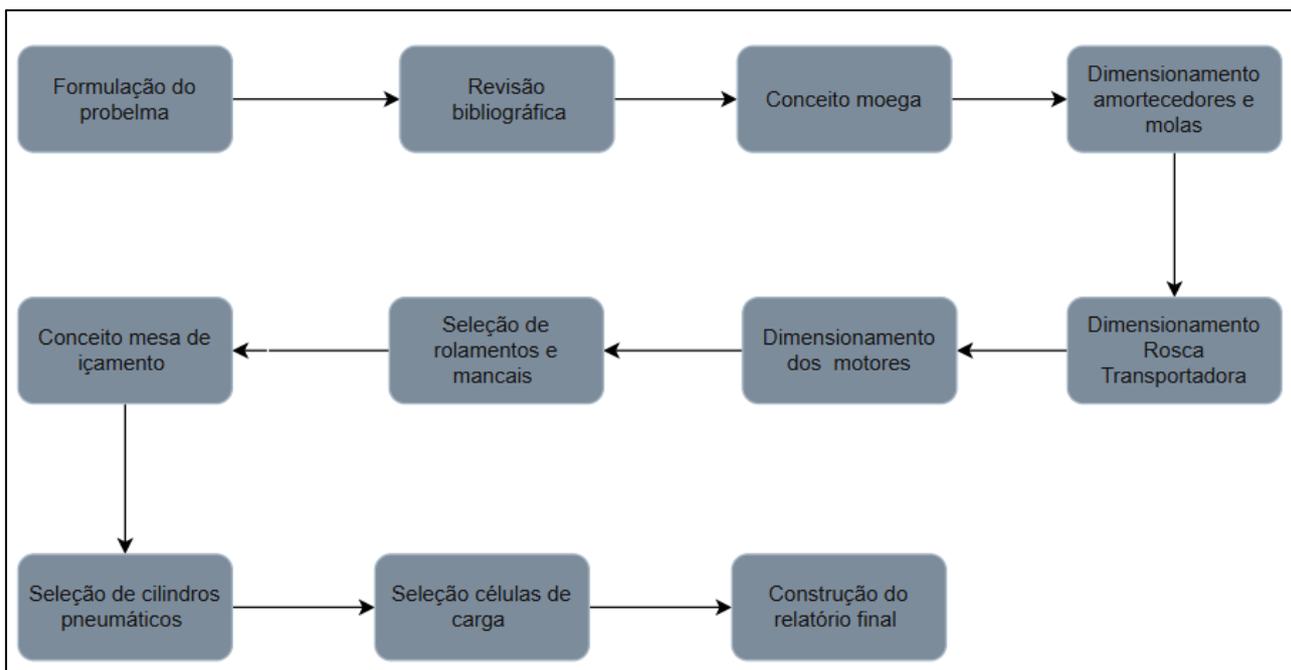


Figura 2 - Fluxograma da metodologia aplicada  
 Fonte: Pesquisa Direta (2025)

### 3.2.1 Moega

Para se dimensionar a moega de armazenagem primária observou-se alguns parâmetros de geometria e capacidade, tendo em vista a premissa de alimentação via pá carregadeira uma geometria que saia de um retângulo maior para um retângulo menor foi considerada, uma vez que se respeita o um ângulo para um bom escoamento de material.

Sobre as dimensões foi considerado 2,5 vezes o volume do *big bag*, respeitando a altura de operação de 2930mm de acordo com o manual de operação da carregadeira.

Para espessura de parede de chapa, foram consideradas chapas de menor espessura para que não haja sobrepeso na estrutura.

### 3.2.2 Estrutura metálica

Para a realizar o dimensionamento da estrutura , foi utilizado o programa *SolidWorks*, considerando pesos e esforços dos quais a estrutura será solicitada.

Optou-se pela utilização de vigas I pela relação de resistência a grandes cargas com menor deformação e são estruturas leves, reduzindo carga sobre as fundações, juntamente com

a facilidade de aquisição e baixo custo de aquisição comparados a outros tipos de estruturas para construção mecânica.

### **3.2.3 Amortecedores e molas**

Para a seleção das molas foi calculado a massa total da estrutura mais carga externa. Considerando a densidade repassada pela empresa fornecedora do Hidrato úmido de  $2.4 \text{ kg/m}^3$ .

Foi elaborado um modelo de corpo sólido no *SolidWorks* e calculado a massa do material dentro da moega cheia de Hidrato úmido e somado a massa dada da estrutura metálica, tem-se que a massa final a ser suportado pelo conjunto.

Com a massa obtido pode-se estipular um conjunto de molas das quais fossem distribuídas de forma a juntas suportarem essa carga e ter um fator de segurança.

### **3.2.4 Motovibradores**

Para a seleção dos motovibradores foi considerado a massa a ser movida / compactada e verificado catálogos de fornecedores.

### **3.2.5 Junta elastômera**

Para o dimensionamento da junta foi considerado um inibidor de vibrações mais simples, com materiais de baixo custo e que respeite a geometria da moega.

### **3.2.6 Dimensionamento da rosca transportadora**

Como premissa inicial para o dimensionamento do sistema considerou-se a disponibilidade de dois motorreductores em estoque, ambos com relação de redução nominal de 1:15, potência de 5 CV, 4 polos, e RPM de 1750. Além disso, foi adotado um eixo vazado com diâmetro externo de 40mm, também já disponível para a utilização. A escolha por utilizar componentes previamente adquiridos visou a otimização de recursos, redução de custos e reaproveitamento de materiais no desenvolvimento do projeto.

Outro fator importante na alimentação dos cálculos foi a vazão requerida do projeto, que foi de 27 ton/h.

### **3.2.7 Seleção rolamentos e mancais**

A seleção dos mancais e rolamentos utilizados no presente projeto foi conduzida com base em critérios técnicos que visam assegurar a funcionalidade, a confiabilidade e a viabilidade de manutenção do sistema. Dentre os parâmetros considerados, destacam-se: a simplicidade da aplicação, a magnitude das cargas envolvidas e as condições de fixação do conjunto.

Inicialmente, procedeu-se à definição do tipo de rolamento mais adequado à aplicação. Considerando que o sistema em questão está submetido a esforços radiais e axiais de baixa intensidade, optou-se pela utilização de rolamentos de esferas de contato radial. Esse tipo de rolamento é amplamente empregado em sistemas que operam com cargas moderadas, apresentando como principais vantagens o baixo coeficiente de atrito, a boa capacidade de rotação e a facilidade de aquisição no mercado nacional. Tais características o tornam particularmente apropriado para aplicações de uso geral, como no presente caso.

Adicionalmente, a seleção dos componentes privilegiou elementos padronizados, amplamente disponíveis no mercado, o que contribui para a padronização do projeto, facilita a manutenção e reduz custos com aquisição e reposição. Essa estratégia visa não apenas otimizar o desempenho técnico do sistema, mas também assegurar sua viabilidade econômica e operacional.

### **3.2.8 Mesa de içamento**

Para o dimensionamento da mesa de içamento foi considerada, uma estrutura rígida que suporte a massa de 1,3 ton do Big Bag e que tenha eficiência no armazenamento e transporte do hidrato úmido, atendendo a dois aspectos essenciais. Sua estrutura foi projetada para realizar a compactação do material, diminuindo o número de vazios entre os grãos de hidrato úmido e, conseqüentemente, reduzindo seu volume, o que permite que toda a massa seja acondicionada adequadamente no Big Bag sem transbordamentos.

Além disso, o projeto considerou a facilidade de manuseio durante a logística interna. Como a empresa utiliza empilhadeiras com garfos para transporte, a mesa foi equipada com

alças laterais que possibilitam a remoção rápida e segura do Big Bag após a compactação. Dessa forma, o sistema não apenas otimiza o armazenamento do material, mas também agiliza seu deslocamento, garantindo eficiência operacional.

### **3.2.9 Seleção dos cilindros pneumáticos**

Para a seleção dos cilindros foi considerada um içamento parcial de aproximadamente 500kg uma vez que o *Big Bag* tem massa de 1.3 ton, o que resulta apenas no tensionamento das alças para um enchimento completo e de forma uniforme.

Como há oferta de ar comprimido optou-se por cilindros pneumáticos.

Para a seleção foi-se utilizada um catálogo obtido junto ao fornecedor SMC onde pelo diâmetro da haste se obtém a força do cilindro.

Após a seleção desse diâmetro se deve escolher o qual o tamanho de atuação a haste deve ter.

Para esse passo deve se considerar a utilização do cilindro.

## **3.3 Variáveis e indicadores**

As variáveis e indicadores podem ser descritos pela tabela 1

Tabela 1 - Variáveis e indicadores

Componente	Variáveis de projeto	Indicadores de Desempenho
Moega	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Ângulo de escoamento;</li> <li>• Volume (2,5 vezes <i>Big bag</i>);</li> <li>• Espessura da chapa;</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Fluxo de material;</li> <li>• Integridade estrutural;</li> </ul>
Estrutura metálica	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Tipo de Perfil;</li> <li>• Dimensões;</li> <li>• Material;</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Tensões máximas;</li> <li>• Deformações;</li> <li>• Leveza/ Eficiência de fundação;</li> </ul>
Amortecedores e Molas	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Massa suportada;</li> <li>• Distribuição das molas;</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Estabilidade do sistema;</li> <li>• Absorção de cargas;</li> </ul>
Motovibradores	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Potência;</li> <li>• Quantidade;</li> <li>• Posicionamento;</li> <li>• Massa a ser transportada;</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Eficiência de compactação;</li> <li>• Uniformidade de fluxo;</li> <li>• Redução de aglomeração;</li> </ul>
Junta elastômera	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Material;</li> <li>• Geometria;</li> <li>• Capacidade de amortecimento;</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Redução de vibrações transmitidas;</li> <li>• Durabilidade;</li> </ul>
Rosca transportadora	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Motorreductor;</li> <li>• Comprimento;</li> <li>• Passe;</li> <li>• Vazão requerida de (27 ton/h);</li> <li>• RPM;</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Vazão efetiva;</li> <li>• Confiabilidade mecânica;</li> </ul>
Rolamentos / Mancais	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Tipo (Flangeado, esferas);</li> <li>• Carga radial /axial;</li> <li>• Disponibilidade de componentes padrão;</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Vida útil;</li> <li>• Facilidade de manutenção;</li> <li>• Eficiência de rotação;</li> </ul>
Mesa de içamento	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Capacidade de içamento ( 1,3 ton);</li> <li>• Rigidez da estrutura;</li> <li>• Alças laterais;</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Compactação de material;</li> <li>• Segurança e rapidez de manuseio;</li> <li>• Eficiência logística;</li> </ul>
Cilindro Pneumático	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Diâmetro de Haste;</li> <li>• Curso;</li> <li>• Força de atuação;</li> <li>• Içar massa carga de 500Kg;</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Força de içamento;</li> <li>• Velocidade de operação;</li> <li>• Durabilidade</li> </ul>

Fonte: Pesquisa Direta (2025)

Nota-se que na tabela 1 mostra a relação entre variáveis e indicadores do trabalho.

### 3.4 Instrumento de coleta de dados

Neta etapa a coleta de dados foi utilizado dados repassados pela empresa, com os dimensionamentos realizados no programa *SolidWorks* e utilizados catálogos e tabelas de fornecedores.

### **3.5 Tabulação de dados**

A tabulação de dados extraídos foi disposta em planilhas do Microsoft Excel

### **3.6 Considerações finais**

Foi apresentado nesse capítulo os métodos para desenvolvimento deste trabalho, assim como o tipo de pesquisa, as variáveis e indicadores e a análise de dados.

## 4 RESULTADOS

A empresa onde o projeto foi desenvolvido está localizada em Ouro Preto, Minas Gerais, e possui uma planta industrial com 90 anos de tradição no setor químico. Inicialmente, a empresa focou sua produção na fabricação de alumina, mas, ao longo dos anos, diversificou seu portfólio para atender às demandas do mercado, especializando-se na produção de Aluminas Especiais e Hidrato Úmido.

### 4.1 Moega

Para o dimensionamento da moega foram considerados alguns fatores:

- Capacidade;
- Escoamento de material;
- Massa;
- Alimentação do conjunto;
- Altura.

Devido a fatores operacionais da empresa a alimentação do equipamento se provém de uma pá carregadeira modelo XCMG LW300BR

Considerou-se alguns dados para o projeto, como a altura de despejo da pá carregadeira de 2930mm, a largura da concha com 2550mm e a capacidade de volume de material da concha com  $1,8 m^3$  de acordo com o catálogo da montadora, conforme com a Figura 3:

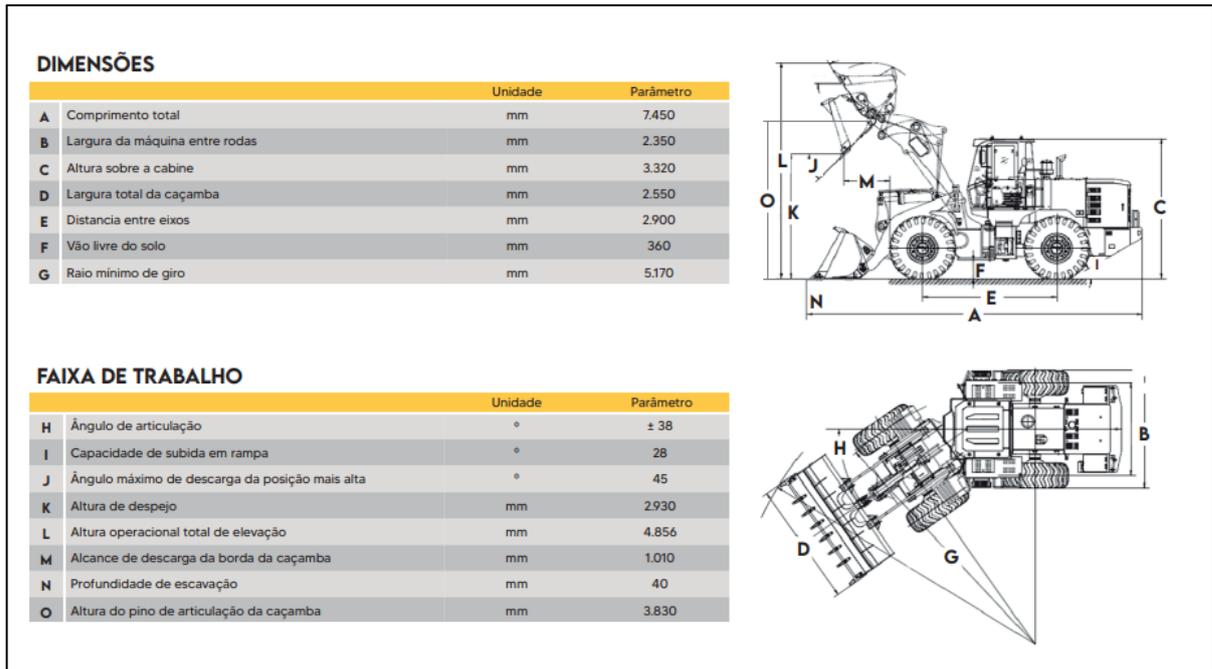


Figura 3 - Catálogo Manual de Operação XCMG-LW300-BR  
Fonte: XCMG (2024)

No dimensionamento da moega foi considerado um volume de aproximadamente 2,5 vezes o volume do *Big Bag*, utilizando a Eq. 6:

$$v = \frac{m}{d} \quad (6)$$

V = volume

M = massa

D = densidade

Assim substituindo tem-se que o *Big Bag* com 1,3 ton e a densidade com 2,44 ton/m<sup>3</sup>:

$$\text{Tem-se : } v = \frac{1300}{2400} = 0,5328m^3 * 2,5 = 1,33m^3$$

De acordo com a Figura 4 foi obtido o modelo em 3d utilizando a ferramenta *SolidWoks*:

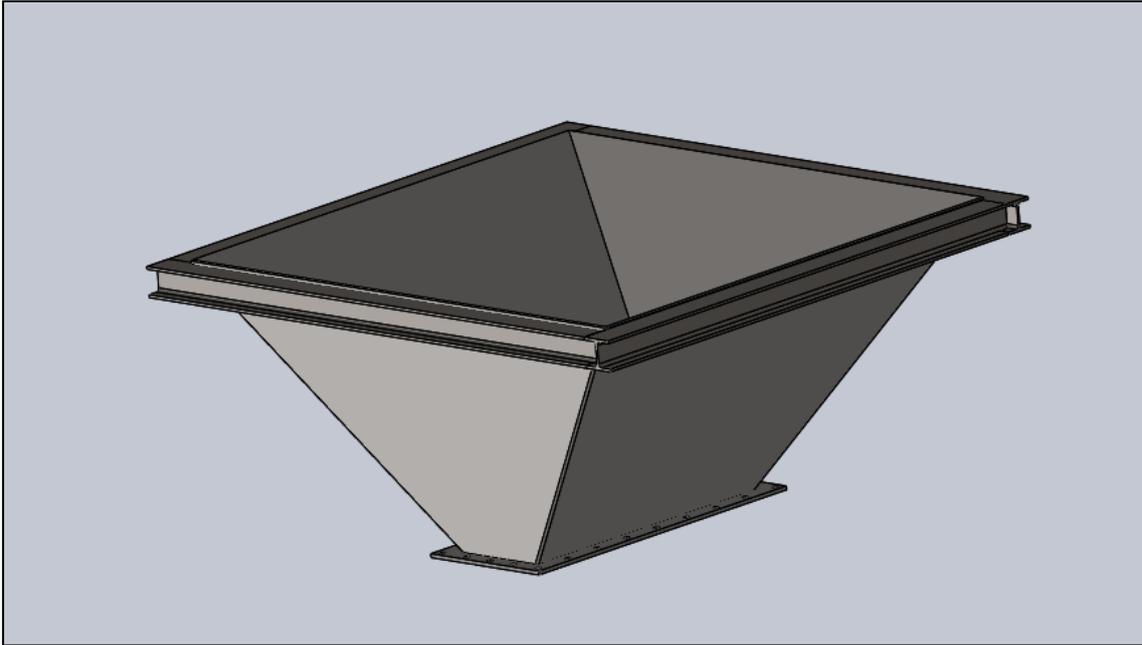


Figura 4 - Moega em 3D  
Fonte: Pesquisa Direta (2025)

Observa-se na figura 4 o *layout* da moega retirado do programa *SolidWorks*.

Dessa forma foi avaliada alguns pontos dentro do próprio programa como:

- Massa;
- Volume.

A Figura 5 demonstra o volume e a massa de hidrato úmido fornecidos por uma função dentro do programa *SolidWorks*.

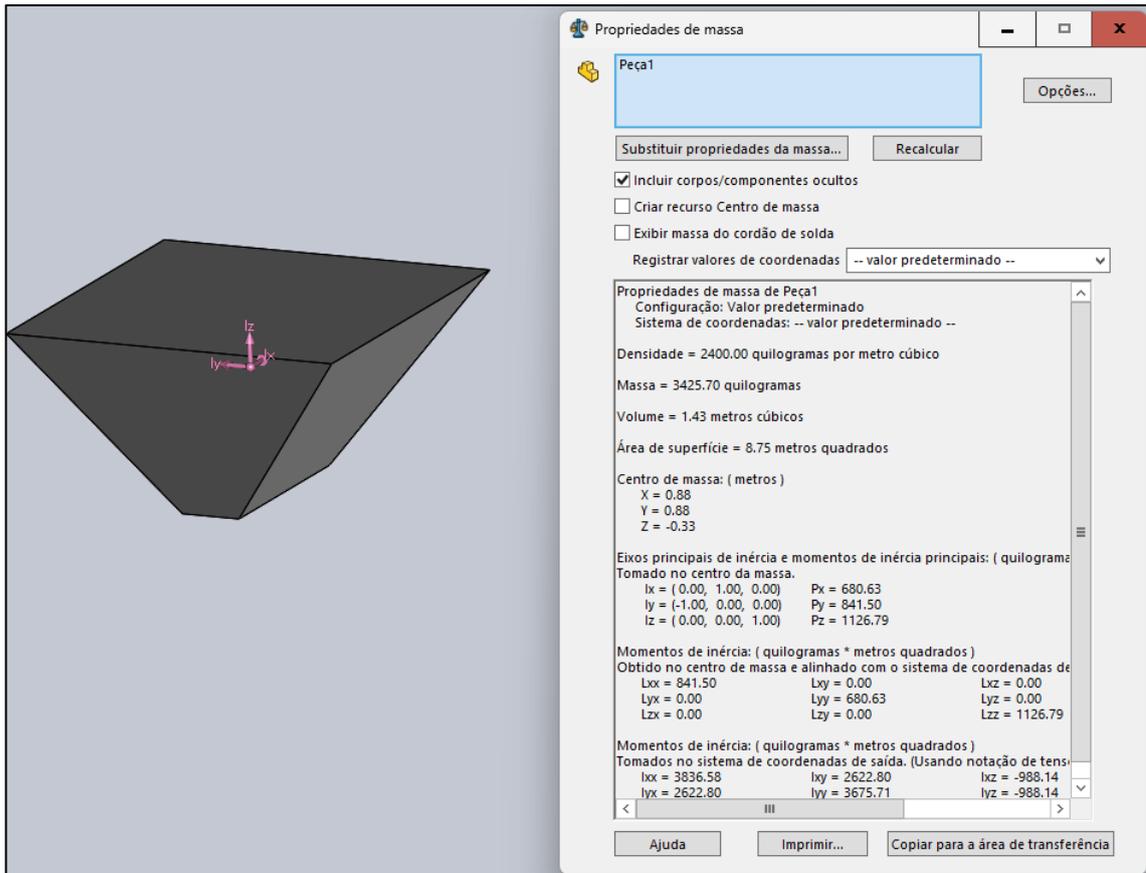


Figura 5 - Valores de massa e volume de Hidrato Úmido fornecidos pelo *SolidWorks*  
 Fonte: Pesquisa Direta (2025)

Pela figura 5 pode-se observar os parâmetros de massa e volume do hidrato úmido com os valores :

Massa produto = 3425,70Kg

Volume útil da moega =  $1,43 \text{ m}^3$

Assim, atendendo a premissa de 2,5 vezes o volume do *Big Bag*.

Também pode-se calcular a massa da estrutura metálica da moega dentro do programa *SolidWorks* de acordo com a Figura 6.

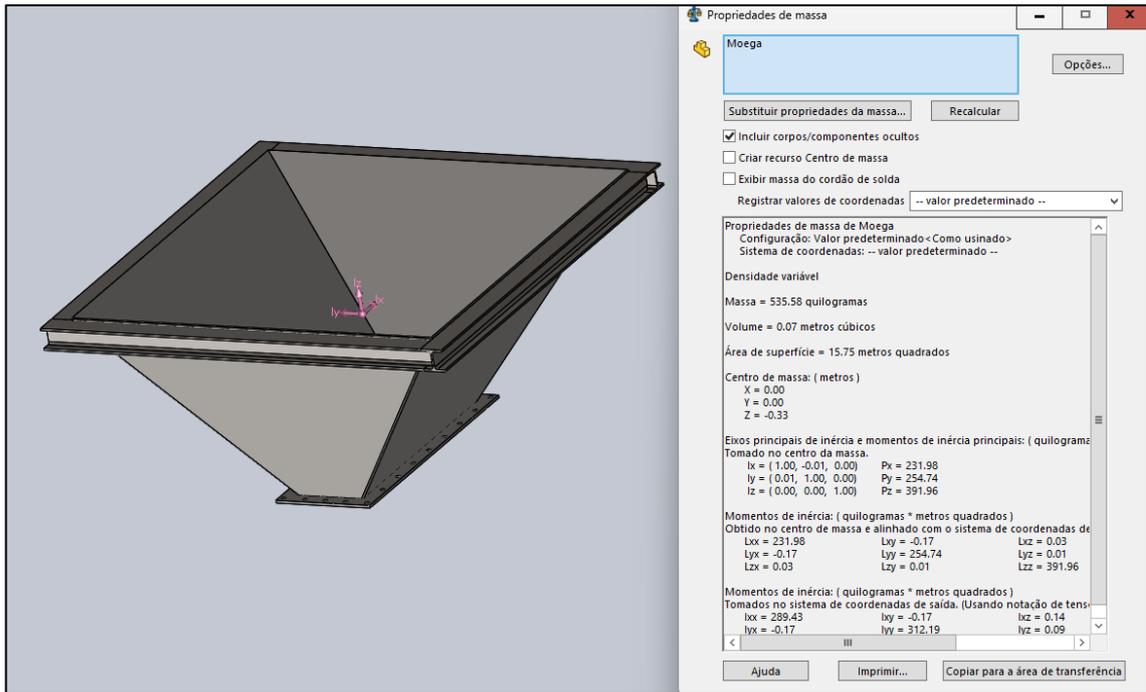


Figura 6 - Valore da massa da moega fornecido pelo *SolidWorks*  
Fonte: Pesquisa Direta (2025)

A figura 6 representa o peso da estrutura metálica da moega com valores de:

$$\text{Massa moega} = 535,38\text{Kg}$$

Desta maneira, tem-se as dimensões detalhadas de acordo com a Figura 7. A moega foi dimensionada a partir de sua saída, que deve seguir as dimensões da rosca helicoidal com medida de 12 polegadas = 304,8mm descrita no capítulo 4.6.

O ângulo da moega foi definido considerando a altura máxima disponível, que corresponde à altura de operação da pá carregadeira 2,930 m menos os componentes inferiores, como a junta elastomérica, a rosca helicoidal e a mesa de içamento. Essa altura residual determinou o limite estrutural para a inclinação da moega, garantindo que o material possa ser carregado sem interferências.

Para otimizar o escoamento, foi escolhido o maior ângulo possível dentro dessas restrições, priorizando uma inclinação mais acentuada. Um ângulo maior reduz o risco de obstruções e melhora o fluxo, evitando que o material adira às paredes da moega.

Este ângulo foi obtido em 52,74 graus e, apesar de ser o maior possível dentro das restrições do projeto, ele não foi suficiente para garantir um escoamento adequado do material, que apresentava tendência a acumular-se no interior da moega. Para resolver o problema, foi

necessário instalar motovibradores, que atuam gerando vibrações controladas para auxiliar na descarga como descrito no capítulo 4.4.

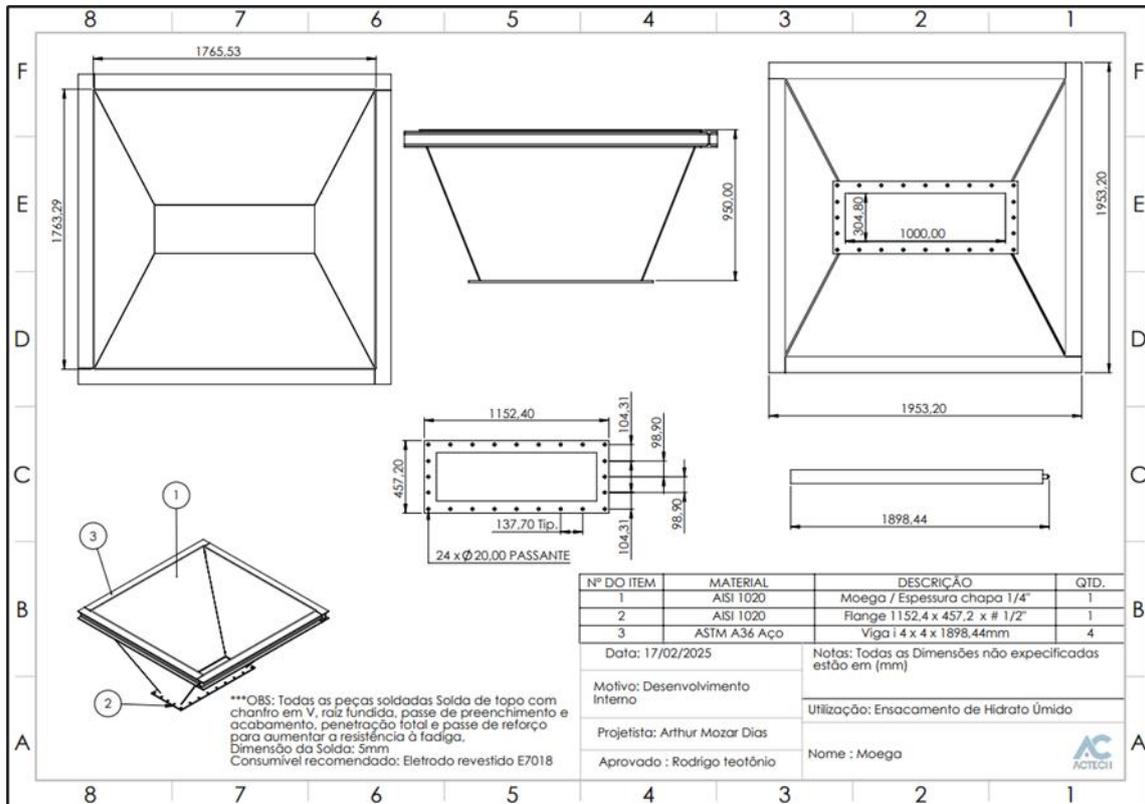


Figura 7 - Detalhamento da moega  
 Fonte: Pesquisa Direta (2025)

## 4.2 Estrutura metálica

Para se idealizar a estrutura na qual a moega será apoiada, foi utilizado o programa *SolidWorks*, considerando as dimensões da moega e a altura de operação da pá carregadeira, de acordo com as Figura 8 e  
Figura  
 9:

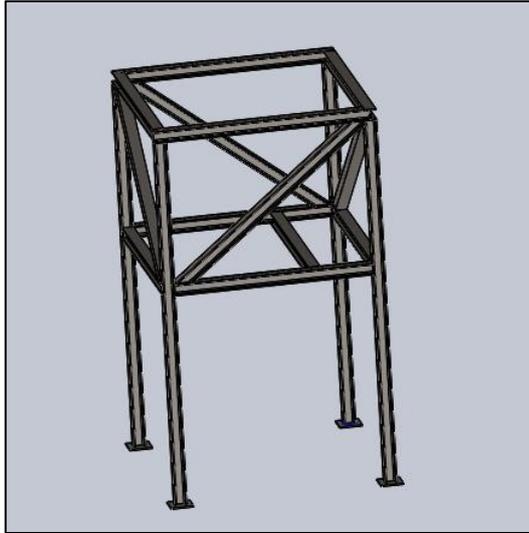


Figura 8- Vista frontal da estrutura metálica  
Fonte: Pesquisa Direta (2025)

Observa-se que na figura 8 e figura 9 a estrutura metálica foi pensada para que haja intertravamento com treliças visando um maior reforço estrutural.

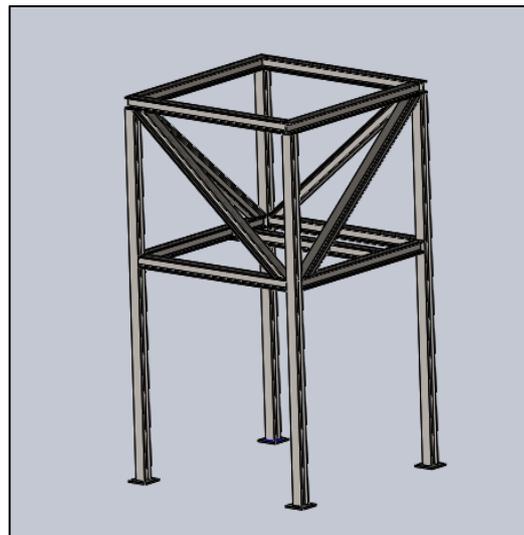
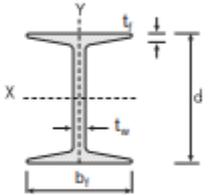


Figura 9- Vista isométrica da estrutura metálica  
Fonte: Pesquisa Direta (2025)

Para o sistema foi utilizados vigas I de 4 polegadas e analisadas para atender o fator de segurança acima de 1,5, de acordo com a ABNT NBR 8800:2008, com características apresentadas pela Figura 10.

**PERFIL I GERDAU**



Bitola	Peso	ALMA		MESA		Área cm <sup>2</sup>	EIXO X			EIXO Y			r <sub>t</sub> cm
pol	Nominal kg/m	d mm	t <sub>w</sub> mm	b <sub>f</sub> mm	t <sub>r</sub> mm		I cm <sup>4</sup>	W cm <sup>3</sup>	r cm	I cm <sup>4</sup>	W cm <sup>3</sup>	r cm	
3"	8,48	76,20	4,32	59,18	6,60	10,80	105,10	27,60	3,12	18,90	6,40	1,33	1,45
	9,68	76,20	6,38	61,24	6,60	12,32	115,00	30,18	3,06	45,60	11,48	1,92	1,98
4"	11,46	101,60	4,90	67,60	7,44	14,50	252,00	49,70	4,17	31,70	9,40	1,48	1,68
	12,65	101,60	6,43	69,20	7,44	16,11	266,00	52,40	4,06	34,30	9,90	1,46	1,83
5"	14,88	127,00	5,44	76,30	8,28	18,80	511,00	80,40	5,21	50,20	13,20	1,63	1,88
	18,24	127,00	8,81	79,70	8,28	23,24	570,00	89,80	4,95	58,60	14,70	1,59	1,92
6"	18,60	152,40	5,89	84,63	9,12	23,60	919,00	120,60	6,24	75,70	17,90	1,79	2,08
	22,00	152,40	8,71	87,50	9,12	27,97	1003,00	131,70	5,99	84,90	19,40	1,74	2,26

OBS.: As barras são fornecidas com tolerância de comprimento -0+10 cm.

Figura 10 - Tabela, barras e perfis de guias de bolso  
Fonte: Gerdau (2025)

Nota-se que na figura 10 tem-se a tabela fornecida pela empresa Gerdau das dimensões gerais de vigas ofertadas.

Assim tem-se a análise de forças realizadas pelo *SolidWorks* de acordo com alguns parâmetros: A malha utilizada foi baseada em sete elementos por viga e nós em suas conexões.

A Figura 11 representa a solicitação de carga da estrutura apresenta pela Eq.7.

$$\text{Massa da estrutura} + \text{Massa do produto} = \text{Carga solicitada} \quad (7)$$

$$535,58 \text{ kg} + 3425,7 \text{ kg} = 3961,28 \text{ kg}$$

Pode-se observar de acordo com a figura 11 a solicitação de forças aplicadas na estrutura, considerando as massa somadas.

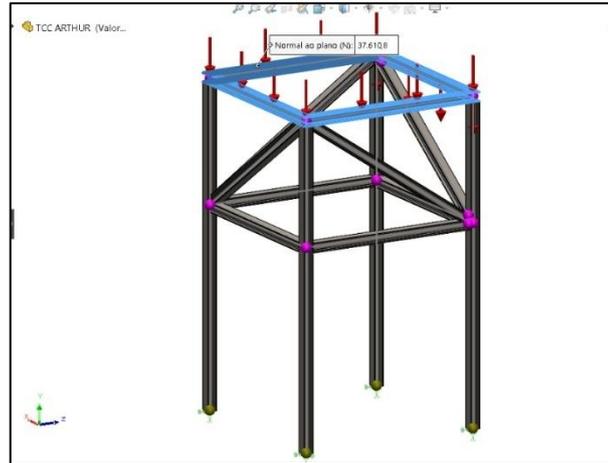


Figura 11 - Pontos de solicitação de carga da estrutura  
Fonte: Pesquisa Direta (2025)

Após análise do programa *SolidWorks* obteve-se alguns resultados:

O primeiro resultado foi o limite de escoamento máximo suportado pela estrutura, com valor de  $2,5 \times 10^{-8} \text{ N/m}$  e, o limite de escoamento máximo solicitado pelo projeto com valor de  $1,341 \times 10^{-8} \text{ N/m}$  Figura 14. O segundo resultado analisado foi a deformação máxima, com valor de 2,11 mm. Ambos resultados podem ser observados na Figura 12.

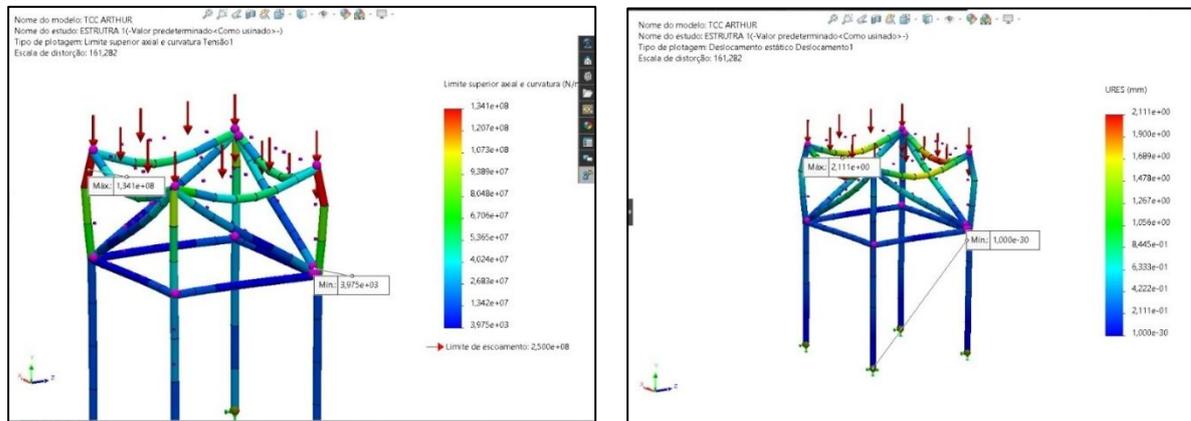


Figura 12 - Limite de escoamento máximo  
Fonte: Pesquisa Direta (2025)

A figura 12 apresenta os valores de limite de escoamento máximo solicitado a estrutura,  $1,31 \times 10^{-8} \text{ n/m}$  e o limite de escoamento máximo suportado pela mesma  $2,5 \times 10^{-8} \text{ n/m}$ . Também demonstra o valor máximo de deformação com valor de 2,11 mm

O terceiro resultado foi o fator de segurança da estrutura, com valor de 1,9 apresentado na Figura 13.

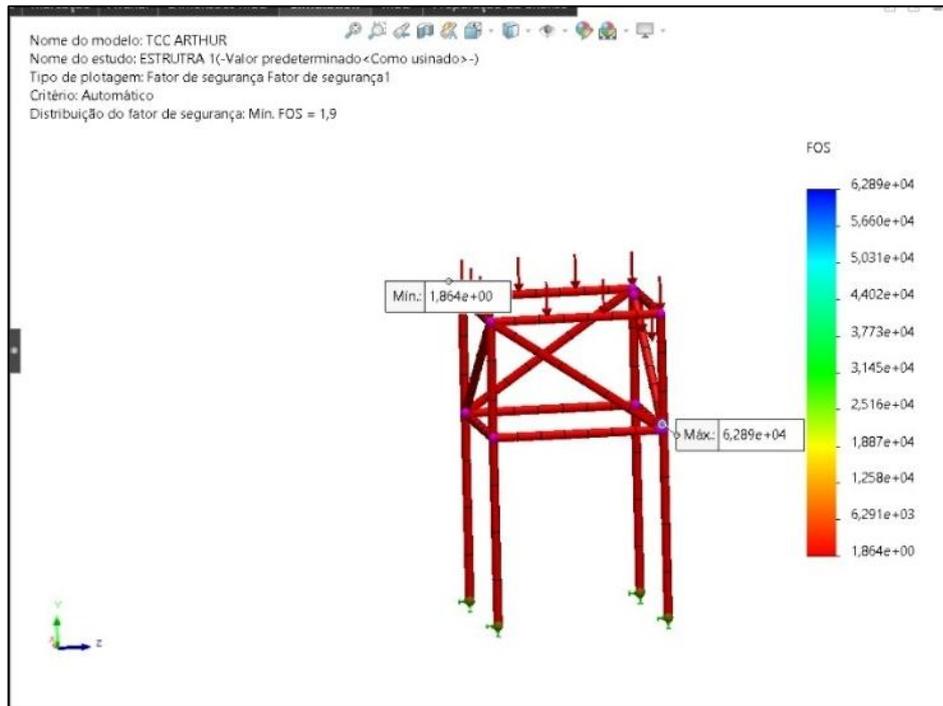


Figura 13 - Fator de segurança na estrutura  
Fonte: Pesquisa Direta (2025)

A figura 13 apresenta o valor do fator de segurança admitido pela estrutura 1,9.

Desta maneira, temos as dimensões detalhadas de acordo com a Figura 14, note-se as medidas importantes como as dimensões onde a moega será apoiada de 1953,20mm

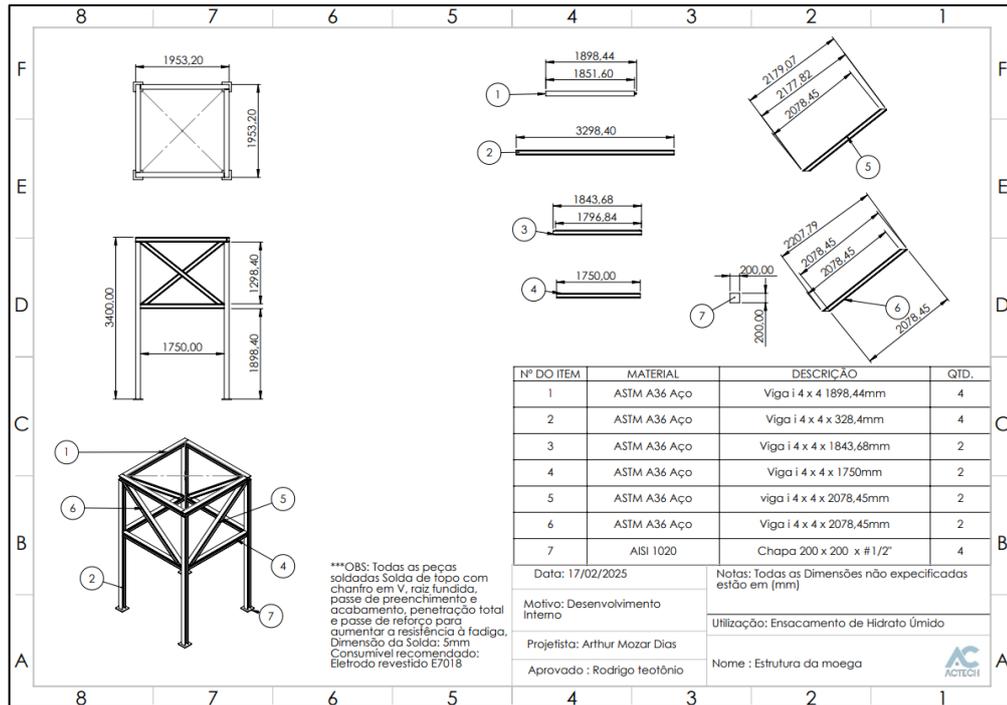


Figura 14 - Estrutura metálica em detalhe  
 Fonte: Pesquisa Direta (2025)

### 4.3 Seleção de molas

Para a seleção das molas foi calculado a massa da estrutura da qual irá suportar. considerando a densidade repassada do Hidrato úmido de 2.4 kg/m<sup>3</sup> pela empresa foi realizado um desenho de corpo sólido no *SolidWorks* e calculado a massa do material dentro da moega cheia de Hidrato úmido e somado a massa dado da estrutura metálica, tem-se a massa final a ser suportada pelo conjunto de acordo com o valor obtido através da Eq.7.

Com a massa obtida de 3961,28 kg, pode-se estipular um conjunto de molas das quais fossem distribuídas de forma que juntas, suportem essa carga e tenha um fator de segurança.

Realizando a mesma análise pode-se atribuir o sistema de molas para a mesa de içamento considerando o bag com 1.3 toneladas e a massa da estrutura de acordo com a Figura 15:

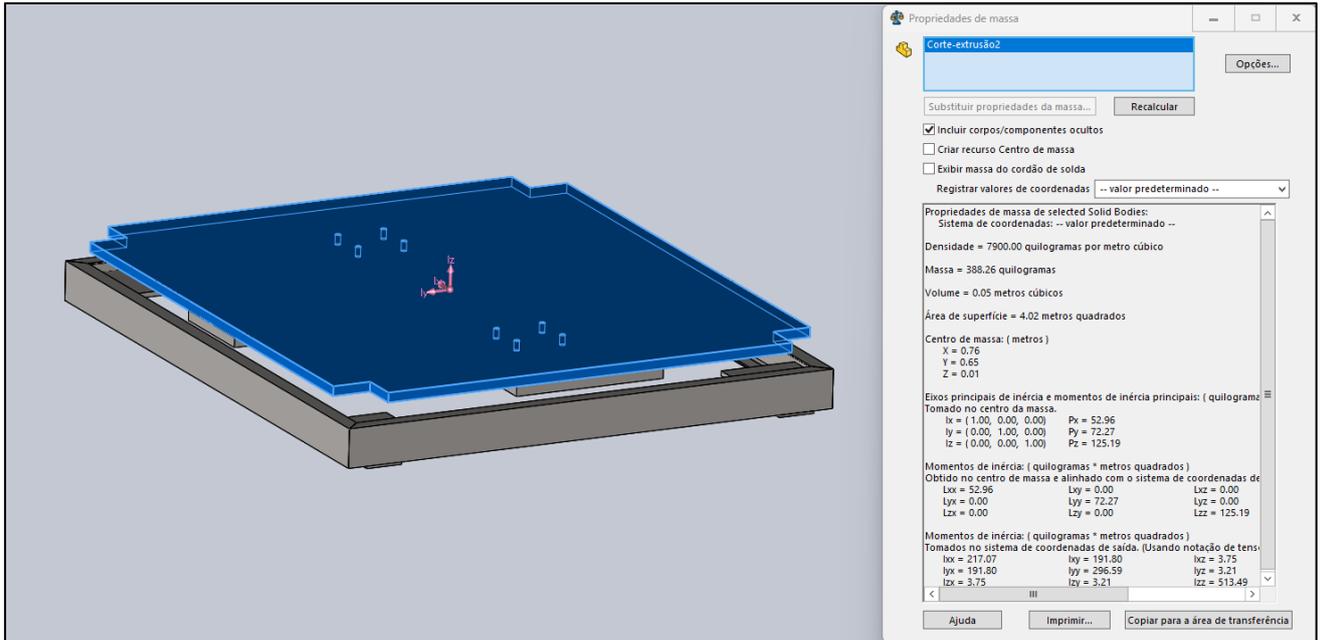


Figura 15 - Massa da chapa metálica que apoia o *Big Bag*  
 Fonte: Pesquisa Direta (2025)

Nota-se na que na figura 15 é apresentado o valores da massa da chapa metálica da estrutura da mesa de içamento da qual o *Big Bag* será apoiado 388,26Kg.u

Foi considerado apenas a chapa metálica na qual o *Big Bag* será apoiado. Dessa forma a carga suportada pelas molas foi obtida pela Eq.8:

$$\text{Massa da chapa} + \text{Massa do big bag} = \text{Carga suportada pelas molas} \quad (8)$$

$$388,26\text{kg} + 1300\text{kg} = \text{Massa total de } 1688,26\text{Kg}$$

Assim pode-se para a estrutura da moega, selecionar um conjunto de 12 molas com capacidades unitárias de suporte de carga de 500Kg cada, distribuídas de forma uniforme para que haja uma completa distribuição de forças na estrutura de acordo com a Figura 16:

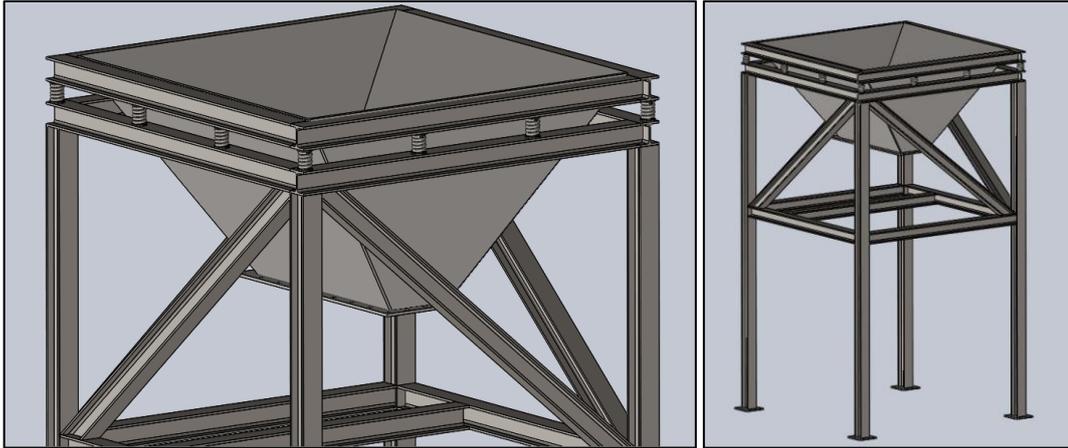


Figura 16 - Detalhe das molas superiores  
Fonte: Pesquisa Direta (2025)

A figura 16 apresenta o posicionamento das molas superiores na estrutura da moega.

Já para a estrutura da mesa um conjunto de 4 molas com capacidades unitárias de 700Kg cada, distribuídas aos vértices das chapas como demonstrado na Figura 17:

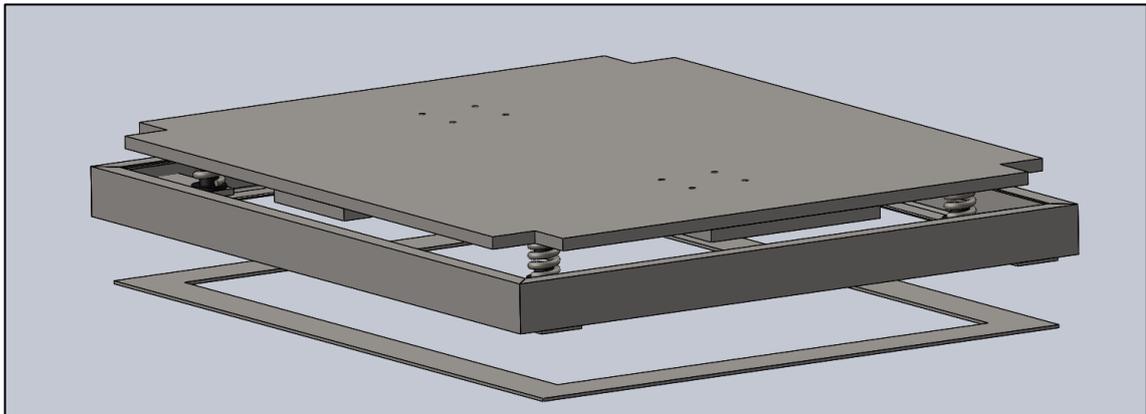


Figura 17 - Detalhe das molas inferiores  
Fonte: Pesquisa Direta (2025)

A figura 17 apresenta o posicionamento final das molas na estrutura da mesa de içamento.

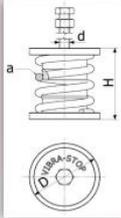
De acordo com o a massa a ser suportada pelas molas, juntamente com um fornecedor, foi desenvolvido as molas com as características apresentadas na Figura 18 como altura total, diâmetro externo ao batente, diâmetro do arame, material da mola, deflexão e frequência natural.

**VIBRA-STOP**  
Desde 1956 em 1º lugar na fabricação de amortecedores de impacto e vibração

Proposta: 217090524\_Actech\_Rev00

**Características dos Amortecedores**

Referência (código)	MSSC500	MSSC700
Capacidade de Carga (pc)	500 Kgf	700 Kgf
Altura Total (H) mm	90	90
Diâmetro Externo Batente (D) mm	70	70
Diâmetro do Arame da Mola (a) mm	12,7	14
Material da Mola SAE ABNT	S160	S160
Deflexão mm/Kgf	12,30/500	12,99/700
*Parafuso de Ajuste (d)	3/8"	3/8"
	1/2"	1/2"
	5/8"	5/8"
	3/4"	3/4"
Frequência Natural Hz	5	5




**Linha Mola sem Chapa VIBRA-STOP®**

**Instruções para instalação**

**IMPORTANTE:**  
Para um bom aproveitamento de seu amortecedor **VIBRA-STOP** siga corretamente as orientações técnicas de uso e manutenção

Visite nosso site:  
[www.vibra-stop.com.br](http://www.vibra-stop.com.br)

**Legenda:**  
1 - Instalação  
2 - Fixação de Tracção com Parafuso  
3 - Base de Equipamento  
4 - Amortecedor VIBRA-STOP Mola

Página 3 de 5  
Rua das Taquaras, 319 / CEP 04370-060 São Paulo – SP Fone +55 (11) 5562-9362 [www.vibra-stop.com.br](http://www.vibra-stop.com.br)

Figura 18 - Dimensionais dos amortecedores de apoio da estrutura  
Fonte: VIBRA-STOP (2025)

A figura 18 apresenta os valores de características das molas selecionadas.

#### 4.4 Motovibradores

Os motovibradores são essenciais para garantir um escoamento adequado do material, uma vez que o ângulo de  $52,74^\circ$  não foi suficiente. Além disso, eles atuam sob a mesa de içamento compactando o material dentro do *Big Bag*.

Para realizar a seleção do motovibrador foi utilizado conjuntos de estoque da fábrica, onde se utilizou motovibradores oil vibra de 411Kg de impacto com características de retiradas do catálogo do fabricante, descritos na **Erro! Fonte de referência não encontrada.**:

Tabela 2 - Características motovibrador Oil Vibra 411 kg de impacto

Características	Valores
Força centrífuga (Kg)	411
Peso (Kg)	10
Potência de entrada (KW)	0,33
Corrente nominal (V)	0,6
Conexões térmicas	Y
La/Ln	3,7
Prensa cabo	M20

Fonte: OIL VIBRATORS (2025)

Observa-se na tabela 2 as características do motovibrador selecionado.

A fixação dos motovibradores foi separado em 2 posicionamentos, na moega para escoamento do material e na chapa da mesa para compactação de material.

Para a moega a posição selecionada foi na saída de fluxo, na parte onde há maior acúmulo de material e é o gargalo do escoamento.

A fixação dos motovibradores foi projetada em uma base separada da moega pra facilitar a manutenção e se preservar a chapa, como demonstrado na Figura 19:

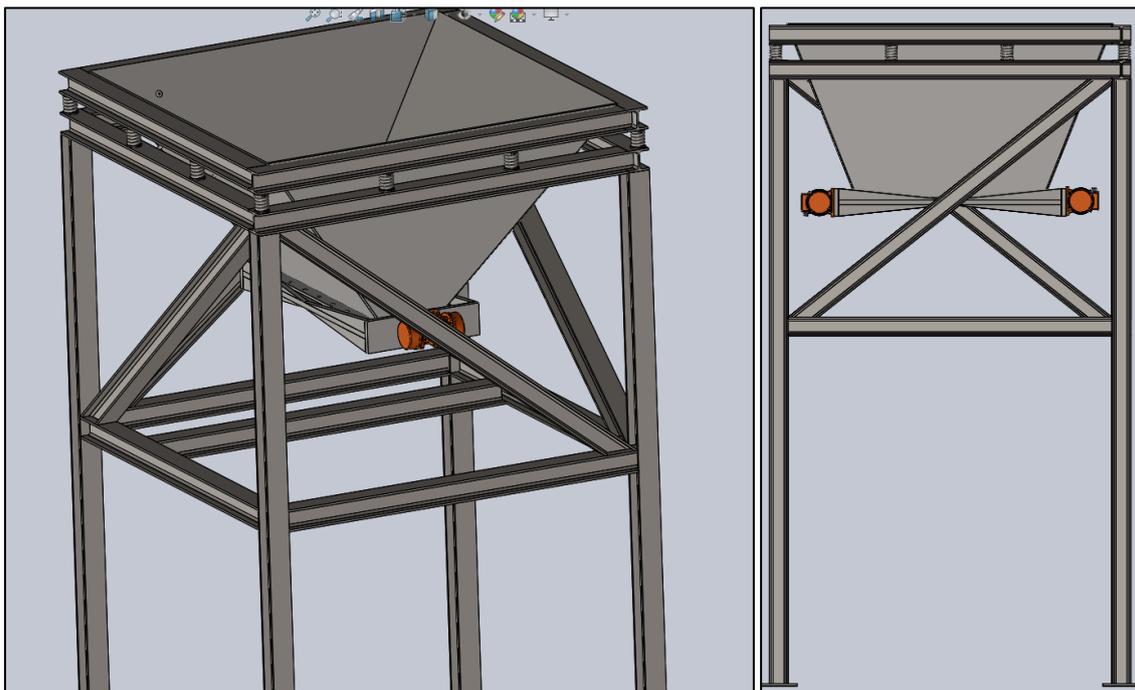


Figura 19 - Suporte duplo motovibradores 3D

Fonte: Pesquisa Direta (2025)

A figura 19 demonstra o posicionamento dos motovibradores acoplados a estrutura de suporte e a moega.

Desta maneira, tem-se as dimensões detalhadas de acordo com a Figura 20.

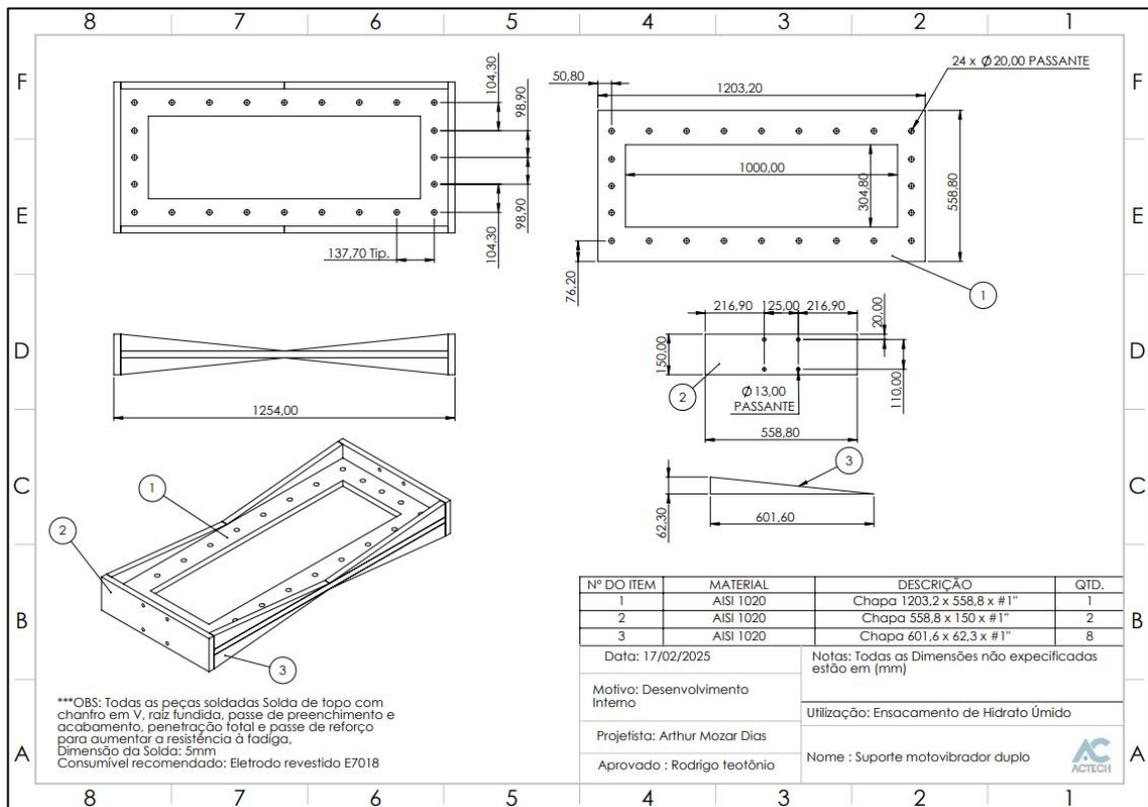


Figura 20 - Suporte duplo motovibradores detalhado  
Fonte: Pesquisa Direta (2025)

De acordo com a figura 20 tem-se as medidas finais do suporte de motovibradores.

Já para a mesa de içamento determinou-se que a melhor posição para o motovibrador seria na parte de baixo da chapa onde o *Big Bag* será apoiado ( Figura 21). Essa localização é estratégica pois garante que a vibração seja transmitida de forma eficiente ao material, evitando dissipação de energia. A vibração mecânica gerada desempenha um papel importante na compactação do hidrato úmido, pois elimina o número de vazios, acomodando melhor as partículas em um menor volume.

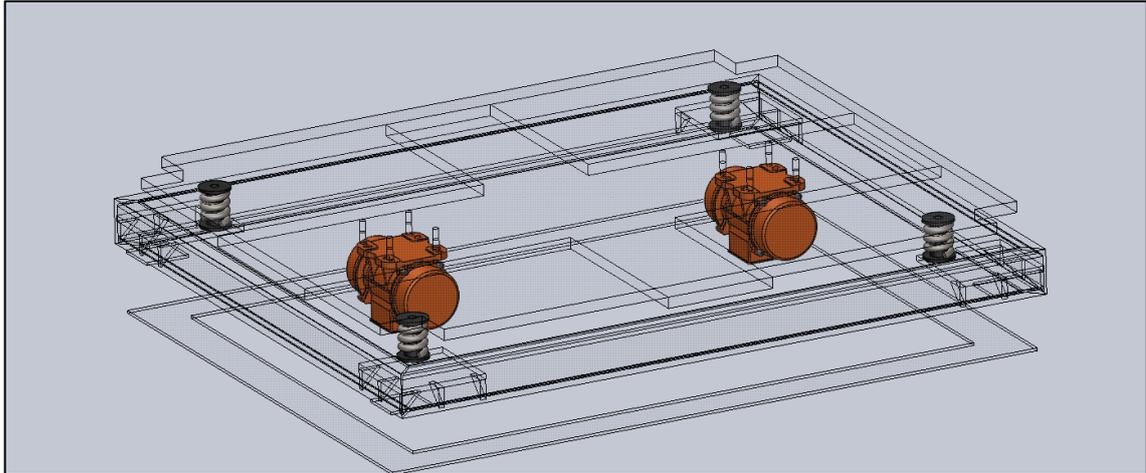


Figura 21 - Layout isométrico e transparente dos motovibradores  
Fonte: Pesquisa Direta (2025)

A figura 21 traz o posicionamento dos motovibradores na estrutura da mesa de içamento.

#### 4.5 Dimensionamento da junta

Após o dimensionamento da estrutura na qual os motovibradores foram fixados foi dimensionado a junta elastômera na qual tem a funcionalidade de inibir que a vibração fornecida pelos motovibradores seja transferida para a estrutura metálica, assim foi considerado o material de borracha natural com modo elástico de  $10.000 \text{ N/m}^2$ , Coeficiente de Poisson de 0,45 e resistência de tração de  $20.000.000 \text{ N/m}^2$  conforme apresentado na Figura 22 :

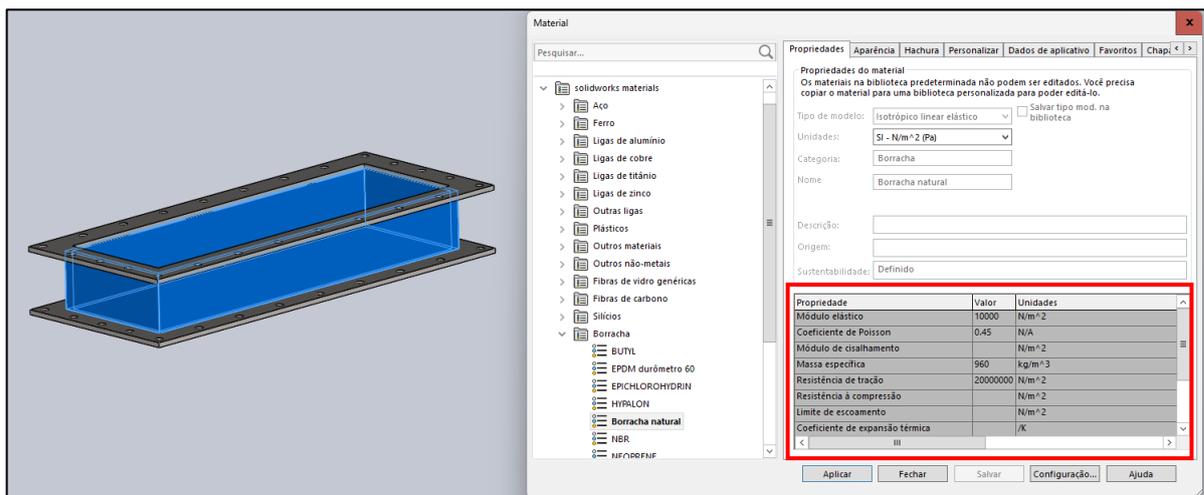


Figura 22 - Características da borracha natural  
Fonte: Pesquisa Direta (2025)

A figura 22 apresenta as características da Borracha natural no *SolidWorks*.

Também foram respeitadas medidas de altura da estrutura referente a rosca helicoidal que virá fixada na parte inferior do suporte de fixação dos motovibradores, de acordo com a Figura 23:

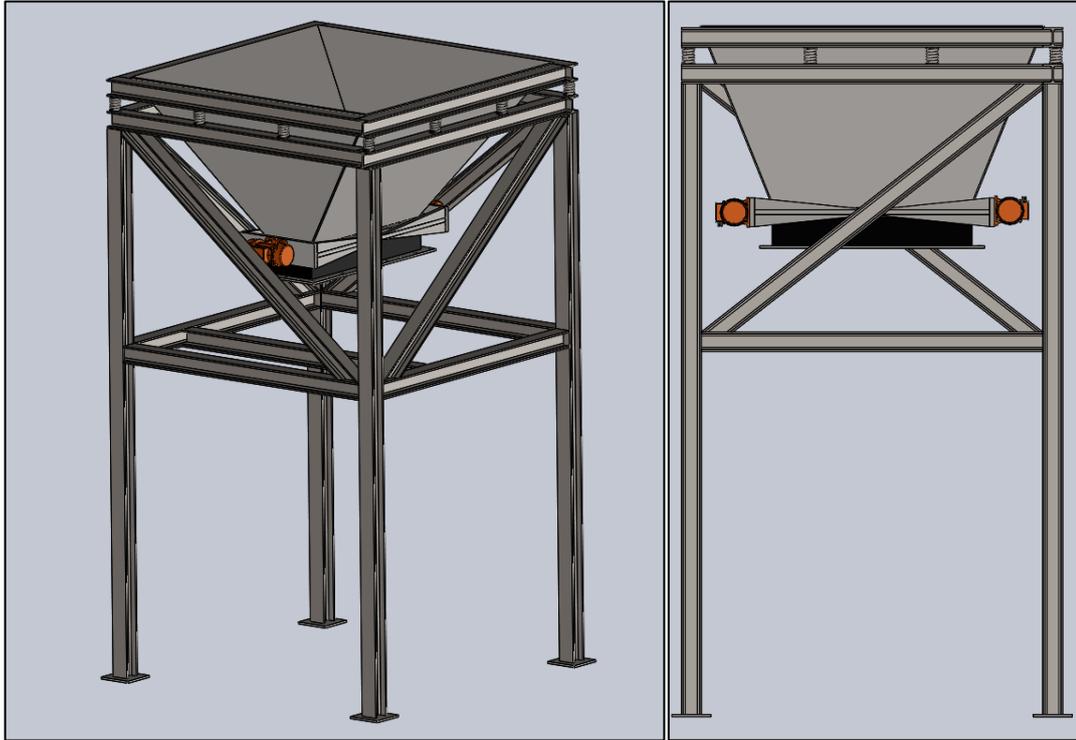


Figura 23 - Vista da junta elastômera  
Fonte: Pesquisa Direta (2025)

A figura 23 mostra a fixação da junta elastômera com o restante da estrutura.

Desta maneira, tem-se as dimensões detalhadas de acordo com a Figura 24:

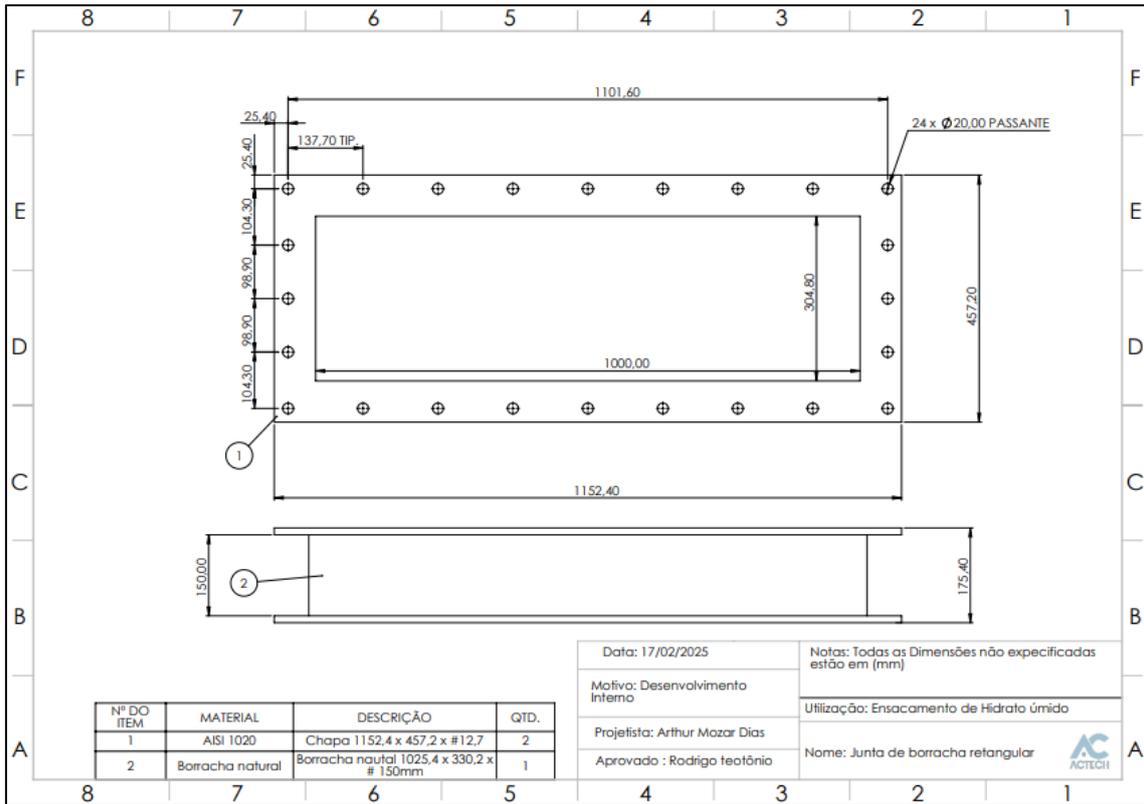


Figura 24 - Junta elastômera em detalhe  
Fonte: Pesquisa Direta (2025)

Observa-se pela figura 24 as dimensões gerais finais da junta elastômera.

#### 4.6 Dimensionamento da rosca helicoidal

Para da início ao o dimensionamento se considerou que havia a disponibilidade de 2 motorreductores para que fosse reaproveitados na aplicação da rosca helicoidal e apresentados suas características com as fórmulas utilizadas.

Aplicação da Eq. 1:

- Vazão da rosca = 27 ton/h
- Passe da rosca = 200mm
- Cv do motor = 1750
- Redução = 1:15

Motorreductor macopema

Dados:

- Potência = 5cv

- Diâmetro da saída 40mm
- Fixação = chavetado
- N° de polos = 4
- Rpm= 1750

Assim, de acordo com a Eq. 1, pode-se calcular o diâmetro da rosca como apresentado pela Figura 25:

VARIÁVEIS	VALORES
Q = Vazão [t/h]	27
S = Passo da rosca [m]	0,2
N = Velo rotação [RPM]	116,6666667
$\psi$ = Eficiência carregamento	0,125
$\gamma$ = Peso específico	2,44
C = Fator de Inclinação	1
D = Diâmetro [m]	0,283813544
pol	11,17376156
D. em [mm]	283,8135436

Passo (mm)	200
CV Motor	1750
Redução	15

$$Q = V\gamma = 60 \frac{\pi D^2}{4} S n \psi \gamma C \text{ (t/h)}$$

Sendo:

D = diâmetro em m;  
 S = passo da rosca em m;  
 N = velocidade de rotação, rpm;  
 $\psi$ , a eficiência da capacidade da aera da seção transversal da área da rosca.  
 V = Capacidade, m<sup>3</sup>/h;  
 $\gamma$  = peso do material, t/m<sup>3</sup>;  
 C = fator que considera a inclinação do transportador;  
 $\psi$  = **eficiência de carregamento** (mancais/materiais...):  
 0,125 para fluxo lento com materiais abrasivos;  
 0,25 para fluxo médio de materiais com média abrasividade.  
 0,32 para fluxo livre de materiais com média abrasividade;  
 0,4 para fluxo livre de materiais não abrasivos.

Figura 25 - Dimensionamento rosca helicoidal  
 Fonte: Pesquisa Direta (2025)

A Figura 25 apresenta a equação de mouro em formato de *Microsoft Excel* com os valores atribuídos a rosca e ao motorreductor disponível.

Outro fator importante no dimensionamento a se considerar é o comprimento da rosca, ponto que se adotou como melhor layout para o equipamento seria que os *Big Bags* fossem retirados fora da estrutura. O comprimento também deve levar em consideração o eixo realizar o enchimento da caixa da redutora como mancais e rolamentos.

Assim pode-se chegar a um modelo de alojamento para a rosca e a rosca em si como apresentados na Figura 26:

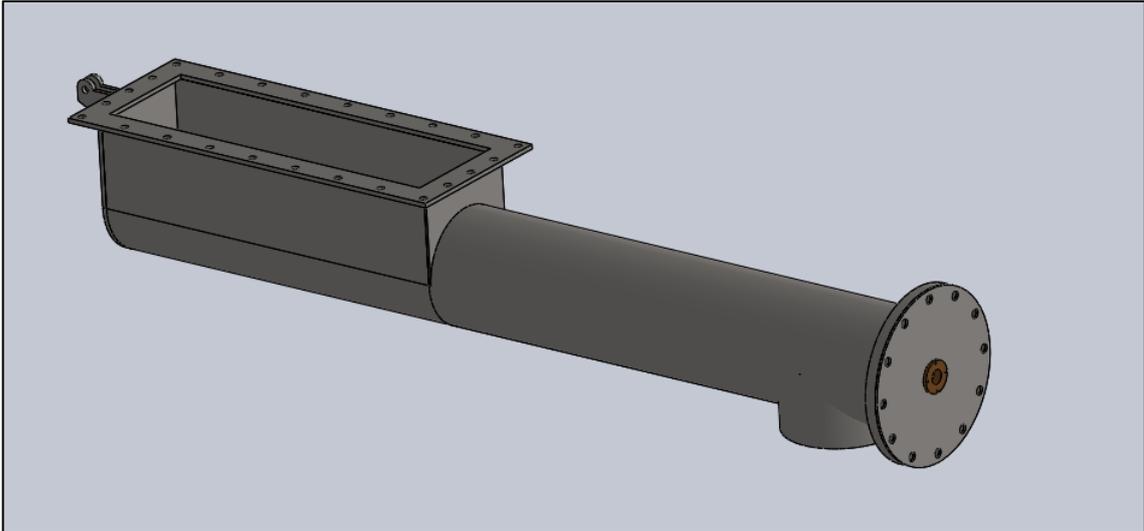


Figura 26 - Vista isométrica do alojamento da rosca helicoidal  
Fonte: Pesquisa Direta (2025)

Pode-se observar pela figura 26 o modelo em 3D do alojamento da rosca helicoidal.

O alojamento e a rosca, foram implantados abaixo da moega, e junta elastômera afim de não receber nenhuma interferência dos motovibradores de acordo com a Figura 27:

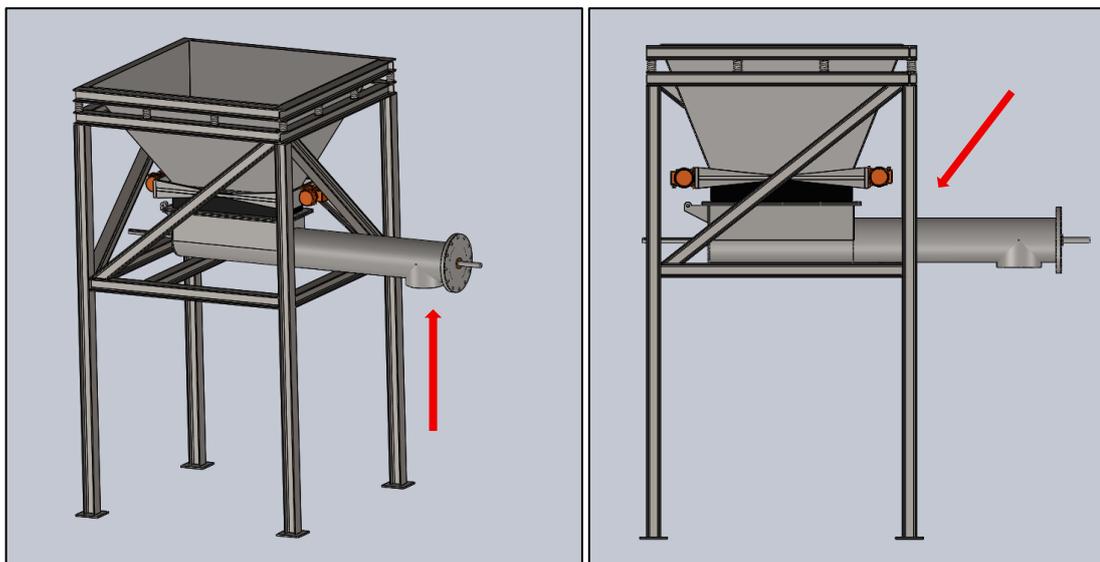


Figura 27 - Vista de montagem do alojamento da rosca helicoidal  
Fonte: Pesquisa Direta (2025)

Desta maneira, tem-se as dimensões detalhadas da rosca ( Figura 28) e do alojamento ( Figura 29):

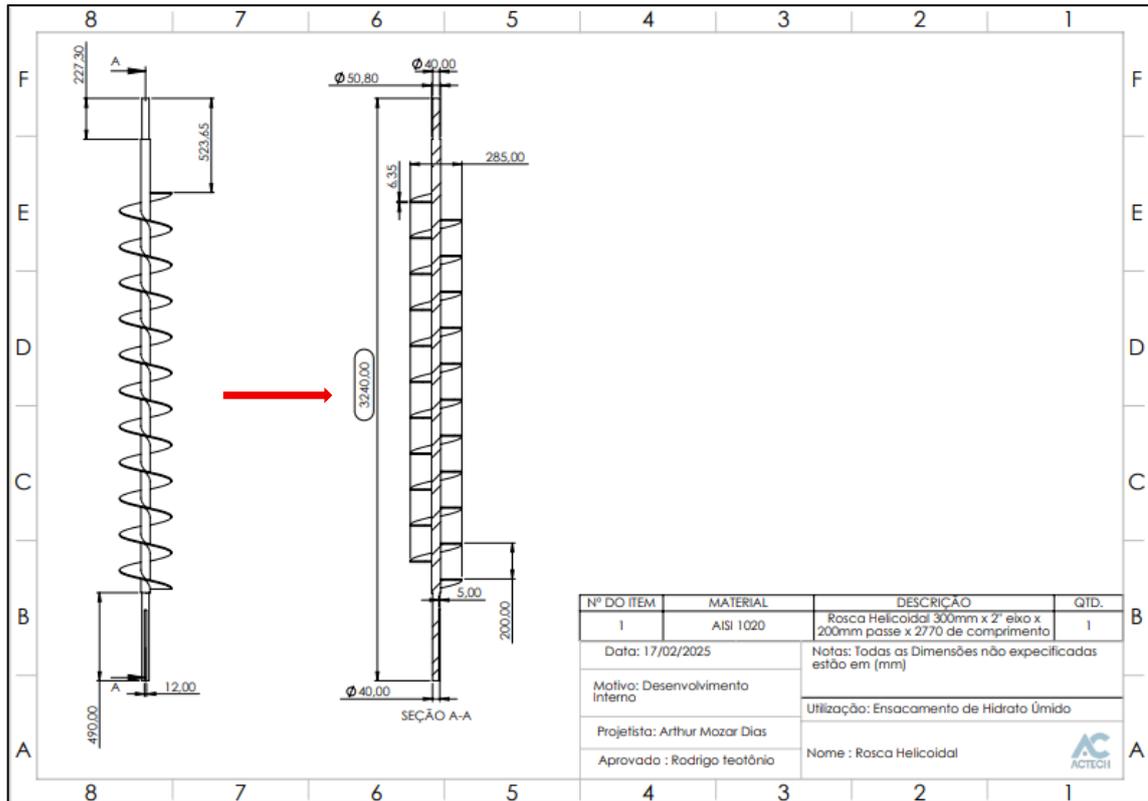


Figura 28 - Vista em detalhe da rosca helicoidal  
 Fonte: Pesquisa Direta (2025)

A figura 28 traz as dimensões gerais finais da rosca helicoidal com comprimento de 3240mm. Nota-se seu comprimento estendido para que a operação de manuseio de *Big Bags* ocorra de forma externa a moega e a estrutura metálica.

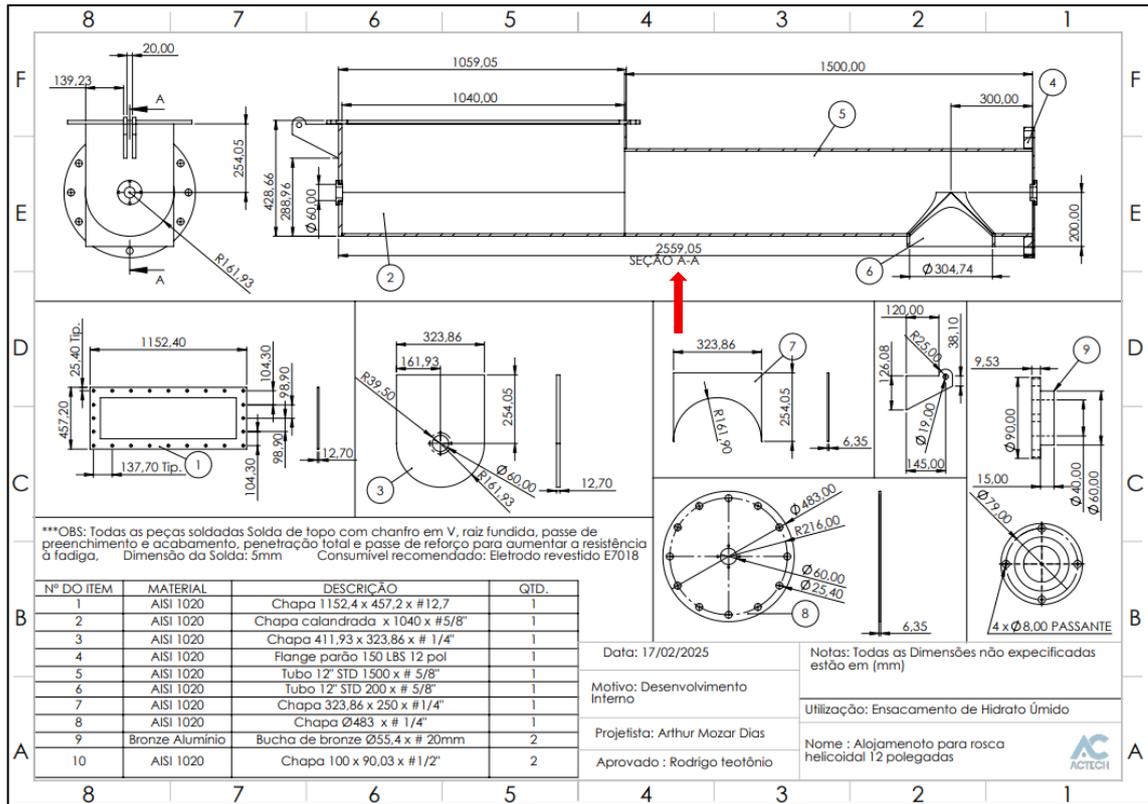


Figura 29 - Detalhamento da rosca helicoidal  
 Fonte: Pesquisa Direta (2025)

A figura 29 traz as dimensões gerais finais do alojamento da rosca helicoidal. Nota-se que de forma análoga o alojamento também possui dimensões afim de retirar a operação de *Big Bags*

Assimilando o alojamento com geometria concordante com a parte inferior da junta e com fixação em cima das vigas, o que se melhor resultou em outra peça, um berço de fixação do alojamento em cima da estrutura metálica que pode ser descrito pela Figura 30:

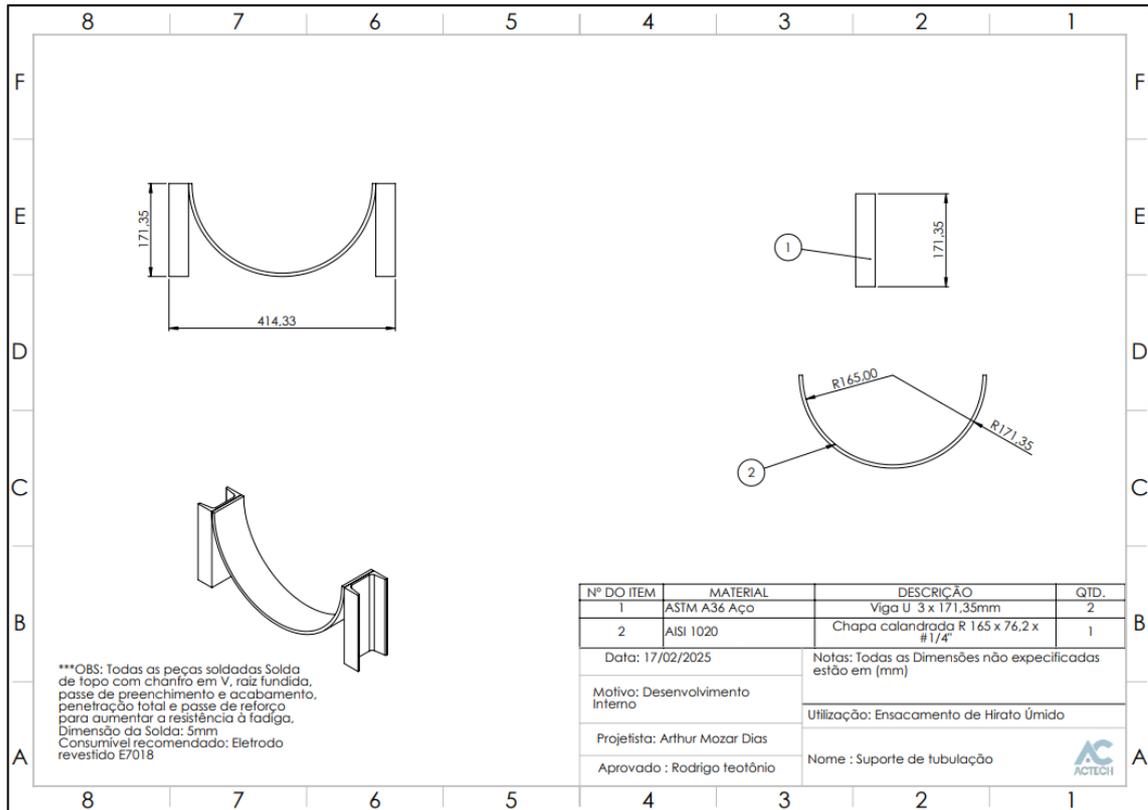


Figura 30 - Detalhamento do suporte de tubulação  
Fonte: Pesquisa Direta (2025)

A figura 30 traz as dimensões gerais finais do suporte de tubulação.

#### 4.7 Seleção de mancais e rolamentos

Para a seleção dos mancais e rolamentos foi utilizado o catálogo da empresa SKF, cujo se considera algumas informações:

- Tipo de rolamentos = Esferas
- Tipo de fixação = Flangeado
- Diâmetro do eixo = 40mm
- Tipo de fixação do eixo = pinos / interferência

Outro fator a ser avaliado é a facilidade de se encontrar o mancal selecionado, que junto a um fornecedor nos indicou o mancal UFC 208 com características descritas na Figura 31:



Figura 31- Características do Mancal UFC 208  
Fonte: SKF (2025)

Nota-se pela figura 31 as características gerais do mancal UFC 208.

As dimensões gerais são referenciadas através da Figura 32:

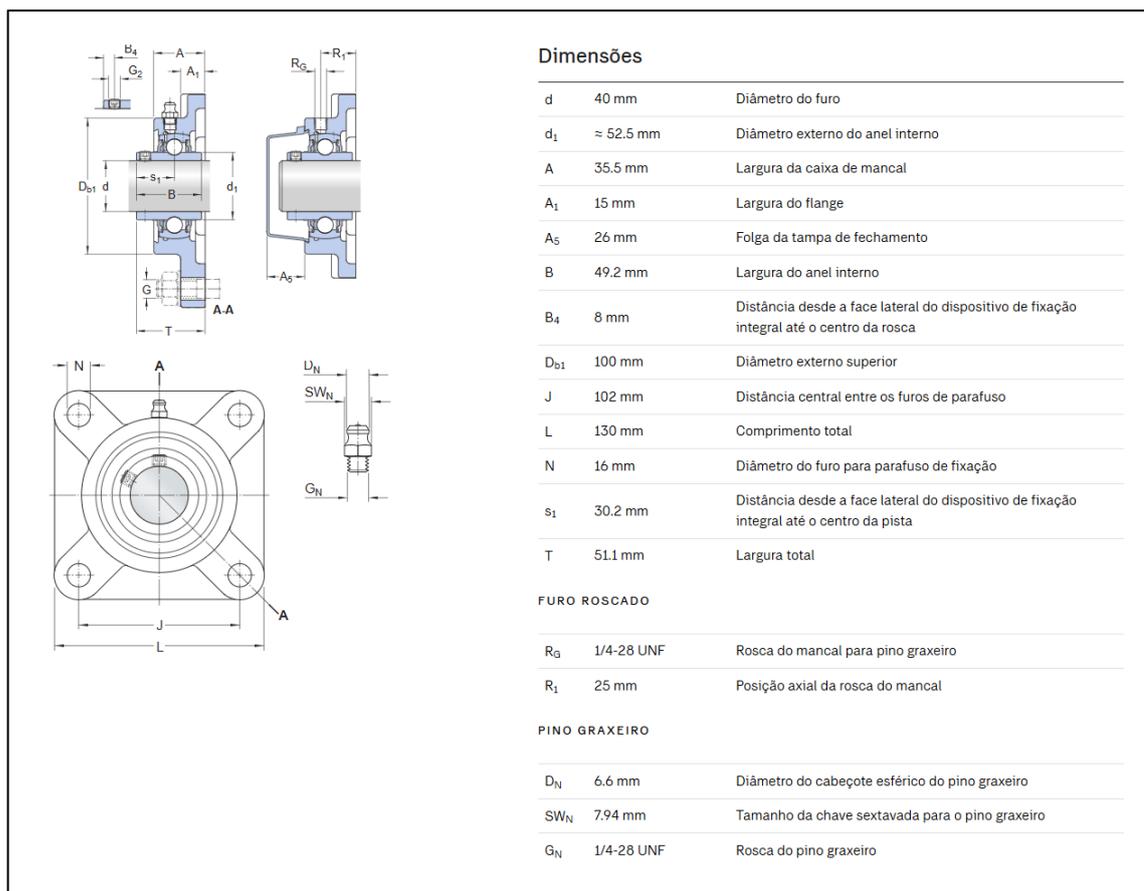


Figura 32 - Dimensões do Mancal UFC 208  
Fonte: SKF (2025)

Observa-se pela figura 32 as dimensões gerais a serem consideradas do mancal UFC 208.

#### 4.8 Dimensionamento da mesa de içamento

Para dimensionamento da mesa de içamento foram considerados alguns fatores:

- Tensionamento do *Big Bag* para enchimento e compactação completa;
- Altura do *Big Bag*;
- Peso a ser içado;
- Retirada de *Big Bags* facilitada;
- Peso correto de 1.3 ton/h.

Considerando os requisitos o conceito se dá por uma parte de sustentação onde o *Big Bag* será apoiado e uma parte de tensionamento / içamento, garantindo um enchimento com peso correto e uma parte de pesagem em tempo real

A estrutura consiste em um conjunto de células de carga da Alfa instrumentos - SAMEL – 2CF, com deslocamentos de até 8 mm com capacidade de pesagem de massa de 2 ton com dimensões e especificações conforme a Figura 33, Figura 34 e Figura 35:

<b>Especificações:</b>	
PN (Part Number)	L-2T SAMEL-2CF SC
SERIES (Linha)	SAMEL
CODE (Código)	0007775
CAP (Capacidade / kg)	2.000
CDEC (Modelo Célula de Carga)	L-2T
MATCDEC (Material Célula de Carga)	Aço Carbono
SUPP (Modelo Suporte)	SAMEL-2CF
MATSUPP (Material Suporte)	Aço Carbono
MATSAPA (Material Sapata)	Aço Carbono
TYPE (Modelo)	Célula de Carga em aço liga L-2T, capacidade 2.000kg com SAMEL-2CF
A (A / mm)	87
B (B / mm)	100
C (C / m)	5
H (H / mm)	130
J (J / mm)	95
L (L / mm)	166.9
P (P / mm)	12.5

Figura 33 - Especificações das células de carga  
Fonte: Alfa Instrumentos (2025)

Nota-se pela figura 33 as características gerais da célula de cargas SAMEL-2CF.

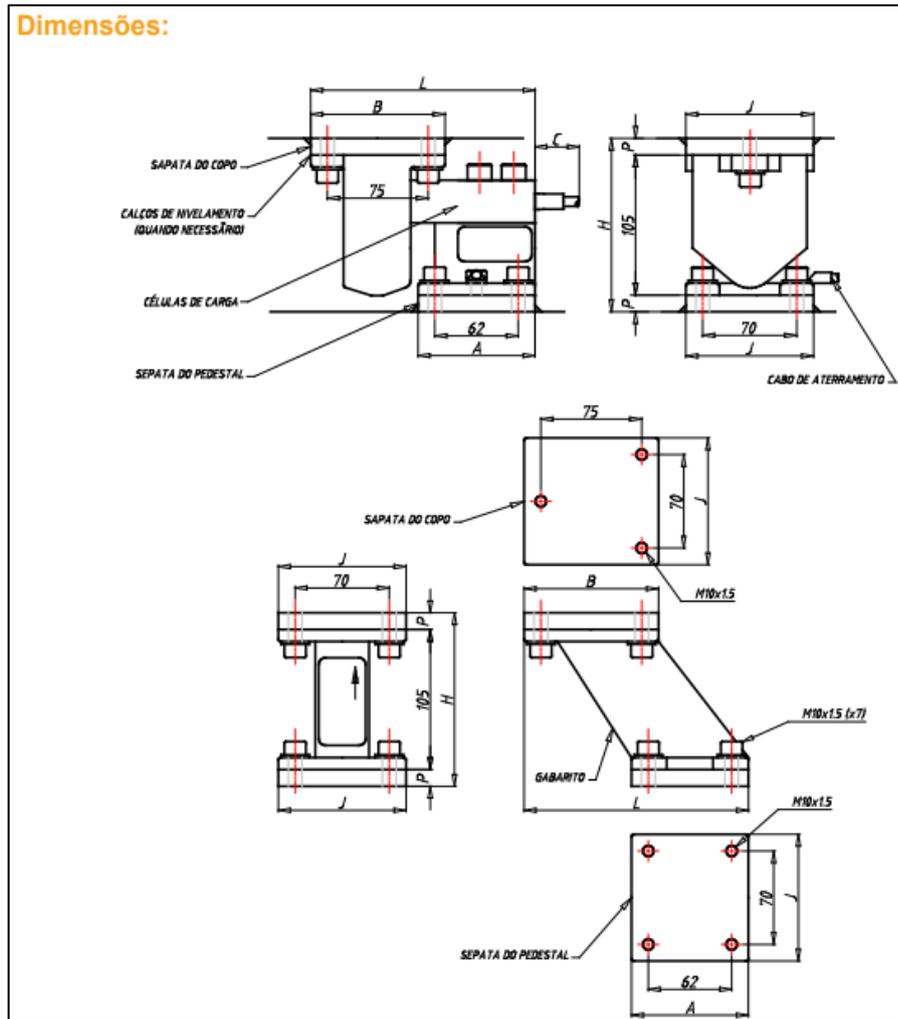


Figura 34 - Dimensões da célula de carga  
 Fonte: Alfa Instrumentos (2025)

A figura 34 traz as dimensões da célula de cargas SAMEL-2CF.

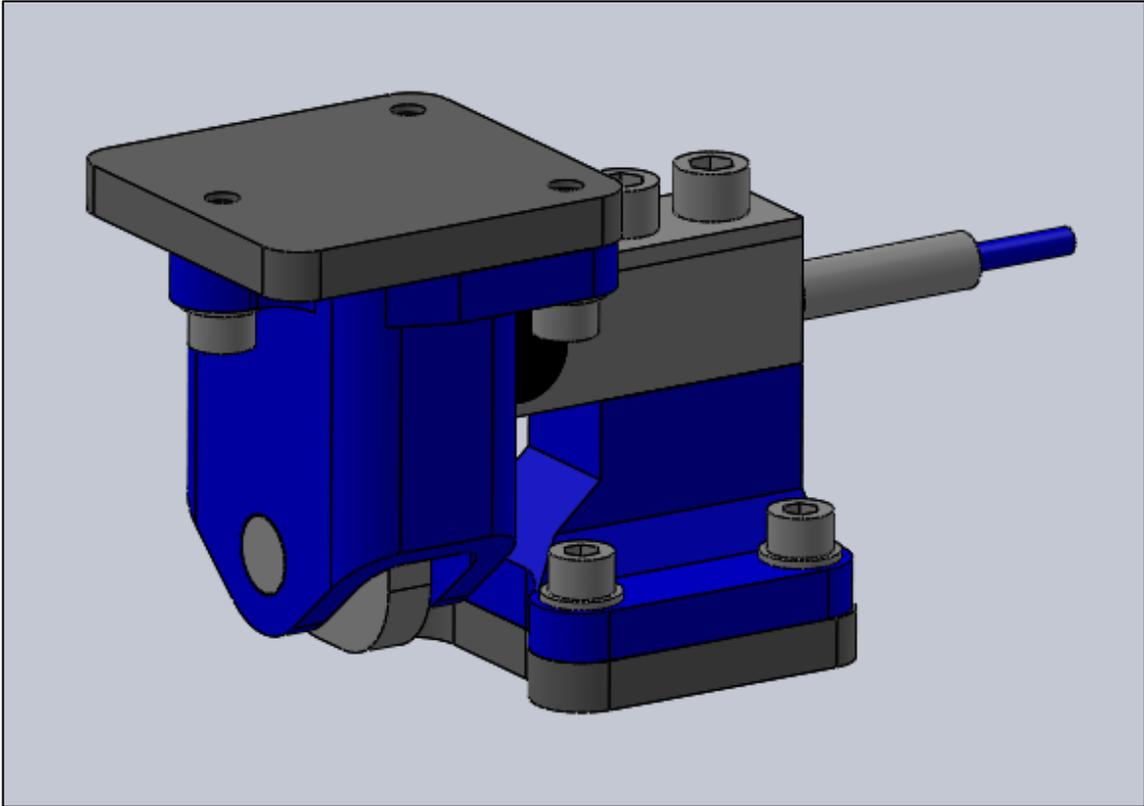


Figura 35 - Vista 3D da célula de carga  
Fonte: Pesquisa Direta (2025)

A figura 35 apresenta o modelo 3D da célula de cargas SAMEL-2CF.

Acima um quadro de vigas U de 4 polegadas com retângulos internos de apoio para as molas, todos com engaste por nervuras dentro da alma da viga.

Apoiado pelas molas tem-se a chapa onde est fixado os motovibradores abaixo e o *Big Bag* acima. Esta chapa há detalhes para a fixação da parte superior sem interferência relevante da vibração do motovibrador, outro ponto é que a mesma como descrito anteriormente está “engordada” chapas soldadas a fim de se dobrar a espessura da chapa como descritos na Figura 36:

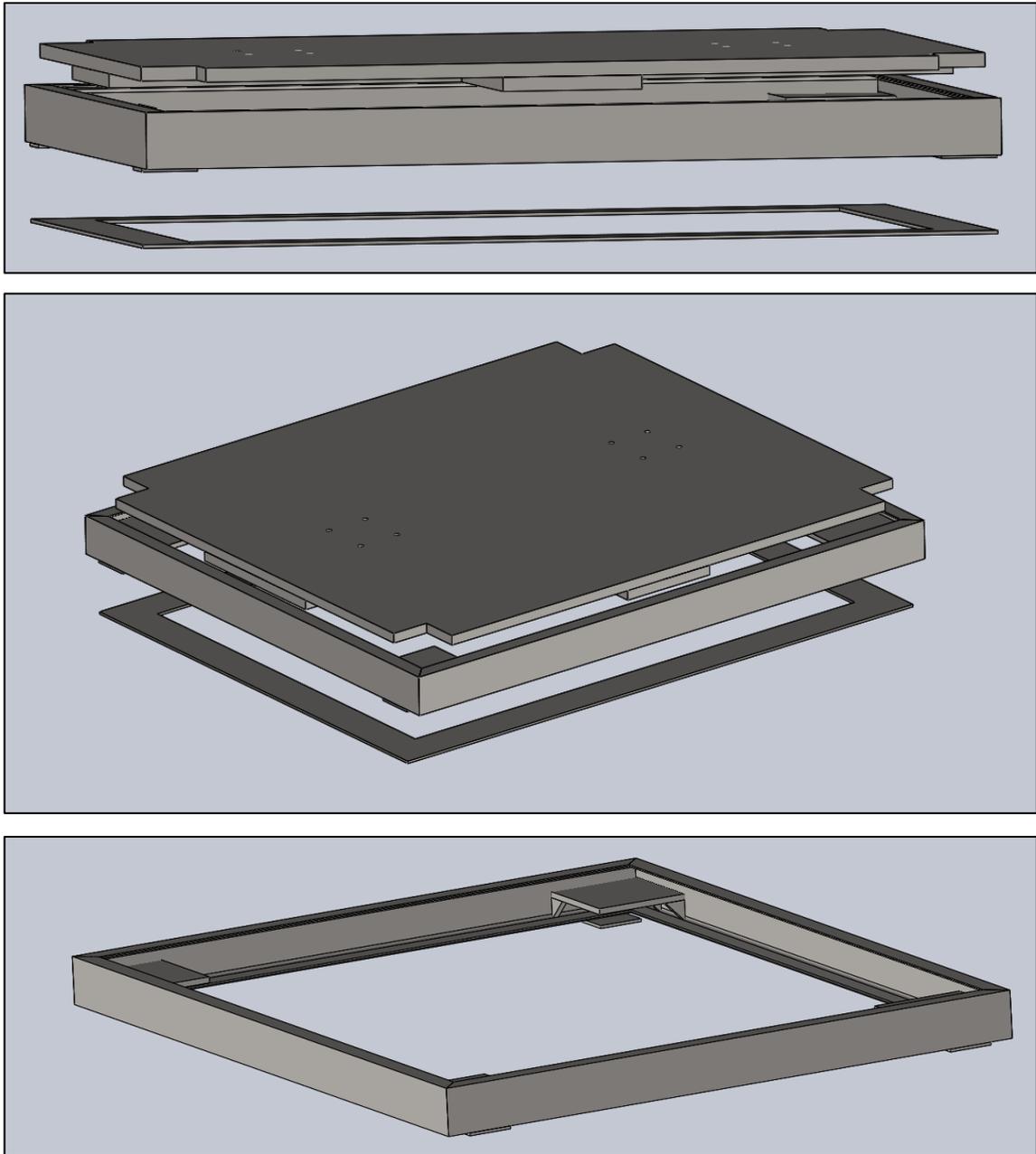


Figura 36 - Vista peças inferiores  
 Fonte: Pesquisa Direta (2025)

Pode-se perceber de acordo com a figura 36 os componentes da estrutura da mesa de içamento.

A figura 37 e figura 38 apresenta o conjunto de sustentação do içamento do *Big Bag*, que consiste em tubos SCH40 3 polegadas para a base, uma bucha de bronze para servir de guia para o içamento, suporte a ser içado com um tubo SCH 40 2 polegadas, contendo na parte superior alças de içamento, as alças de içamento possuem movimento para retirada de modo facilitado de *Big Bags*.



Figura 37 - Vista das peças superiores com alças fechadas  
Fonte: Pesquisa Direta (2025)

A figura 37 apresenta a estrutura de suporte do *Big Bag* com as alças para baixo.



Figura 38 - Vista das peças superiores com alças abertas  
Fonte: Pesquisa Direta (2025)

A figura 38 apresenta a estrutura de suporte do *Big Bag* com as alças para cima de modo a facilitar a retirada de *Big Bag*.

Para realizar o içamento de carga foi selecionado um cilindro pneumático compacto, devido a oferta de ar comprimido na planta e o fato de ser compacto pelo tamanho de atuação a ser considerado.

Utilizado catálogos para a definição do cilindro, conforme Figura 39, para a força se analisa a pressão disponível que na empresa gira em torno de 6bar, também foi considerado que a força necessária para tensionamento seria apenas uma fração da força necessária para içamento do *Big Bag* assim definindo o diâmetro do cilindro com 32mm.



**Tabela de Forças (N) para Cilindros Pneumáticos**

TIPO	SENTIDO	PRESSÃO DE TRABALHO			
		5bar	6bar	7bar	8bar
25	AVANÇO	246	295	344	393
	RETORNO	189	227	265	302
32	AVANÇO	402	482	563	643
	RETORNO	302	362	422	482
40	AVANÇO	629	754	880	1006
	RETORNO	528	634	739	845
50	AVANÇO	982	1178	1374	1570
	RETORNO	825	990	1154	1319
63	AVANÇO	1559	1870	2182	2494
	RETORNO	1402	1682	1962	2242
80	AVANÇO	2514	3016	3519	4022
	RETORNO	2514	2722	3175	3629
100	AVANÇO	3927	4712	5498	6283
	RETORNO	3574	4288	5003	5718
125	AVANÇO	6136	7363	8590	9818
	RETORNO	5734	6881	8029	9174
160	AVANÇO	10053	12064	14074	16085
	RETORNO	9425	11310	13195	15080
200	AVANÇO	15708	18850	21991	25133
	RETORNO	15080	18095	21111	24177
250	AVANÇO	24544	29452	34361	39270
	RETORNO	24562	28254	32987	37699





Figura 39 - Catálogo de forças dos Cilindros Pneumáticos SMC  
 Fonte: Tona Automação (2024)

A figura 39 apresenta uma relação de forças de cilindros pneumáticos com o diâmetro de haste dos mesmos.

Para definição de comprimento de atuação foi considerado a dimensão necessária apenas para gerar o distensionamento da alça assim definido por 125 mm.

Podendo selecionar o cilindro SMC CD55B100-125M.

Assim tendo como resultado a mesa em si conforme a Figura 40:

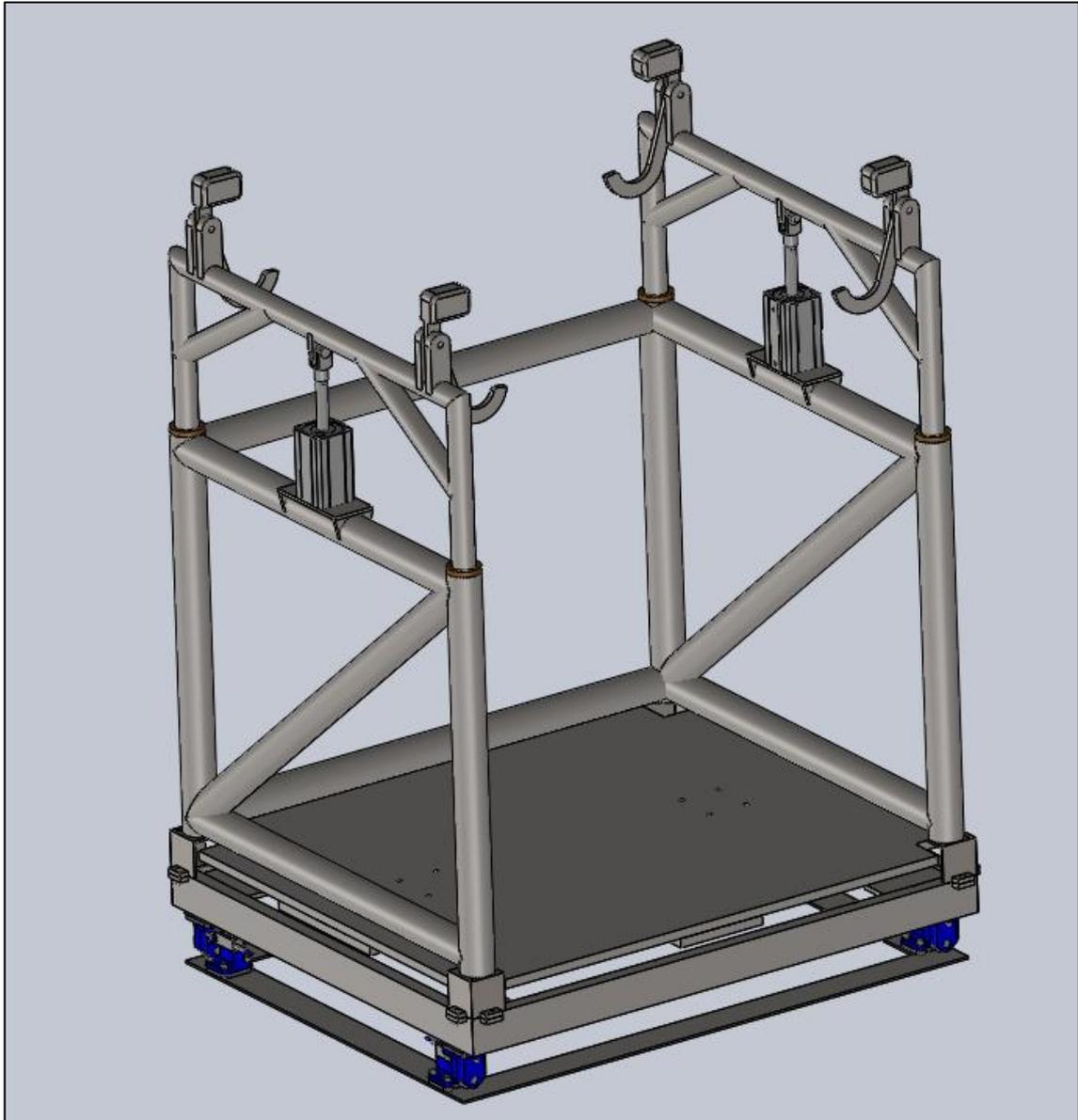


Figura 40 - Vista de montagem do cilindro CDB55100-125M  
Fonte: Pesquisa Direta (2025)

A figura 40 demonstra o modelo em 3D da mesa de içamento

A operação final consiste em algumas etapas: O Big Bag vazio é posicionado e fixado nas alças da mesa de içamento. Ao acionar um botão, o cilindro pneumático atua, erguendo e firmando o Big Bag para o enchimento. Após 5 segundos, a rosca helicoidal é acionada automaticamente, alimentando o material de forma controlada até que o Big Bag atinja o peso

pré-definido de 1.300 kg. No mesmo instante que a rosca é acionada também é acionado os motovibradores para que haja a compactação do material. Após o enchimento total atingindo o peso 1300kg, a rosca helicoidal e os motovibradores são desligados, e o cilindro pneumático libera as alças, abaixando-as para a retirada do Big Bag.

O operador, então, desengata as alças do Big Bag da mesa de içamento. Finalmente, o Big Bag cheio é transportado por uma empilhadeira, que o movimenta segurando-o pelas suas próprias alças, garantindo um manuseio eficiente e seguro.

Esse processo automatizado assegura precisão no peso, compactação adequada e eficiência operacional, minimizando intervenções manuais e reduzindo riscos de acidentes.

#### **4.9 Configuração final do sistema de ensacamento**

O sistema de ensacamento de Hidrato Úmido foi construído conforme o projeto mecânico desenvolvido, permitindo avaliar a eficiência das soluções dimensionadas. Para a montagem final da ensacadeira no programa *SolidWorks* se utilizou duas estruturas espelhadas acopladas a moega, garantindo a independência das operações e reduzindo a possibilidade de contaminação durante o carregamento, conforme mostrado na figura 41. A montagem real do equipamento foi realizado por uma empresa terceirizada em um prazo de 60 dias. Essa empresa ficou responsável pela fabricação de todas as peças de caldeiraria e usinagem, enquanto os componentes fornecidos pelo requisitante, como cilindros pneumáticos, motovibradores, motorreductores, juntas elastômeras, mancais e células de cargas, foram incorporados à montagem final. As figuras 43 e figura 44 mostram a ensacadeira em operação.

O desempenho do equipamento confirmou os cálculos teóricos: o tempo médio de enchimento de *Big Bags* foi de 2 minutos e 50 segundos, atendendo a vazão de 27ton/h prevista no dimensionamento.

Durante a operação, foram identificados necessidades de manutenção preventiva, como a lubrificação semanal dos mancais e limpeza diária das células de cargas e cilindros pneumáticos, devido à natureza do Hidrato Úmido.

Esses cuidados são essenciais para garantir o bom funcionamento e a durabilidade do equipamento. Portanto, o projeto mecânico se mostrou adequado, com os resultados operacionais consistentes com os cálculos iniciais, atendendo aos objetivos de desempenho e eficiência previstos para o sistema de ensacamento.

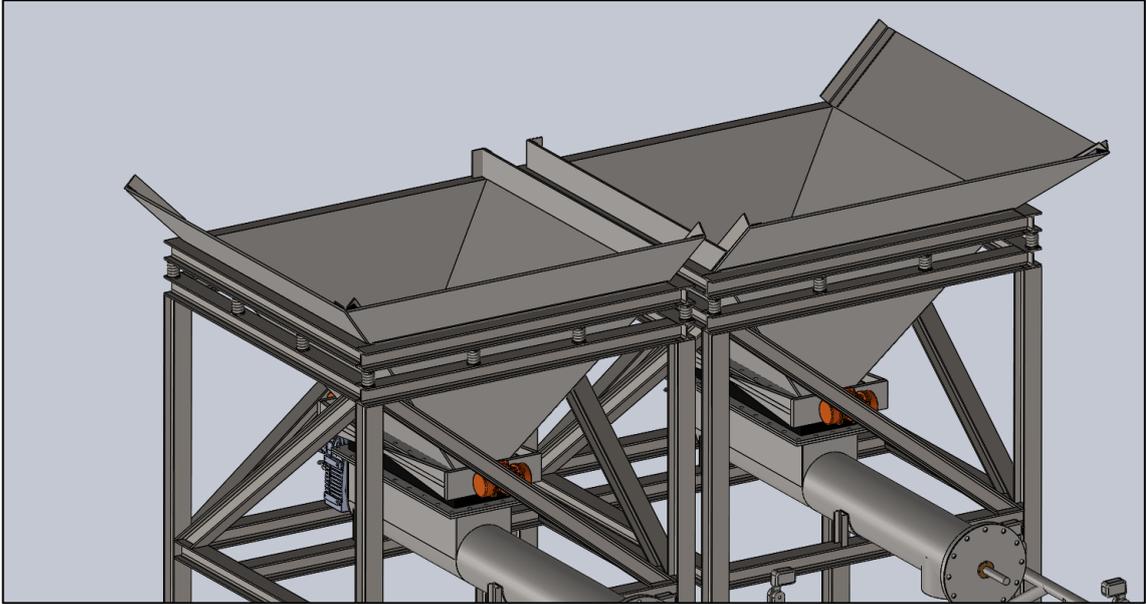


Figura 41 - Vista de montagem da proteção superior  
 Fonte: Pesquisa Direta (2025)

Assim finalizando o dimensionamento da ensacadeira de HU ( Figura 42):

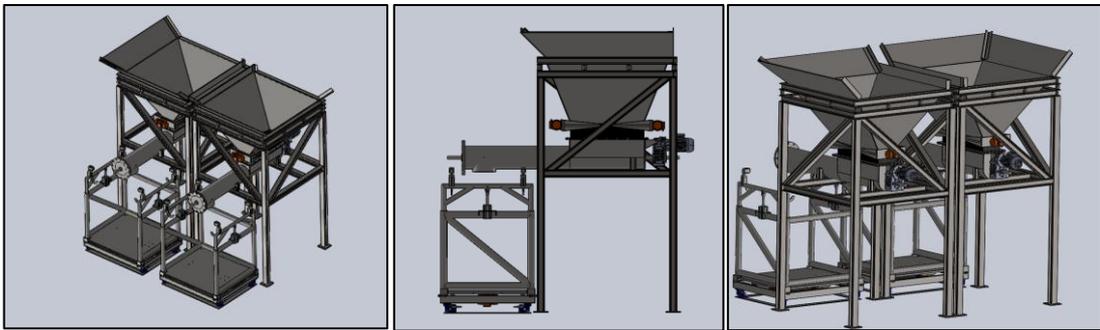


Figura 42 - Vista de montagem final  
 Fonte: Pesquisa Direta (2025)

A figura 43 mostra a montagem final da ensacadeira de Hidrato úmido em operação vista frontal.



Figura 43 - Montagem real  
Fonte: Pesquisa Direta (2025)

A figura 44 mostra a montagem final da ensacadeira de Hidrato úmido em operação vista isométrica



Figura 44 - Vista isométrica da montagem física  
Fonte: Pesquisa Direta (2025)

## 5 CONCLUSÃO E RECOMENDAÇÕES

A partir dos objetivos traçados, o trabalho comprovou a viabilidade técnica e prática do desenvolvimento de um sistema mecânico para ensacamento de hidrato úmido em Big Bags. O estudo bibliográfico e o dimensionamento detalhado dos principais componentes, como a moega, a estrutura metálica, a rosca transportadora, o sistema de pesagem e a mesa de içamento, permitiram a concepção de um equipamento robusto, automatizado e adaptado às necessidades da indústria. Esse resultado representa um avanço significativo em relação ao processo manual, eliminando gargalos produtivos e proporcionando maior eficiência operacional.

Os resultados obtidos evidenciam que a integração entre engenharia mecânica, automação é fundamental para o desenvolvimento de soluções industriais eficazes. O sistema projetado demonstrou atender à capacidade de produção estipulada de 12.960 toneladas por mês, com segurança e precisão no enchimento dos Big Bags. Além disso, a validação prática confirmou a coerência entre os cálculos teóricos e o desempenho real, o que reforça a confiabilidade da metodologia aplicada.

Esse projeto também trouxe benefícios diretos para a empresa ao otimizar o processo de ensacamento, reduzindo o esforço humano, os riscos de acidentes e as perdas de material. A automação implementada resultou em padronização, maior qualidade do produto final e redução de custos operacionais, aspectos que impactam diretamente a competitividade da organização. Assim, o estudo não apenas solucionou uma demanda específica, mas também contribuiu para consolidar práticas mais modernas e alinhadas às exigências atuais do setor industrial.

### 5.1 Recomendações

- Análise por métodos finitos do dimensionamento da estrutura metálica.
- Estudo aprimorado da potência efetiva do motor e redutor para uma rosca helicoidal.
- Reaproveitamento de materiais dentro do ambiente fabril afim de redução de custos.

## 6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALFA INSTRUMENTOS. Célula de carga. [S. l.], 13 fev. 2025. Disponível em: <https://www.alfainstrumentos.com.br/novo-samel/>. Acesso em: 13 jun. 2025.

ALMEIDA, G. F. Sistemas de pesagem de precisão em ambientes industriais. 2. ed. São Paulo: Edgard Blücher, 2019.

ALVES, Fábio da Silva; CALU, André; LOUREIRO, Daniel. Elaboração de projeto mecânico: estudo de caso implementando um robô colaborativo em sétimo eixo em uma indústria de manufatura automotiva. *Ensaio Interdisciplinares*, v. 12, n. 2, p. 1-15, 2022. Disponível em: <https://www.usf.edu.br/galeria/getImage/768/1900253819172465.pdf>. Acesso em: 05 jul. 2025.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 8800: projeto de estruturas de aço e de estruturas mistas de aço e concreto de edifícios. Rio de Janeiro, 2008.

AURÉLIO, H. F. B. Novo dicionário da língua portuguesa. 3. ed. Rio de Janeiro: Nova Fronteira, 2002.

AZEVEDO, Bruno Filipe Teixeira. Simulação de sistemas automatizados de transporte interno de materiais: estudo de caso na indústria de semicondutores. Universidade de Coimbra, 2022. Disponível em: <https://estudogeral.uc.pt/bitstream/10316/103170/1/Disserta%C3%A7%C3%A3o%20Bruno%20Azevedo.pdf>. Acesso em: 20 maio 2025.

BALLOU, Ronald H. Gerenciamento da cadeia de suprimentos: planejamento, organização e logística empresarial. 5. ed. Porto Alegre: Bookman, 2006.

BARBOSA-PÓVOA, A. P.; GUIMARÃES, V. A. Engenharia de processos da indústria alimentar. Lisboa: Lidel, 2018.

CALLISTER, W. D.; RETHWISCH, D. G. Fundamentos da ciência e engenharia dos materiais: uma abordagem integrada. 4. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2014.

CARSON, J. W.; HOLMES, T. Silos: theory and practice. 3. ed. London: Springer, 2019.

CARVALHO, L. M. et al. Tecnologias avançadas em instrumentação de pesagem. *Revista Brasileira de Metrologia*, v. 38, n. 4, p. 567-580, 2022.

CEMA. Screw conveyors for bulk materials. 3. ed. Conveyor Equipment Manufacturers Association, 2009.

CEMB, H. Sistemas de pesagem industrial: princípios e aplicações. 2. ed. São Paulo: Edgard Blücher, 2014.

CENTRO DE TECNOLOGIA DE EMBALAGEM – CETEA. Embalagens de transporte e distribuição. Campinas: Instituto de Tecnologia de Alimentos – Ital, 2021. Disponível em: . Acesso em: 20 maio 2025.

GERDAU. Catálogo barras e perfis – tabela de bolso. [S. l.: s. n.], 2025. 14 p. Disponível em: <https://gsn.gerdau.com/pt-br/catalogos-e-manuais>. Acesso em: 19 fev. 2025.

GROOVER, M. P. Automation, production systems, and computer-integrated manufacturing. 3. ed. Upper Saddle River: Prentice Hall, 2008.

JUVINALL, R. C.; MARSHEK, K. M. Fundamentals of machine component design. 5. ed. New York: Wiley, 2011.

KERZNER, H. Gestão de projetos: as melhores práticas. 10. ed. Porto Alegre: Bookman, 2011.

MARTINS, José L. Redução de custos e tempo de desenvolvimento de projetos mecânicos com o uso da automação industrial. Revista de Engenharia e Tecnologia Aplicada, São Paulo, v. 9, n. 2, p. 45-58, 2017. Disponível em: <https://revistas.fatecsp.br/index.php/engtec/article/view/123>. Acesso em: 05 jul. 2025.

MELCONIAN, S. Elementos de máquinas. 10. ed. São Paulo: Érica, 2014.

MENDES NETO, Jose Francisco. Análise de vibração em máquinas industriais com inteligência artificial para previsão de falhas e classificação de defeitos. 2024. 45 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Engenharia de Controle e Automação) – Escola Politécnica, Pontifícia Universidade Católica de Goiás, Goiânia, 2024. Disponível em: <https://repositorio.pucgoias.edu.br/jspui/handle/123456789/8179>. Acesso em: 05 jul. 2025.

MOURA, R. A. Sistemas e técnicas de movimentação e armazenagem de materiais. 6. ed. São Paulo: IMAM, 2004.

NOGUEIRA, T. P.; MARTINS, R. C. Metrologia aplicada: princípios e técnicas de pesagem. Rio de Janeiro: LTC, 2021.

NORTON, R. L. Projeto mecânico: princípios e aplicações. São Paulo: Bookman, 2004.

NORTON, Robert L. Projeto de máquinas: uma abordagem integrada. Porto Alegre: Bookman, 2004.

NORTON, Robert L.; PENNOCK, J. Edward. Projeto de máquinas: uma abordagem integrada. 4. ed. Porto Alegre: AMGH, 2013.

OIL VIBRATORS. Motovibradores industriais: vibradores elétricos para aplicações industriais. [S. l.: s. n.], 2025. Disponível em: <https://app.olivibra.com/>. Acesso em: 2 jun. 2025.

OLIVEIRA, A. B. Automação e controle de processos industriais. São Paulo: Érica, 2020.

OLIVEIRA, André et al. Estudo sobre a utilização de sistema com molas helicoidais para amortização do ruído de maquinários industriais. 2021. Trabalho de Conclusão de Curso (Engenharia de Produção) – Universidade Anhembi Morumbi, São Paulo, 2021. Disponível em: <https://repositorio.animaeducacao.com.br/bitstreams/45e5d47e-b7a8-4404-b231-723d62b0f534/download>. Acesso em: 05 jul. 2025.

OLIVEIRA, Eric Sampaio de; BACCI, Silvio César Cardoso; PELIZER PARIS, Lucio Rogerio; MENEGASSI, Wladimir José Camillo; ANTUNES NETO, Joaquim M. F. Automação nos processos industriais: processo de implementação e o papel do gestor de tecnologia da informação. *Prospectus*, Itapira, v. 6, n. 1, p. 153-203, jan./jun. 2024. Disponível em: <https://prospectus.fatecitapira.edu.br/index.php/pst/article/download/220/156/397>. Acesso em: 20 maio 2025.

PEREIRA, R. M. et al. Tecnologias de pesagem de precisão em ambientes farmacêuticos. *Revista de Engenharia Química*, v. 45, n. 3, p. 112-125, 2020.

RAO, Singiresu S. *Vibrações mecânicas*. 5. ed. São Paulo: Pearson Education do Brasil, 2018.

RAO, S. S. *Mechanical vibrations*. 6. ed. London: Pearson, 2017.

REIS, L. C. P. *Equipamentos, seleção e custos na construção civil*. 3. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2011.

RIBEIRO, A. S. *Controle metrológico de instrumentos de pesagem*. Curitiba: Editora Intersaberes, 2020.

RIBEIRO, L. F. *Metrologia e controle de processos industriais*. Curitiba: Editora Intersaberes, 2019.

ROCHA, M. S. Automação e controle em projetos mecânicos industriais. *Journal of Industrial Automation*, v. 10, n. 2, p. 78-89, 2022.

ROCHA, Ramon Gomes. Importância da automação no processo industrial. 2022. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Elétrica) – Faculdade Pitágoras, Ipatinga, 2022. Disponível em: [https://repositorio.pgsscogna.com.br/bitstream/123456789/58057/1/RAMON\\_GOMES\\_ROCHA.pdf](https://repositorio.pgsscogna.com.br/bitstream/123456789/58057/1/RAMON_GOMES_ROCHA.pdf). Acesso em: 20 maio 2025.

RODRIGUES, Denis. Análise numérica e experimental de um transportador vibratório ressonante de viga única. 2010. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) – Faculdade de Engenharia, Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Ilha Solteira, 2010.

RODRIGUES, J. L. Estudo técnico para melhoria na armazenagem de produtos acabados em uma indústria metalúrgica. 2015. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia de Produção) – Universidade Estadual de Maringá, Maringá, 2015.

SANTOS, J. P. Implementação do sistema de envase com contentores flexíveis (Big Bags) na indústria alimentícia: um estudo de caso. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE

ENGENHARIA DE PRODUÇÃO, 9., 2019, Ponta Grossa. Anais [...]. Ponta Grossa: ABEPRO, 2019.

SCHLEDORN, Samuel. Estudo e padronização das operações de içamento. 2018. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade de São Paulo, São Carlos, 2018. Disponível em: <https://bdta.abcd.usp.br/directbitstream/00c9608c-2270-4463-a8bd-5130c4815417/Samuel%20Schledorn.pdf>. Acesso em: 16 jul. 2025.

SHIGLEY, J. E.; MISCHKE, C. R. Projeto de engenharia mecânica. 8. ed. Porto Alegre: AMGH, 2011.

SHIGLEY, J. E.; MISCHKE, C. R. Projeto de engenharia mecânica. 10. ed. New York: McGraw-Hill, 2012.

SHIGLEY, J. E.; MISCHKE, C. R.; BUDYNAS, R. G. Projeto de engenharia mecânica. 7. ed. Porto Alegre: Bookman, 2005.

SILVA, A. B.; OLIVEIRA, C. D. Automação de sistemas de pesagem na Indústria 4.0. Porto Alegre: Bookman, 2017.

SILVA, João et al. Análise do comportamento dinâmico de molas helicoidais em sistemas de amortecimento. Revista Brasileira de Engenharia Mecânica, v. 12, n. 3, p. 45-58, 2021.

SKF. UCF 208: unidade de rolamentos de esferas flangeada quadrada com parafuso de fixação, caixa de mancal de ferro fundido, normas JIS. [S. l.], 2025. Disponível em: <https://www.skf.com/br/products/mounted-bearings/ball-bearing-units/flanged-ball-bearing-units/productid-UCF%20208>. Acesso em: 23 jul. 2025.

TONA AUTOMAÇÃO. Programa de fornecimento. [S. l.: s. n.], 2024. Disponível em: <https://tonaautomacao.com.br/catalogo/tona/>. Acesso em: 24 jul. 2025.

TOMPKINS, J. A. et al. Facilities planning. 4. ed. Hoboken: John Wiley & Sons, 2010.

TOMPKINS, J. A. et al. Facilities planning. 4. ed. New York: John Wiley & Sons, 2018.

VANCE, J. M. et al. Máquinas rotativas: análise de vibração e diagnóstico. São Paulo: Editora ABC, 2010.

VARGAS, R. V. Manual prático do plano do projeto. Rio de Janeiro: Brasport, 2009.

VIBRA-STOP. Características dos amortecedores Vibra-Stop - Orçamento ACTECH. 2025. Orçamento.

XCMG. LW300BR pá carregadeira. [S. l.: s. n.], ago. 2024. 6 p. v. 1. Disponível em: <https://www.xcmg-america.com/produtos/lw300br/>. Acesso em: 14 jan. 2025.

XIMENES, Gilmar M.; MAINIER, Fernando B. Medidas e medições de engenharia para controle de vibrações na indústria. In: SEMANA DE ENGENHARIA DA UFF, 7.; SEMINÁRIO FLUMINENSE DE ENGENHARIA, 4., 2005, Niterói. Anais [...]. Niterói: UFF, 2005. p. 1-10. Disponível em:

[http://inmetro.gov.br/producaointelectual/obras\\_intelectuais/230\\_obraIntelectual.pdf](http://inmetro.gov.br/producaointelectual/obras_intelectuais/230_obraIntelectual.pdf). Acesso em: 05 jul. 2025.

## **ANEXO**