

UNIVERSIDADE DE CAXIAS DO SUL
ÁREA DO CONHECIMENTO DE CIÊNCIAS EXATAS E ENGENHARIAS

MATHEUS MARIANI

**PROJETO E DESENVOLVIMENTO DE UMA BANCADA
DE TESTES PARA FREIOS INERCIAIS DE REBOQUES**

CAXIAS DO SUL

2022

MATHEUS MARIANI

**PROJETO E DESENVOLVIMENTO DE UMA BANCADA
DE TESTES PARA FREIOS INERCIAIS DE REBOQUES**

Trabalho de Conclusão de curso apresentado
como requisito parcial para a obtenção do
título de Bacharel em Engenharia Mecânica na
Universidade de Caxias do Sul.

Área de Concentração: Projeto Mecânico.

Orientador: Prof. Dr. Alexandre Vieceli

CAXIAS DO SUL

2022

MATHEUS MARIANI

**PROJETO E DESENVOLVIMENTO DE UMA BANCADA
DE TESTES PARA FREIOS INERCIAIS DE REBOQUES**

Trabalho de Conclusão de curso apresentado
como requisito parcial para a obtenção do
título de Bacharel em Engenharia Mecânica na
Universidade de Caxias do Sul.

Aprovado em ____/____/____.

Banca Examinadora

Prof. Prof. Dr Alexandre Vieceli
Universidade de Caxias do Sul - UCS

Prof. Me Paulo Roberto Linzmaier
Universidade de Caxias do Sul - UCS

Prof. Me Adelair Lino Colombo
Universidade de Caxias do Sul - UCS

RESUMO

Este trabalho destinou-se ao projeto e desenvolvimento de uma bancada de testes para freios inerciais de reboques. Para tal, foram realizadas pesquisas bibliográficas em busca de informações sobre os diferentes modelos de freios inerciais e seu modo de funcionamento, assim como seus componentes, e um estudo e entendimento das normas NBR ISO 7643, NBR ISO 10966-8 e o anexo 12 da Norma UN/ECE. A bancada de testes poderá ser utilizada para o processo de homologação do freio inercial, garantindo ao fabricante do reboque, fornecimento qualificado ao mercado. A bancada de testes deverá atender às normas citadas e propiciar que os produtos (reboques com freios inerciais) sejam submetidos a ensaios de desenvolvimento e de certificação do produto. A bancada de ensaios foi construída em meio virtual e simulada em um software de elementos finitos para garantir que suportaria a carga necessária para os testes. Sua estrutura suportou uma carga de 700 N verticalmente e valores de força na ordem de 2500 N horizontalmente, mostrando que necessita apenas um reforço em um de seus apoios. Simultaneamente a esse processo, foi fornecido um reboque, ao qual foram executados ensaios, para entendimento das normas e obtenção de dados, para geração de resultados de eficiência.

Palavras-chave: Freio Inercial. Reboques. Homologação. Simulações. Ensaios.

ABSTRACT

This work was intended for the design and development of a test bench for trailer inertia brakes. To this end, bibliographic research was carried out in search of information about the different models of inertia brakes and their mode of operation, as well as their components, and a study and understanding of the standards NBR ISO 7643, NBR ISO 10966-8 and Annex 12 of the UN/ECE Standard. The test bench can be used for the inertia brake approval process, guaranteeing the trailer manufacturer a qualified supply to the market. The test bench must meet the aforementioned standards and allow the products (trailers with inertia brakes) to be submitted to product development and certification tests. The test bench was built in a virtual environment and simulated in infinite element software to ensure that it would support the load required for the tests. The structure supported a load of 700 kgf vertically and force values of around 2500 kgf horizontally, showing that it only needs reinforcement in one of its supports. Simultaneously to this process, a trailer was supplied, on which tests were carried out, in order to understand the standards and obtain data, in order to generate efficiency results.

Keywords: Inertial Brakes. Trailers. Homologation. Simulations. Tests.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Freios automotivos	12
Figura 2 – Modelo de freio a tambor.....	14
Figura 3 – Modelo de freio a disco.....	14
Figura 4 – Modelo de Reboque.....	15
Figura 5 – Freio de Inércia Hidráulico de reboques	16
Figura 6 – Esquema de um sistema de freio usual	19
Figura 7 – Sistema de freio hidráulico	22
Figura 8 – Freio pneumático	23
Figura 9 – Sistema inercial válido para todos os tipos de freios de reboque	24
Figura 10 – Guia de freios de reboque	24
Figura 11 – Esboço do percurso dispositivo e variáveis obtidas através de cálculo	27
Figura 12 – Curva obtida representando K e ηH_0 , para transmissões mecânicas	30
Figura 13 – Curva obtida representando K e ηH_0 para transmissões hidráulicas	30
Figura 14 – Fluxograma com as etapas da realização do trabalho	35
Figura 15 – Reboque fornecido para realização dos ensaios	37
Figura 16 – Acionador inercial, transmissão hidráulica e freios a disco.....	38
Figura 17 – Vista Isométrica e dimensionamento de um esboço da estrutura principal da bancada	39
Figura 18 – Cilindro que será utilizado na construção da bancada	40
Figura 19 – Dimensões do disco que será roscado no cilindro	41
Figura 20 – Célula de carga	42
Figura 21 – Unidade hidráulica que será utilizado na construção da bancada	42
Figura 22 – Diagrama de circuito hidráulico	43
Figura 23 – Circuito elétrico para ativação do sistema	44
Figura 24 – Etapas do curso do ensaio	45
Figura 25 – Modelamento da estrutura principal da bancada com reboque de um eixo	46
Figura 26 – Malha gerada na estrutura da bancada	47
Figura 27 – Ensaio do freio Inercial de reboque	48
Figura 28 – Gráfico da eficiência de dispositivo de controle em função de K , ensaiado até a faixa ideal de final de curso.....	52
Figura 29 – Gráfico da eficiência de dispositivo de controle em função de K , ensaiado até o final de curso	52

Figura 30 – Bancada em seu estado final de modelagem	53
Figura 31 – Dimensões finais da bancada	54
Figura 32 – Renderização da bancada	55
Figura 33 – Apresentação dos componentes da bancada conforme tabela 7.....	56
Figura 34 – Deslocamentos (mm) na bancada	57
Figura 35 – Tensões na bancada	57
Figura 36 – Deslocamentos na bancada com carga vertical e horizontal	58
Figura 37 – Tensões na bancada com carga vertical e horizontal	58
Figura 38 – Tensões concentradas no apoio frontal	59
Figura 39 – Planta baixa representando onde a bancada ficará localizada	60
Figura 40 – Laboratório onde estará localizado a bancada em vista 3D	60

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Equipamentos de um sistema de freio	19
Tabela 2 – Parâmetros a serem dimensionados	28
Tabela 3 – Variáveis determinadas através dos ensaios efetuados	33
Tabela 4 – Ordem das atividades para realização dos ensaios de freios inerciais	48
Tabela 5 – Resultados dos ensaios de freios inerciais	50
Tabela 6 – Variáveis disponibilizadas pelo fabricante	51
Tabela 7 – Componentes da Bancada de Ensaios	55

LISTA DE EQUAÇÕES

Equação 1 – Eficiência de frenagem em transmissão mecânica	31
Equação 2 – Eficiência de frenagem em transmissão hidráulica	31

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

<i>SI</i>	Sistema Internacional de unidades
NBR	Norma Brasileira
ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
B*	Força de frenagem necessária
D*	Impulso admissível no acoplamento
F _{HZ}	Área superficial do pistão do cilindro mestre
UN/ECE	<i>Economic Commission for Europe of the United Nations</i>
CAD	<i>Computer-aided design</i> (Desenho assistido por computador)
LED	<i>Light-emitting diode</i> (Diodo emissor de luz)

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	12
1.1	FREIOS AUTOMOTIVOS	12
1.1.1	Freios a tambor	13
1.1.2	Freios a disco	14
1.1.3	Reboque	15
1.1.4	Dispositivos de frenagem inercial	16
1.2	JUSTIFICATIVA	16
1.3	OBJETIVO GERAL.....	17
1.3.1	Objetivos Específicos	17
2.	FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	18
2.1	SISTEMAS DE FREIOS.....	18
2.1.1	Freio Mecânico	20
2.1.2	Freio de Serviço	20
2.1.2.1	Freio Hidráulico	21
2.1.2.2	Freio Pneumático	22
2.1.3	Freios de Inércia	23
2.2	NORMAS TÉCNICAS UTILIZADAS PARA FREIOS INERCIAIS	26
2.2.1	Norma NBR ISO 7643	26
2.2.2	Anexo 12 da Norma UN/ECE	28
2.2.3	Norma NBR ISO 10966-8	32
3	MATERIAS E MÉTODOS	35
3.1	DESCRIÇÃO DAS ETAPAS	36
3.2	OBJETOS DE ESTUDO	37
3.2.1	Reboque de Ensaio	37
3.2.2	Bancada de Ensaios	39
3.2.3	Circuito Hidráulico	40
3.2.4	Requisitos de Projeto	44
3.2.5	Bancada Virtual de Ensaios	45
3.3	MÉTODO DE ELEMENTOS FINITOS (FEM)	46
3.4	ENSAIOS DE FRENAGEM	47

4	RESULTADOS	50
4.1	DESENVOLVIMENTO DAS ATIVIDADES	50
4.2	RESULTADOS DOS ENSAIOS DE FRENAGEM	50
4.3	MODELAGEM DA BANCADA DE ENSAIOS	53
4.3.1	Simulações na Bancada de Ensaios	56
4.3.2	Laboratório da Bancada de Ensaios	59
5	CONCLUSÃO	62
6	SUGESTÕES PARA CONSTRUÇÃO DA BANCADA E ENSAIOS	64

1 INTRODUÇÃO

Os freios estão entre as partes mais importantes do veículo. É o atrito resultante do contato dos componentes do freio que gera uma força cujo calor (dissipado no ar) se converte em energia mecânica e imobiliza o veículo.

Pode-se definir o freio de atrito como o dispositivo que converte em calor parte da energia cinética e potencial de um veículo, dissipando a energia para o meio ambiente (ROZA, 1989).

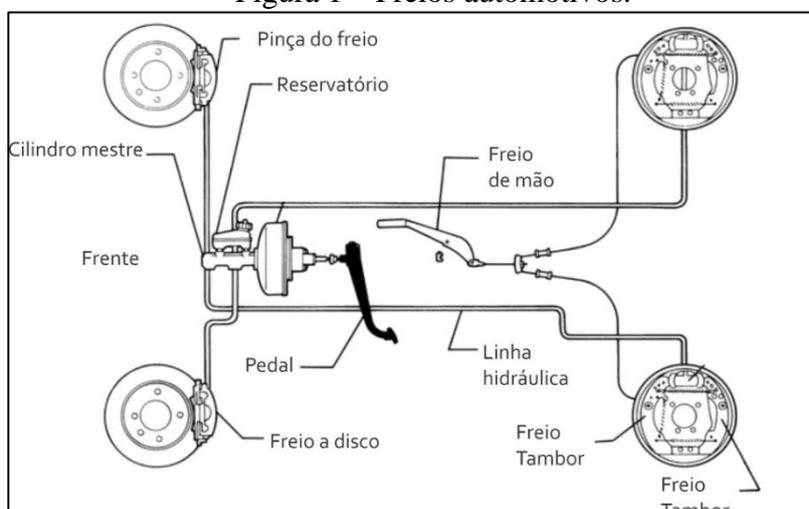
1.1 FREIOS AUTOMOTIVOS

O sistema de freio automotivo opera com o contato entre um elemento fixo, a pastilha ou a lona, e um elemento rotativo, disco ou tambor, esses acoplados à roda para cada sistema de freio há um tipo de material de atrito diferente (BARBOSA, 2017).

O sistema de freio automotivo está entre os sistemas que mais afetam a segurança ao dirigir um veículo, junto à suspensão e direção. Ele é composto por uma série de componentes que trabalham em conjunto para realizar o processo de desaceleração e frenagem completa de um veículo, conforme visto na figura 1.

A força é produzida a partir da aplicação do pé do piloto no pedal, amplifica-se nos cilindros mestres, converte-se em pressão, converte-se novamente em força nos cilindros das pinças e em força de atrito da pastilha sobre o disco e, finalmente, em força de frenagem na roda.

Figura 1 – Freios automotivos.



Fonte: Adaptado de AE CLASSIC (2011).

Em veículos leves, o sistema de freio se divide em dois tipos: a disco ou tambor, ambos hidráulicos. Nos veículos pesados, como ônibus e caminhões, são encontrados os freios a ar, ou também chamado pneumáticos. Cada componente do sistema é responsável por desempenhar uma função específica. O pedal, sendo o mais conhecido entre eles, é o único componente ao qual o condutor tem contato durante o processo de frenagem.

A alavanca, ou como é mais conhecido, freio de mão, quando acionada, só provoca a frenagem das rodas traseiras. Sendo esse o motivo que o freio de mão somente deve ser acionado para manter o veículo parado, e nunca para reduzir a sua velocidade. Em seguida tem-se o freio a disco, ou tambor, dependendo do modelo de freio, sendo ambos utilizados para desacelerar e parar o carro, quando um material abrasivo é pressionado contra ele.

Para finalizar a listagem dos componentes, tem-se a pastilha, que serve como elemento de fricção nos modelos de freio à disco, e lona, para os modelos de freios a tambor. Esses componentes aumentam o atrito e geram resistência contra o deslocamento, ocasionando na perda de velocidade do veículo.

Ambos os freios tem seu funcionamento similar, sendo assim, ao pisar no pedal, o condutor aplica uma pressão sobre o fluido de freio e a intensidade que ele utiliza no movimento é igualmente transmitida até as rodas, o que leva o veículo a reduzir ou parar.

1.1.1 Freios a Tambor

Os freios a tambor são os tipos de freios mais antigos que ainda se encontram em uso no cenário automotivo. A grande vantagem deles é que exigem menor pressão hidráulica para parar o carro, uma vez que as sapatas de freio tendem a se atritar contra os tambores de freio após serem empurradas pelos pistões nos cilindros de freio (SCLAR, 2015 apud BARBOSA, 2017).

A diferença entre os sistemas está no componente que gera atrito com a roda, sendo no caso do tambor, duas sapatas semicirculares, que trazem lonas fixadas, conforme Figura 2. Ao frear, essas lonas geram o atrito entre o cilindro da roda contra o tambor, o que leva as duas partes do freio a seguirem o mesmo movimento. Os principais benefícios do modelo a tambor estão relacionados à durabilidade e ao seu custo mais baixo. Porém, ele tem um desempenho inferior aos freios a disco (NAKATA, 2018).

Figura 2 – Modelo de freio à tambor.



Fonte: Salão do carro, (2018).

1.1.2 Freios a Disco

O freio a disco é uma evolução do tambor, tendo também seu funcionamento a partir de um sistema hidráulico. Os freios a disco funcionam por meio da utilização das pastilhas, que são sustentadas dentro de uma pinça hidráulica, recebendo a pressão para fazer a frenagem. Tais pastilhas geram um atrito em um disco, o que faz o veículo parar definitivamente, conforme Figura 3.

Geralmente encontrado nas rodas dianteiras dos veículos, o freio a disco é o melhor sistema de frenagem existente na atualidade, pois apresenta longa vida útil, além de apresentar menor dilatação, melhor equilíbrio e equalização das pressões exercidas sobre eles, quando comprimidos contra as pastilhas de freio (SCLAR, 2015).

Figura 3 – Modelo de Freio à disco.



Fonte: Salão do carro, (2018)

As vantagens do freio a disco em relação ao freio a tambor são:

- a) redução da perda de frenagem por superaquecimento;
- b) a capacidade de se secar com mais rapidez após a exposição a água;
- c) manutenção mais simples, pela presença de menos componentes móveis (ENOSHITA, 2022).

1.1.3 Reboque

Os veículos rebocáveis classificam-se basicamente em reboques e semirreboques. A diferença básica entre estes consiste no modo como se acoplam à unidade tratora (OLIVEIRA, 2016).

O reboque é um veículo que transporta cargas, composto por superfície de carga, uma estrutura de suporte metálica e rodas, conforme é possível ver na figura 4. Ele ganha funcionalidade quando acoplado a outros veículos que farão seu deslocamento.

Sua articulação depende de outros veículos automotores, por isso, ele deve estar acoplado a transportes preparados para a tarefa de carregar um peso extra. Ele pode ser enganchado a carros, caminhões e tratores. Ele também pode ser acoplado a um semirreboque para o exercício de atividades agrícolas e nas usinas de cana de açúcar (SUPERBID, 2022).

Figura 4 – Modelo de Reboque.



Fonte: Webmotors, (2022).

Mesmo com a falta de motorização, os reboques conseguem manter o equilíbrio sem o auxílio de outros veículos, pois possuem dois ou mais eixos. Existem alguns acessórios que podem ser adicionados a um reboque, entre eles, são mais comuns engates, estepe, faixas sinalizadoras reflexivas, para-lama, entre outros.

O reboque é um equipamento considerado muito versátil, servindo para realizar o transporte de vários tipos de cargas com diferentes veículos. Sendo assim, a variedade de funcionalidades é considerada a sua principal vantagem (CRESTANI, 2021).

1.1.4 Dispositivos de Frenagem Inercial

O dispositivo de inércia pode ser classificado como o aparelho de comando do sistema de frenagem de inércia, como é possível ver na figura 5. Ao frear o veículo trator é gerada uma força de reboque no ponto de engate (MEU TRAILER, 2022).

Figura 5 – Freio de Inércia Hidráulico de reboques.



Fonte: Universidade de Caxias do Sul (2022).

Quando acionada, a barra de tração movimenta-se em relação ao tubo externo, acionando a alavanca que movimentará os cabos de freio, ativando assim a alavanca de transmissão e acionando os freios de roda através da transmissão.

1.2 JUSTIFICATIVA

Assegurar um alto padrão de qualidade na entrega de equipamentos, dispositivos ou produtos é uma das principais tarefas na gestão de uma empresa e, para isso, é necessário investir na qualificação e homologação de seus produtos.

Homologação é um termo que se utiliza para identificar que um determinado produto passou por um processo de verificação em relação à segurança, eficácia, durabilidade, funcionamento e qualidade. Sendo assim, a empresa que executa a homologação de seu

produto ganha tranquilidade em suas operações.

No âmbito nacional, tem um crescimento de empresas que produzem freios inerciais e buscam fazer a homologação de seus produtos para certificar sua qualidade e garantir a segurança de seu processo.

Com o intuito de construir uma bancada de testes que possa fazer a certificação dos produtos, e por meio dessa realizar os ensaios presentes nas normas mencionadas no capítulo 1.3, tem-se a elaboração do presente trabalho.

A construção do dispositivo será desenvolvida em parceria com o LAMEC – Laboratório de Ensaio Mecânicos, da UCS, instalado no Bloco D do Campus Universitário de Caxias do Sul. O laboratório atende a empresas da região que buscam complementação de suas necessidades tecnológicas, fundamentado no tratamento de imparcialidade dos resultados e no status da "capacidade tecnológica".

Não existe uma portaria para homologação de freios para reboques, sendo assim a instituição tem como objetivo ser pioneira em pesquisa e inovação, e possibilitar o auxílio à empresas nos ensaios de desenvolvimento do produto para uma futura certificação para freios inerciais e possa homologar os produtos de empresas que estão interessadas no certificado.

1.3 OBJETIVO GERAL

Conceber uma bancada de testes para freios inerciais de reboques, que possa atender às normas NBR ISO 10966-8, NBR ISO 7643 e anexo 12 da Regulamentação 13 da Norma UN/ECE.

1.3.1 Objetivos Específicos

Para que o objetivo geral possa ser atingido, faz-se necessário o cumprimento de alguns objetivos específicos, tais como:

- elaborar o conceito da bancada de testes para freios inerciais;
- identificar e analisar a faixa de aplicação para atendimento de um cliente em específico;
- simular uma aplicação na bancada virtual de testes e avaliar adequação com a norma;

2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

O sistema de freio é um conjunto de elementos que fazem o veículo diminuir a sua velocidade, ou parar de deslocar-se, quando acionado pelo motorista. A palavra "freio" vem do latim: *Frenu*, razão pela qual, em mecânica é utilizado com frequência os termos "frenar" em lugar de frear e "frenagem" em lugar de freamento (SEDUC, 2016).

2.1 SISTEMAS DE FREIOS

De acordo com Limpert (2011), quando o pedal de freio é acionado, o torque gerado pelo sistema de freio é transmitido para o solo como força de frenagem através do contato do pneu com o solo. Para Puhn (1985), um sistema de freio é projetado para que a desaceleração máxima seja determinada pelo coeficiente de atrito dos pneus com o solo.

O sistema de freio pode ser classificado de acordo com o tipo de acionamento, podendo ser: sistema hidráulico, pneumático ou mecânico. Segundo Puhn (1985), o acionador tem finalidade de transmitir a força aplicada pelo condutor até os freios, gerando o atrito para desacelerar. Desta forma, os componentes de um sistema de freio variam de acordo com tipo de acionamento utilizado pelo veículo.

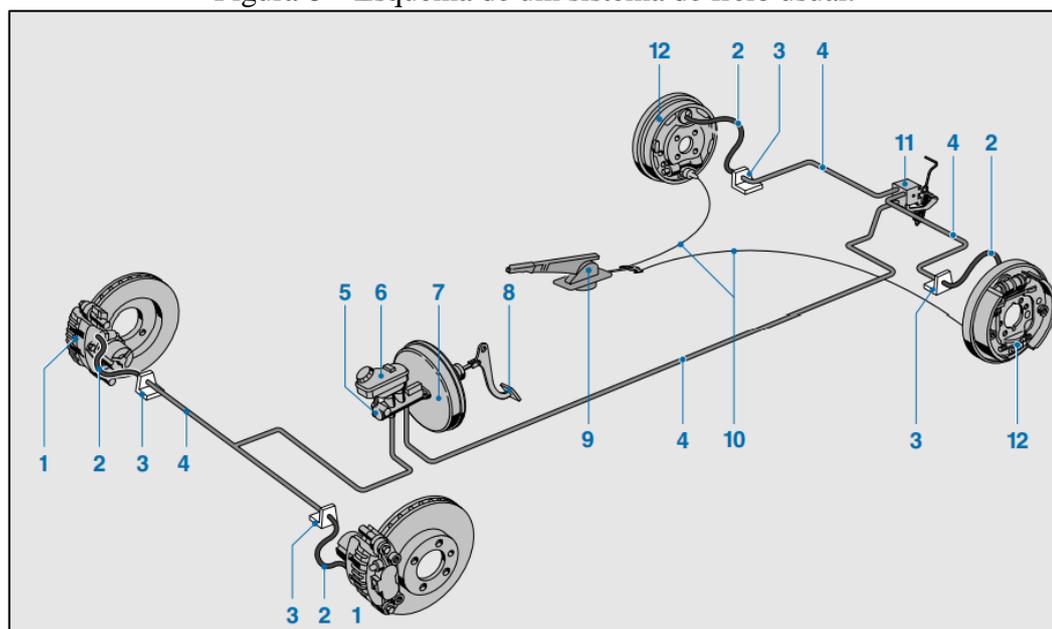
Em um sistema de freio, há dois grupos de elementos que trabalham conjugados, sendo o primeiro grupo formado por dispositivos mecânicos, que se articulam entre si, com a finalidade de causar atrito entre duas superfícies, para provocar a frenagem.

Essas superfícies que se atritam para causar a frenagem são constituídas por duas partes: uma parte não rotativa, que são as lonas de freio ou as pastilhas, e outra parte rotativa que é o tambor ou o disco (SEDUC, 2016).

O segundo grupo presente, forma um mecanismo com a finalidade de acionar os dispositivos que causam o atrito para a frenagem. Esses são dispositivos acionadores, como é possível citar, os pedais, hastes, êmbolos dos cilindros, líquidos para freio e ar.

Todos os componentes devem estar funcionando em perfeitas condições para operar os freios, de acordo com Reif (2014), numa aplicação veicular tal como ilustrado na Figura 6.

Figura 6 – Esquema de um sistema de freio usual.



Fonte: Adaptado Reif (2014).

A tabela 1 descreve os dispositivos numerados vistos na figura 6, do número um ao doze.

Tabela 1 – Equipamentos de um sistema de freio.

Número	Descrição
1	Freio a disco
2	Mangueira do freio
3	Conector para mangueira e cano do freio
4	Tubo do freio
5	Cilindro mestre
6	Reservatório do fluido de freio
7	Servo freio
8	Pedal
9	Freio de mão (Freio de estacionamento)
10	Cabo do freio de mão
11	Válvula reguladora de pressão
12	Freio a tambor

Fonte: Adaptado Reif, (2014).

O freio mecânico é utilizado para o freio de estacionamento e também pode ser usado como freio de emergência. Os outros dois tipos, hidráulico e pneumático, são chamados de

freios de serviço.

2.1.1 Freio Mecânico

O freio mecânico é um conjunto de peças que se articulam entre si, para movimentar as sapatas de freio, fazendo com que as lonas de freio dessas sapatas gerem atrito com o tambor de freio, causando a frenagem do veículo, como é possível ver nas Figuras 2 e 3.

Freios mecânicos são acionados por meio de conjunto de cabos ou alavancas. O sistema mecânico, é o sistema de menor eficiência, segundo Limpert (1999), pois aproximadamente 35% do esforço do operador é perdido devido a atritos internos. Este sistema é utilizado apenas nos veículos automotores para o freio de estacionamento, que é acionado por meio de alavanca.

O freio mecânico não utiliza nenhum tipo de fluido para transferir a força exercida pelo motorista sobre o pedal até os discos. Nesse tipo de freio, a força de acionamento é transferida mecanicamente, por meio de cabos e alavancas. Devido a esse processo mecânico, seu acionamento é mais pesado, tornando menos confortável para o condutor. O sistema de freio mecânico está sujeito a desajustes, sendo assim, esse sistema é pouco utilizado nos serviços dos freios de automóveis.

Porém, esse sistema ainda está presente no tradicional freio de mão, o qual é comumente acionado por uma alavanca posicionada atrás do câmbio e aplicado somente às rodas traseiras. Ao puxá-la, um cabo de aço conectado às sapatas é tensionado, pressionado as lonas contra o tambor e, portanto, fazendo a frenagem independentemente de qualquer sistema hidráulico (FRAS-LE, 2021).

Nos veículos, esse tipo de freio é utilizado para o freio de estacionamento, após o veículo ter parado, ou para o freio de emergência, em caso de faltar o freio de serviço.

2.1.2 Freio de Serviço

Segundo Ruesga (2011), é o mecanismo aplicado no uso normal do veículo. O pedal aciona este mecanismo de uma forma precisa e atua sobre todas as rodas do veículo; os sistemas de freios mais simples têm uma única linha de transmissão de ar, que vai da fonte de energia às rodas. Conseqüentemente, um defeito em qualquer parte do circuito irá comprometer seu desempenho total.

O freio de serviço em um automóvel é o sistema de frenagem primário. Este freio é normalmente operado a pé e é mecanicamente separado do freio de estacionamento ou do sistema de frenagem de emergência.

O freio de serviço típico usa uma polarização com a maior parte da força de frenagem aplicada aos freios dianteiros. Isso permite que o veículo permaneça no controle em aplicações de frenagem pesada. Em veículos com muita polarização do freio traseiro, o veículo deslizará fora de controle em condições de frenagem pesada. (SPIEGATO, 2022)

Em veículos comerciais, principalmente para o transporte de passageiros, a instalação mais adotada consiste em um circuito que controla o eixo dianteiro e outro circuito controlando o eixo traseiro. Em caso de falha em um dos circuitos, o outro ainda intacto mantém o veículo operando (RUESGA, 2011).

2.1.2.1 Freio Hidráulico

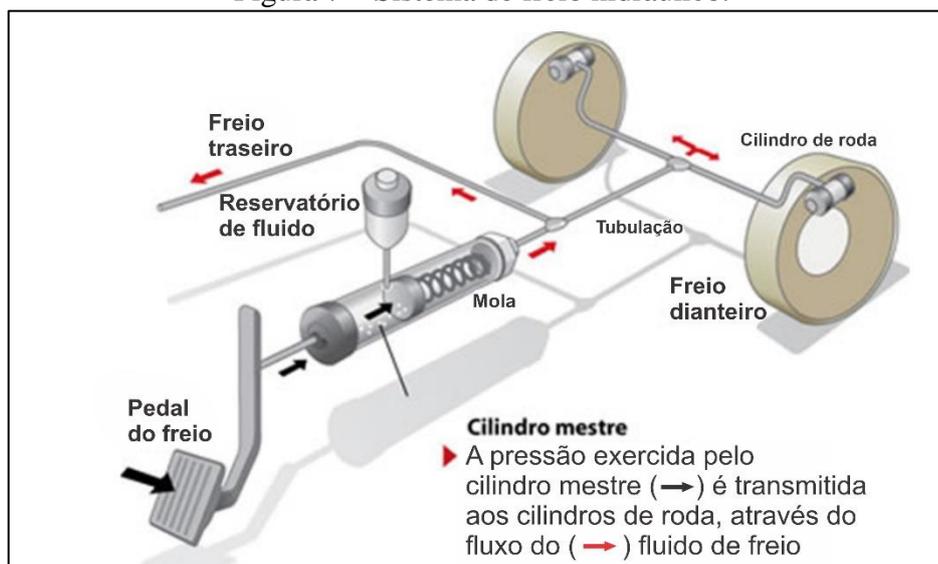
O sistema funciona através da conversão de pressão mecânica em hidráulica, utilizando-se de um circuito fechado de fluido de freio desde o cilindro mestre, ligando o pedal de frenagem, até os cilindros ou pinças hidráulicas ligadas às rodas, como é possível ver na Figura 7.

O funcionamento do freio hidráulico tem por base a aplicação da lei de pascal. “A pressão exercida sobre líquidos, em vasos selados, transmite-se por igual em todos os pontos”.

Para que a frenagem aconteça, o primeiro elemento acionado é o pedal, dispositivo pelo qual o condutor aplica a pressão inicial necessária ao funcionamento de todo o sistema, pressão essa a ser transmitida para o cilindro mestre. É no cilindro mestre, portanto, que a força mecânica da pressão no pedal, é transformada em pressão hidráulica. Essa transformação se dá através da ajuda de pistões que recebem a força mecânica para pressionar o fluido espalhado por todo o sistema (CARLIDER, 2017).

No freio hidráulico, então, não existem cabos conectando o pedal aos discos e sapatas. Graças às propriedades dos fluidos, a força exercida lá no pedal pode ser amplificada e transferida ao sistema de freio. Realizando assim, a frenagem de maneira muito mais confortável e eficiente (FRAS-LE, 2021).

Figura 7 – Sistema de freio hidráulico.



Fonte: CARLIDER, (2017).

Como visto, existem diferentes componentes trabalhando em conjunto para que o fluido seja pressurizado e exerça uma força maior. Isto é verdade, mesmo quando o motorista acionar o pedal de forma leve.

2.1.2.2 Freio Pneumático

Esse modelo de freio, faz uso de um sistema de ar comprimido como principal meio de operação para realizar o seu sistema de frenagem. Propiciando maior precisão no momento de executar a frenagem do giro do motor, o freio pneumático tem como resultado, uma maior segurança. (ATF AUTOMOÇÃO, 2018).

Em comparação com os outros modelos de freio, o freio pneumático viabiliza um trabalho de redução de velocidade mais suave. É de extrema importância para veículos pesados, como caminhões, por ser possível trabalhar com mercadorias frágeis, sem causar danos à sua estrutura, no caso da redução de velocidade durante o processamento.

No sistema, o freio sofre a ação de ar comprimido. Em seguida, há a possibilidade de diminuir ou parar totalmente a velocidade por meio das válvulas comandadas pelo pedal de freio. Desse modo, o único esforço físico do motorista para frear, é o correspondente a força necessária para acionar a válvula que permite a passagem do ar comprimido para as câmaras de frenagem que, então, acionam as sapatas, conforme Figura 8.

Tanto o eixo dianteiro quanto o traseiro têm dutos que levam aos freios. Se a pressão em algum desses dutos cair, não há perda total no desempenho do sistema de frenagem, pois

os demais podem compensar esse problema em situações de emergência.

Figura 8 - Freio pneumático.



Fonte: CAMINHÕES E CARRETAS, (2015).

2.1.3 Freios de Inércia

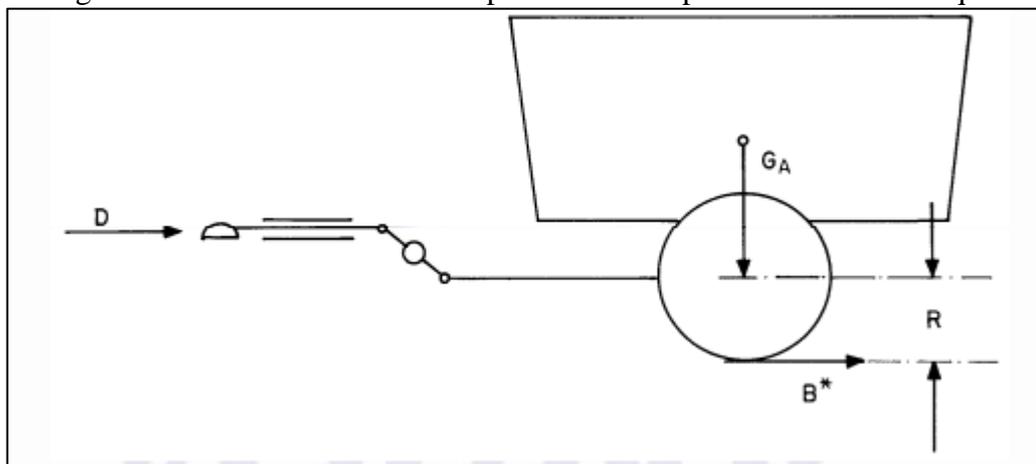
A inércia é a tendência natural de um objeto em resistir a alterações em seu estado original de repouso ou movimento. Sendo assim, um objeto parado sempre tende a permanecer parado, e um corpo em movimento tende a manter o movimento. Essa tendência natural que cada corpo tem de manter seu estado inicial só pode ser alterada pela aplicação de uma força externa (JÚNIOR, 2022).

Esse é o princípio do sistema de freio inercial que está contido nos reboques ou veículos rebocados. O engate do reboque contém um cilindro mestre hidráulico. As linhas de freio do cilindro mestre são encaminhadas para os conjuntos de freio em cada roda do reboque. Quando o veículo do reboque diminui sua velocidade ou para, a inércia do reboque, que tem sua tendência a continuar avançando, empurra a caixa para a frente, sendo assim, empurrando a haste para dentro do cilindro mestre. Esta haste empurra o fluido hidráulico para cada uma das rodas do reboque ocasionando no processo de frenagem.

A Figura 9, representa o esboço de um sistema inercial válido para todos os tipos de freios de reboque, onde D representa a força aplicada no engate do acoplamento, G_A é força

peso total do reboque, R é o raio dos pneus, com carga, e B^* é a força de frenagem requerida.

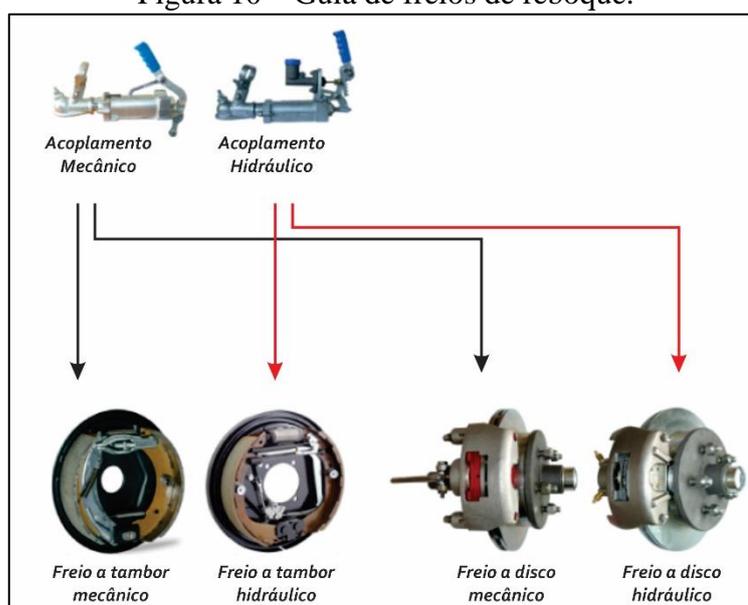
Figura 9 - Sistema inercial válido para todos os tipos de freios de reboque.



Fonte: NORMA NBR ISO 10966-8 (2019).

Existem três tipos de métodos de frenagem – mecânico, hidráulico e elétrico. Os freios mecânicos e hidráulicos podem ser freios a disco ou a tambor como pode ser visto na Figura 10. Os sistemas de como os freios engatam ou são acionados podem ser mecânicos, hidráulicos, operados eletricamente ou uma combinação de ar e hidráulica ou eletricidade e hidráulica, dependendo do método de frenagem necessário (TRAILERSOURCE, 2022).

Figura 10 – Guia de freios de reboque.



Fonte: Adaptado Trailer Sauce (2022).

Os sistemas de freios mecânicos usados com acoplamentos amortecedores de mola tendem a ser severos em sua capacidade de frenagem. A conexão entre o acoplamento e o

freio é por cabo ou haste/cabo e ambos precisam de ajuste cuidadoso e atenção regular para garantir que qualquer desgaste nas pastilhas de freio da pinça, estiramento no cabo ou danos na configuração da haste/cabo sejam corrigidos (TRAILERSAUCE, 2022).

Em sistemas de freios hidráulicos, o cilindro mestre ligado ao acoplamento amortecido por mola suaviza o impacto do movimento do acoplamento e proporciona um controle de frenagem ligeiramente mais proporcional, tendo assim uma melhoria na eficiência do freio e no controle da frenagem.

Quando o veículo de reboque acelera, o oposto acontece e os freios do reboque são liberados. A quantidade de energia de aceleração necessária depende da quantidade de inércia que deve ser superada.

É estabelecida uma certa quantidade de carga máxima para cada tipo de sistema de freios que será utilizado no reboque, com valores que ficam entre 0 t a 2 t, 2 t a 2,5 t, 2,5 t a 3,5 t e 3,5 t a 10 t.

Não há exigência legal para freios de reboque com carga de 0 a 2 t. Se os freios estiverem instalados, eles devem ser funcionais. A combinação veículo/reboque deve ser capaz de parar dentro de 7 m a partir de 30 km/h sem danificar a estrutura do veículo ou reboque. A capacidade do veículo usado para puxar um reboque deve ser considerada quando decisões sobre a instalação de freios em um trailer estão sendo tomadas. (TRAILPARTS, 2022)

Para reboques com carga de 2 t a 2,5 t, os eixos devem estar equipados com pelo menos um sistema de freio. Os freios instalados podem ser do tipo indireto ou direto.

Os freios de serviço indiretos são aqueles que operam sem a intervenção direta do motorista do veículo de reboque. Eles são geralmente sistemas ativados por inércia e este é o sistema mais comumente usado abaixo de 2500 kg (TRAILPARTS, 2022).

Entre suas principais vantagens tem a baixa manutenção, barato e confiável e facilidade de rebocar por vários veículos. A pior desvantagem é a não operação em sentido inverso.

Para reboques com carga acima de 2,5 t, devem ser equipados com freios de serviço diretos, controlados pela cabine, um sistema de freio de separação e um freio de estacionamento em pelo menos um eixo. Isso geralmente significa que 2 eixos precisarão ser freados. Controladores baseados em inércia não são permitidos nestes reboques.

Os freios de serviço diretos são aqueles que operam como resultado direto da ação de frenagem do motorista do veículo de reboque. Eles são ajustáveis em carga e incorporam uma função de cancelamento de emergência que opera os freios do reboque independentemente do

veículo de reboque a partir do banco do condutor (TRAILPARTS, 2022).

2.2 NORMAS TÉCNICAS UTILIZADAS PARA FREIOS INERCIAIS

Para o desenvolvimento do trabalho e uso de freios inerciais para reboques, devem ser atendidos os requisitos presentes nas normas NBR ISO 10966-8, NBR ISO 7643 e anexo 12 da Regulamentação 13 da Norma UN/ECE. As referidas normas especificam os métodos de ensaio para aprovação dos controles de freios, dos reboques que são equipados com freios de inércia. Para todas as variáveis e cálculos que necessitam ser feitos para a obtenção de resultados, as unidades devem estar no *SI*.

2.2.1 Norma NBR ISO 7643

A norma NBR ISO 7643, denominada como, Veículos rodoviários – Reboques de moradia (trailers) e reboques leves – Reboques de categoria O_1 e O_2 com freios de inércia – Método de ensaio linear dos controles de freios, apresenta simbologia e definições, condições de ensaio e descrição de ensaio, para uma correta aplicação dos métodos e aprovação do dispositivo.

O método de ensaio se aplica para aprovação dos tipos das categorias de reboques O_1 e O_2 , reboques O_1 são reboques de eixos simples, de massa máxima que não excedam 0,75 t, e O_2 são reboques de massa máxima que não excedam 3,5 t, ou outros reboques da categoria O_1 .

Ambas as categorias de reboque devem estar equipados com freios de inércia para ensaiar os dispositivos de controle em bancada de testes linear.

Ao utilizar a norma NBR ISO 7643, recomenda-se fazer referência à ECE Regulation *n° 13 da United Nations, Uniform provisions concerning the approval of vehicles with regard to braking*, como assistência.

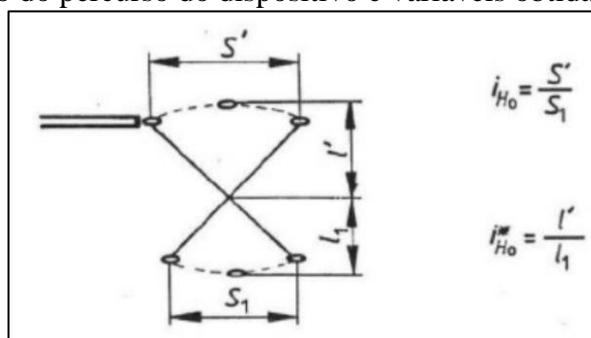
As variáveis apresentadas na simbologia estão definidas com o conceito que elas representam, onde é possível citar como exemplo:

- G'_{A-} – peso total do reboque capaz de ser freado pelo dispositivo de controle;
- G'_{A1} – peso total mínimo capaz de ser freado;
- G'_{A2} – peso total máximo capaz de ser freado;
- S – curso do dispositivo de controle, em milímetros;

- S' – curso efetivo do dispositivo de controle, em milímetros;
- S_0 – perda de curso, aplicada somente em reboques com mais de um eixo;
- S'' – curso extra do cilindro mestre, dimensionado em milímetros no dispositivo de acoplamento.

Entretanto, algumas devem ser fornecidas pelo fabricante do dispositivo, enquanto outras devem ser calculadas com fórmulas presentes na norma, conforme Figura 11, onde são mostradas as variáveis e um esboço do percurso do dispositivo e fórmulas para o cálculo de outras variáveis;

Figura 11 – Esboço do percurso do dispositivo e variáveis obtidas através de cálculo.



Fonte: NBR ISO 7643, (2003)

Onde tem-se:

- l – medida do curso do nível do lado do movimento do dispositivo de controle com o curso médio do dispositivo de controle;
- l' - medida do curso do nível do lado do movimento do dispositivo de controle com o curso efetivo médio do dispositivo de controle;
- i_{ho} – Relação de redução entre o curso do dispositivo de acoplamento e o curso no nível do lado de movimento do dispositivo de controle;
- i''_{ho} – Relação de redução entre o curso do dispositivo, medido na posição de curso médio do controle com o nível na vertical;

No que se refere a bancada de ensaio, a mesma deve ter condições para fixação do dispositivo de controle a ser ensaiado na horizontal e permitir o dimensionamento de forças a serem desenvolvidas sob oscilações

A bancada deve possibilitar a execução dos seguintes procedimentos de ensaio:

- a força de entrada no dispositivo de acoplamento;
- ou pressão hidráulica p ;
- o curso de controle do cilindro mestre;

- a velocidade do curso de controle;

Alguns parâmetros devem ser dimensionados para a aplicação dos ensaios, como é possível ver na tabela 2.

Tabela 2 – Parâmetros a serem dimensionados.

Parâmetro	Descrição	Unidade
K_A	Mínimo limite de força	N
D_1	Força de inserção	N
D_2	Força reativa	N
η_{HO}	Eficiência dos dispositivos de controle de inércia	-
K	Força suplementar	N

Fonte: Adaptado Norma NBR ISO 7643, (2003).

Segundo a norma, o dispositivo de controle deve ser montado horizontalmente na bancada de ensaio e fixado em concordância com requisitos do fabricante. Nenhuma carga vertical ou lateral sobre o dispositivo de acoplamento é permitida durante o ensaio.

2.2.2 Anexo 12 da Norma UN/ECE

Segundo o anexo 12 da norma UN/ECE, *Conditions Governing the testing of vehicles equipped with inertia (overrun) braking systems*, onde, em tradução livre, tem-se: condições de ensaio de veículos equipados com sistemas de freios de inércia, é compreendido o dispositivo de controle, a transmissão, e os freios.

Sistemas de frenagem, nos quais a energia acumulada, como, por exemplo, energia elétrica, pneumática ou hidráulica, é transmitida para o reboque através do veículo trator e é controlado apenas pelo impulso no engate, não constituem sistemas de freios inerciais, segundo o regulamento 13 (UN/ECE, 2016).

Assim como a NBR ISO 7643, o anexo 12 da norma UN/ECE apresenta determinação dos componentes essenciais do freio para os testes, simbologia e definições, requisitos para o dispositivo de controle, testes e medições a realizar nos dispositivos de controle e relatório de testes, para uma correta aplicação dos métodos e aprovação do dispositivo.

Grande parte das variáveis e simbologia apresentadas no anexo 12 da norma UN/ECE são as mesmas apresentadas na norma NBR ISO 7643, já citadas acima, porém, o

anexo 12 compreende outras variáveis e introduz uma definição para as mesmas.

Como requisitos gerais que o anexo 12 estabelece, tem-se que a transmissão da força do cabeçote para o sistema de freio do reboque deve ser efetuada por um ou mais fluidos, e que os cabos por onde os fluidos passam não devem entrar em contato com a estrutura do reboque ou outras superfícies que possam afetar a aplicação ou liberação do freio.

O dispositivo de frenagem por inércia deve estar disposto de modo que, no caso em que a cabeça do acoplamento de engate se desloque ao máximo, nenhuma parte da transmissão emperre, sofra distorção ou quebre. Além disso, o sistema deve permitir que o reboque dê marcha-ré com o veículo trator, sem impor uma força de arrasto sustentada superior a $0,08g \cdot G'_A$.

Segundo o anexo 12, os sistemas de frenagem por inércia podem incorporar protetores de sobrecarga. Eles não devem ser ativados com uma força menor que $D_{op} = 1,2D$, a uma força menor que $P_{op} = 1,2P$, ou a uma pressão menor que $p_{op} = 1,2p$, onde a força P ou a pressão p corresponde a uma força de frenagem de $B = 0,5 \cdot g \cdot G_{Bo}$.

Como requisitos para o dispositivo de controle, é estabelecido que os membros deslizantes do dispositivo de controle devem ser longos o suficiente para permitir que o curso completo seja usado, mesmo quando o reboque estiver acoplado. Os mesmos devem ser protegidos e serão ou lubrificados ou construídos com materiais autolubrificantes.

O limite de tensão (K_A) do dispositivo de controle não deve ser inferior a $0,02 g \cdot G'_A$ e não superior a $0,04 g \cdot G'_A$ e a força de tração máxima D_2 não deve ser inferior a $0,1 g \cdot G'_A$ e não superior a $0,5 g \cdot G'_A$.

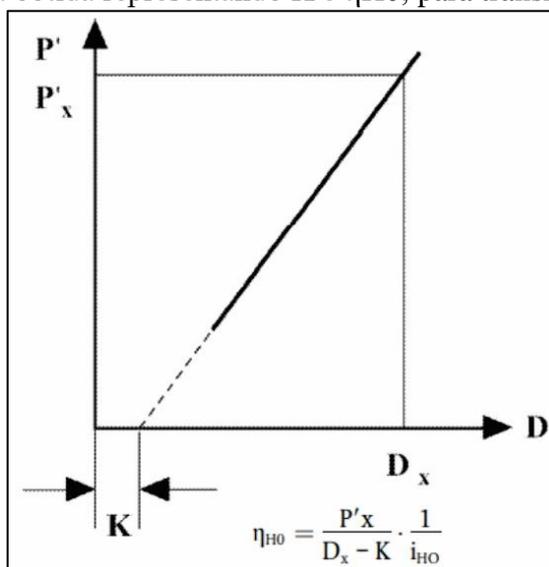
Conforme a norma, tem de ser realizados testes e medições nos dispositivos de controle, e os mesmos, submetidos ao serviço técnico que realiza os ensaios, devem ser verificados quanto à conformidade com os requisitos gerais e requisitos para o dispositivo de controle.

Os seguintes parâmetros devem ser medidos em relação a todos os tipos de freios: s' , K , K_A , D_1 , D_2 , sendo os mesmos parâmetros e descrições vistos na tabela 1, da norma NBR ISO 7643.

Para sistemas de freios inerciais com transmissão mecânica, devem ser mensuradas as variáveis i_{HO} , sendo a razão de redução, medida na posição intermediária do controle, a força de saída do dispositivo de controle P' em função do impulso D na barra de tração.

A força suplementar K e a eficiência são derivadas da curva representativa e da fórmula vista na Figura 12, obtida através destas medidas.

Figura 12 - Curva obtida representando K e η_{H0} , para transmissões mecânicas.

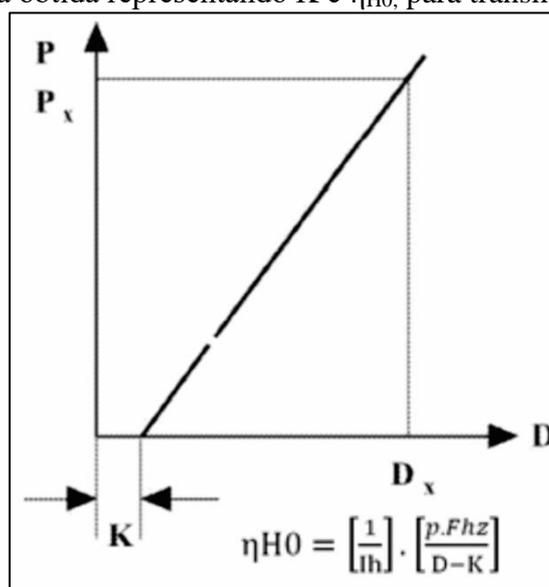


Fonte: Adaptado, UN/ECE (2016).

Para sistemas de freios inerciais com transmissão hidráulica, deve ser mensuradas as variáveis i_H , sendo a razão de redução, medida na posição intermediária do controle, a pressão de saída do cilindro mestre p em função do impulso D nas barras de tração e da superfície F_{Hz} do pistão do cilindro mestre, conforme especificado pelo fabricante.

A força suplementar K e a eficiência são derivadas da curva representativa e da fórmula vista na Figura 13, obtida através destas medidas.

Figura 13 - Curva obtida representando K e η_{H0} , para transmissões hidráulicas.



Fonte: Adaptado, UN/ECE (2016).

Outras variáveis a serem mensuradas são F_{Hz} , sendo a área de superfície do pistão no cilindro mestre, s_{Hz} , curso do cilindro mestre, e s''_{Hz} , curso sobressalente do cilindro mestre,

essas duas últimas, sendo equivalentes à S e S', variáveis da norma NBR 7643.

Como requisitos para os freios, é estabelecido pela norma que o fabricante deve fornecer ao serviço técnico que irá realizar os testes, desenhos dos freios mostrando o tipo, dimensões e material dos componentes.

Para a realização dos testes e medições a serem executadas nos freios, é dever do operador ou serviço técnico responsável determinar algumas variáveis por cálculos, utilizando os parâmetros fornecidos pelo fabricante.

Os pedidos de homologação de reboques equipados com sistemas de freios por inércia devem ser acompanhados dos relatórios de ensaio relativos ao dispositivo de comando e aos freios, e um relatório de ensaio sobre a compatibilidade da inércia do dispositivo de controle com o dispositivo de transmissão e os freios do reboque (UN/ECE, 2016).

Segundo a norma, deve ser feita uma checagem no veículo para verificar as características do dispositivo de controle, as características dos freios e as características do reboque.

Para fazer a verificação da eficiência da frenagem, é válido que a soma das forças de frenagem exercidas na circunferência das rodas do reboque não deve ser inferior a $B^* = 0,50g.G_A$, incluindo uma resistência ao rolamento de $0,01g.G_A$. Isto corresponde a uma força de frenagem B de $0,49g.G_A$. Neste caso, o impulso máximo permitido no acoplamento deve ser:

- $D^* = 0,067g.G_A$ no caso de reboques de vários eixos com barra de tração articulada;
- $D^* = 0,10g.G_A$ no caso de reboques com barra de tração rígida.

Para verificar se estas condições são cumpridas, devem ser aplicadas as seguintes fórmulas para desigualdades:

$$\left[\frac{B \cdot R}{n} + n \cdot p_0 \right] \frac{1}{(D^* - K) \cdot \eta H} \leq iH \quad (01)$$

$$\left[\frac{B \cdot R}{n \cdot \rho'} + p_0 \right] \frac{1}{(D^* - K) \cdot \eta H} \leq \frac{Ih}{FHZ} \quad (02)$$

Nos sistemas de transmissão mecânica, deve ser feito um controle para verificar se a articulação da haste pela qual as forças do dispositivo de controle são transmitidas para os freios, está instalada corretamente. Já nos sistemas de transmissão hidráulica, deve ser feita uma verificação para identificar se o curso do cilindro mestre não é inferior a s/i_h . Um nível

inferior não será permitido.

Segundo a norma, estes são os requisitos para se aplicar os ensaios nas modalidades de sistemas de frenagem por inércia de transmissão mecânica ou hidráulica onde, todas as rodas do reboque estão equipadas com o mesmo tipo de freio e o mesmo tipo de pneu.

2.2.3 Norma NBR ISO 10966-8

A norma NBR ISO 10966-8, denominada como - Veículos rodoviários automotores – Sistemas de freios – Parte 8 – Ensaio com veículos equipados com freios de inércia - estabelece os requisitos de desempenho do sistema de freio de veículos rebocados equipados com freios de inércia. Esta norma se aplica a reboques que possam ser acoplados a veículos automotores cuja velocidade máxima exceda 25 km/h.

São compreendidos nesta norma o dispositivo de frenagem de inércia de um reboque, o dispositivo de comando, a transmissão, elementos de freio, a alavanca de atuação do came de freio e o cilindro do freio.

Em sistemas que a energia é transmitida ao reboque pelo veículo de tração e só é controlada pelo esforço sobre a ligação do acoplamento, não constitui dispositivos de frenagem por inércia dentro do significado desta norma (NBR ISO 10966-8, 2019).

Como requisitos gerais, é apresentado pela norma que a transmissão na força da cabeça de acoplamento para os freios do reboque deve ser realizada por mecanismo articulado ou por um ou mais fluidos.

Os dispositivos de frenagem por inércia devem estar dispostos de modo que, mesmo quando o máximo curso da cabeça de acoplamento é usado, nenhuma parte da transmissão emperre, sofra distorção permanente ou quebre (NBR ISO 10966-8, 2019).

Assim como é dito na norma UN/ECE, o dispositivo de frenagem por inércia deve permitir a inversão do movimento do reboque com o veículo-trator sem impor uma força de arraste que exceda $0,08 g \cdot G_A$ da força correspondente à massa máxima indicada do reboque.

Os dispositivos de frenagem por inércia podem incluir protetores contra sobrecargas. Os parâmetros para os mesmos não ativarem por aplicações de forças externas, são os mesmos mencionados na norma UN/ECE anteriormente.

A norma diz que, para sistemas de freios inerciais com transmissão mecânica, devem ser mensuradas as variáveis i_{HO} , sendo a razão de redução, medida na posição intermediária do controle, a força de saída do dispositivo de controle P' em função do impulso D na barra de tração.

A força suplementar K e a eficiência são derivadas da curva representativa e da fórmula vista na figura 12, obtida através destas medidas.

Para sistemas de freios inerciais com transmissão hidráulica, devem ser mensuradas as variáveis i_H , sendo a razão de redução entre o curso da alavanca no lado da saída do acoplamento e o curso da alavanca de freio, a pressão de saída do cilindro mestre p em função do impulso D nas barras de tração e da superfície F_{HZ} do pistão do cilindro mestre, conforme especificado pelo fabricante.

A força suplementar K e a eficiência são derivadas da curva representativa e da fórmula vista na figura 13, obtida através destas medidas.

Além dos freios serem ensaiados, a norma estabelece que o fabricante deve disponibilizar ao serviço técnico encarregado dos ensaios os desenhos dos freios que indicam tipo, dimensões e material dos componentes essenciais a serem verificados.

Segundo a norma NBR ISO 10966-8, para as condições de ensaio usando um protetor contra sobrecargas que não estiver montado nem seja prevista sua montagem no dispositivo de frenagem por inércia, o freio deve ser ensaiado com as seguintes forças ou pressões: $PT = 1,8.P^*$ ou $pT = 1,8.p^*$ e $MT = 1,8.M^*$.

Quando um protetor contra sobrecargas estiver montado ou seja prevista sua montagem no dispositivo de frenagem por inércia, o freio deve ser ensaiado com as forças ou pressões apresentadas a seguir.

Os limites de força mínima de ensaio $PTop$ ou pressão mínima de ensaio $pTop$ e do mínimo momento de frenagem $MTop$ são: $PTop = (1,1 \text{ a } 1,2).P^*$ ou $pTop = (1,1 \text{ a } 1,2).p^*$ e $MTop = (1,1 \text{ a } 1,2).M^*$.

Os valores máximos (Pop-máx. ou pop-máx.) para o protetor contra sobrecarga devem ser indicados pelo fabricante e não podem ser superiores a, respectivamente, PT ou pT .

O serviço técnico, através da realização dos ensaios e medições, deverá determinar os itens mostrados na tabela 3.

Tabela 3 - Variáveis determinadas através dos ensaios efetuados (continua).

Variáveis	Descrição	Transmissão Mecânica	Transmissão Hidráulica
2_{SB}	curso mínimo da sapata	X	X
$2_{SB'}$	curso da sapata (central)	X	X
i_g	a relação de transmissão	X	-
P^*	a força do momento de frenagem M^*	X	-
p_0 e ρ característicos	força pré-operativa quando o reboque avança	X	-

Tabela 3 - Variáveis determinadas através dos ensaios efetuados (conclusão).

p_{0r} e ρ_r característicos	força pré-operativa quando o reboque faz marcha-ré	X	-
M_r	momento de frenagem até o curso máximo admissível quando o reboque faz marcha a ré	X	-
S_r	curso máximo admissível na alavanca de comando do freio quando o reboque avança	X	-
i_g'	relação de transmissão	-	X
p^*	a pressão do momento de frenagem M^*	-	X
p_0 e ρ' característicos	força pré-operativa quando o reboque avança	-	X
p_{0r} e ρ'_r característicos	força pré-operativa quando o reboque faz marcha-ré-	-	X
M_r	momento de frenagem até o volume máximo admissível de fluido V_r quando o reboque faz marcha a ré	-	X
V_r	volume máximo absorvido pôr um freio travado quando o reboque avança	-	X
F_{RZ}	área do cilindro hidráulico	-	X

Fonte: Adaptado NBR ISO 10966-8 (2019).

Após a realização dos ensaios, a norma estabelece que as aprovações de reboques equipados com freios de inércia devem ser acompanhadas pelos relatórios de ensaios do dispositivo de controle e dos freios, assim como o relatório de ensaio referente à compatibilidade do dispositivo de controle, da transmissão e dos freios do reboque.

Deve-se fazer a verificação da compatibilidade do veículo com o freio inercial quanto a características dos dispositivos de controle, características dos freios e as características de reboque, se os termos satisfazem os requisitos descritos.

Para freios de inércia de transmissão mecânica, um ensaio deve ser feito para verificar se está corretamente montado o mecanismo articulado, pelo qual as forças são transmitidas do dispositivo de controle aos freios.

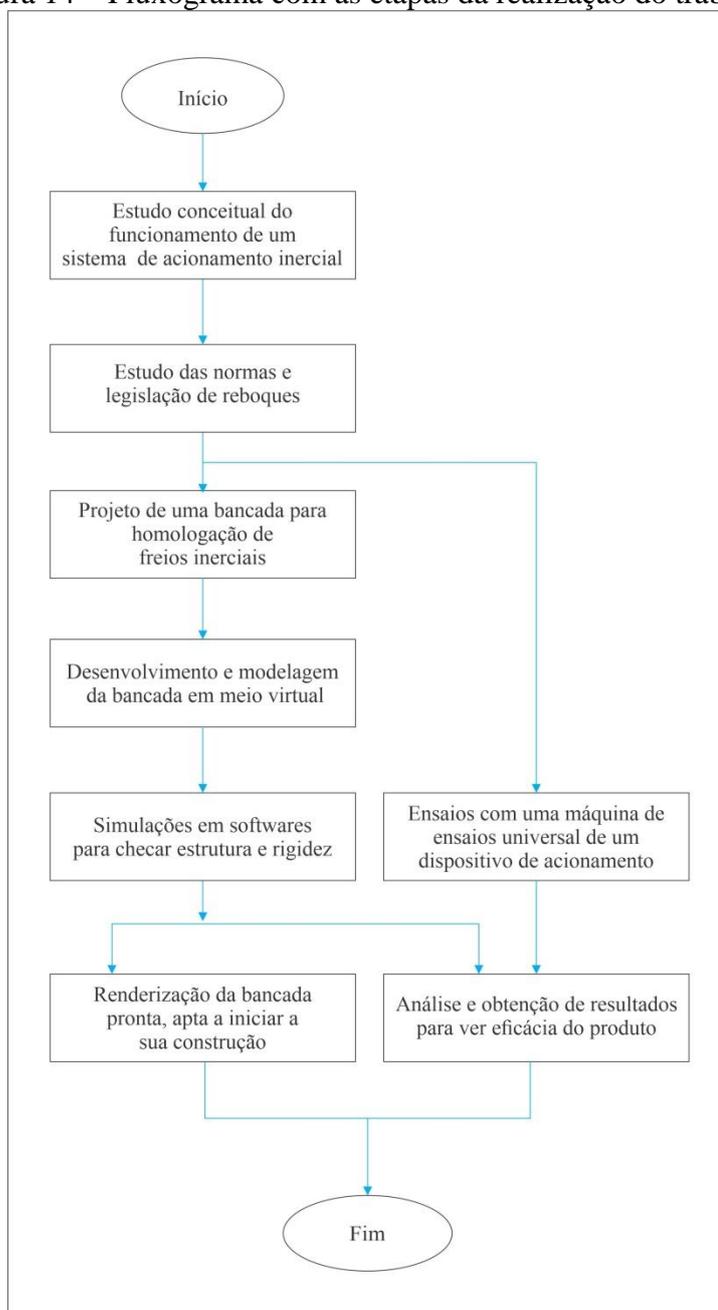
Em freios de inércia de transmissão hidráulica, um ensaio deve ser feito para verificar se o curso do cilindro-mestre não é menor que s/i_h . A norma não permite um valor inferior.

3 MATERIAIS E MÉTODOS

Este capítulo tem como objetivo apresentar os materiais e métodos utilizados para o projeto e desenvolvimento de uma bancada de ensaios para freios inerciais de reboques, assim como as etapas para cumprimento dos objetivos propostos.

A Figura 14 apresenta o fluxograma com a sequência de procedimentos para a realização deste trabalho.

Figura 14 – Fluxograma com as etapas da realização do trabalho.



Fonte: O autor (2022).

3.1 DESCRIÇÃO DAS ETAPAS

A sequência de etapas da realização do trabalho apresentadas no fluxograma está descrita a seguir:

- a) A primeira etapa demonstra a busca de informações sobre reboques e faz um estudo a respeito das normas técnicas que compreendem os dispositivos de acionamento por inércia.
- b) Após entendimento das normas e concluída a busca de informações sobre reboques, foi iniciado o estudo conceitual dos dispositivos de acionamento por inércia e tudo que compreende um sistema de freios para reboques.
- c) Através dos estudos a respeito dos itens a e b, iniciou-se o projeto da bancada para testes de freios inerciais, onde foi feito um modelamento buscando uma estrutura que se assemelhe com um reboque para o acoplamento do dispositivo de acionamento. Nessa etapa, a bancada deve estar apta para atender aos itens das normas presentes e faça a devida homologação dos freios.
- d) Com o projeto e modelamento da bancada concluído, iniciou-se o desenvolvimento de simulações sobre o modelo, testando a estrutura da bancada e o processo de ensaio.
- e) Caso a bancada não atenda aos requisitos de rigidez e carga necessária na simulação, e com isso não podendo fazer o correto ensaio do dispositivo, então é realizada a volta para o item c e feito um novo projeto com base no antigo, buscando atender aos requisitos que não estão aptos. No caso de a bancada estar apta nas simulações para fazer os ensaios, se dá o início de uma nova etapa.
- f) Ao mesmo tempo do modelamento do dispositivo, foi realizado um experimento em um dispositivo, disponibilizado pelo cliente, utilizando uma máquina de ensaios universal, para a geração e obtenção de resultados.
- g) Com o modelo da bancada finalizado, atendendo à correta realização dos ensaios presentes nas normas, conforme simulações, o projeto está aprovado e pronto para ser construído, para futura homologação de produtos de clientes e, com isso, o presente trabalho está concluído.

3.2 OBJETOS DE ESTUDO

O assunto tratado neste trabalho é o projeto e futura construção de uma bancada que possa realizar com eficiência ensaios específicos em freios inerciais de reboques. Para estar apta, a bancada tem que atender às normas NBR-7643, NBR ISO 10966-8 e anexo 12 da Norma UN/ECE.

Os ensaios devem ser realizados em todo o sistema do freio, sendo eles o dispositivo de acionamento, onde contém o cilindro mestre, o recipiente do fluido, e o pistão, que fará o efeito de inércia. Logo após, tem-se a transmissão, podendo ser mecânica ou hidráulica, por onde o fluido irá percorrer até os freios. E, por último, contém os freios, os quais podem ser a tambor ou a disco.

3.2.1 Reboque de Ensaio

Para a realização dos ensaios, uma empresa parceira, com interesse futuro na homologação dos freios, forneceu uma estrutura de um reboque de pequeno porte, com capacidade de carga de até 2 t, como é possível ver na figura 15.

Figura 15 – Reboque fornecido para realização dos ensaios.



Fonte: O autor (2022).

O reboque já contém um dispositivo de acionamento inercial, e uma transmissão hidráulica, que faz as ligações necessárias até os freios, que são a discos. Isso é possível observar na figura 16.

Figura 16 – Acionador inercial, transmissão hidráulica e freios a disco.



Fonte: O autor (2022).

A partir dessas especificações, os ensaios foram realizados atendendo o produto fornecido, seguindo os parâmetros de acordo com a Norma NBR ISO-10966-8. Os resultados foram analisados com base nas variáveis fornecidas pela parte interessada.

3.2.2 Bancada de Ensaio

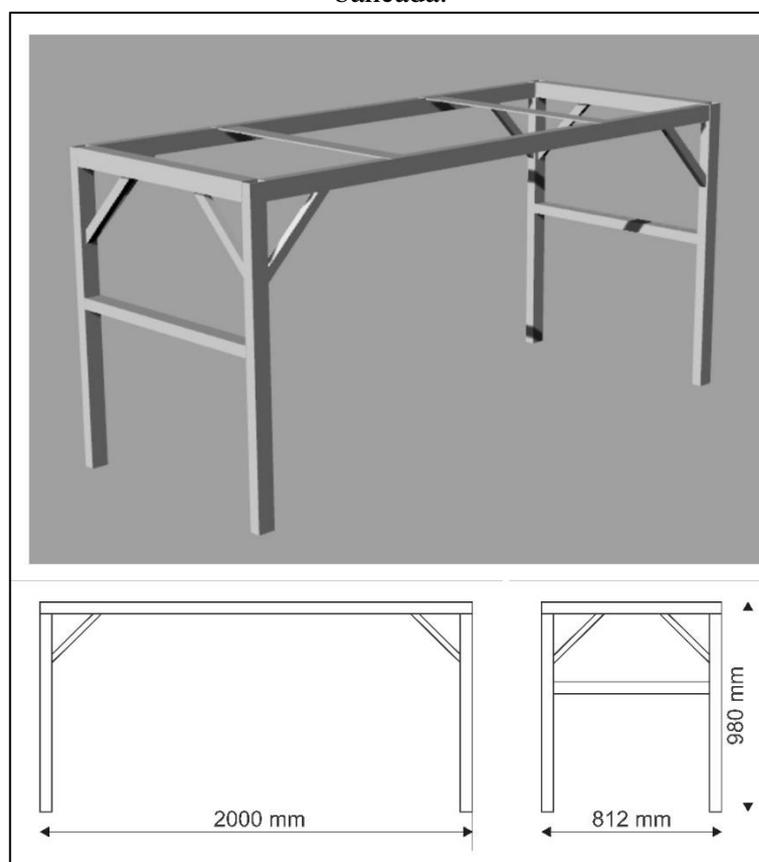
A bancada de ensaios deve atender às especificações da norma NBR ISO 7643, e estar apta a realizar os ensaios de acordo com a norma NBR ISO 10966-8.

O processo tem como objetivo medir a eficiência do dispositivo de acionamento, a eficiência da transmissão e frenagem dos freios utilizados. O processo é curto e é encerrado no momento em que se dá a frenagem completa das rodas.

Através do tempo e da pressão obtidos na entrada e saída do sistema, respectivamente, junto com as variáveis concedidas pelo fornecedor e as que foram medidas pelo técnico responsável, é calculada a eficiência de acordo com a transmissão e freios utilizados, gerando assim gráficos para análise da aprovação ou reprovação do sistema.

O dimensionamento da bancada foi realizado, baseado em bancadas presentes no laboratório da Universidade de Caxias do Sul, para que um reboque possa ser encaixado na parte superior da mesma e para que uma pessoa adulta consiga fazer ajustes no sistema, caso necessário, conforme é possível ver em um primeiro esboço das dimensões na Figura 17.

Figura 17 – Vista Isométrica e dimensionamento de um esboço da estrutura principal da bancada.



Fonte: O autor (2022).

A bancada teve sua construção iniciada conforme dimensões vistas na figura 17, porém, o tempo para construção do protótipo, e ajustes necessários para realizar os ensaios não foi suficiente para atender ao prazo.

Tendo esse ponto em vista, a bancada foi projetada e modelada apenas em meio virtual, com ajuda de softwares de modelagem, simulação e renderização. Ela vai contar com itens para encaixe de reboque, um cilindro principal para simular a pressão aplicada no dispositivo acionador, sistema hidráulico, sendo aqui uma unidade hidráulica, e mangueiras, e um painel com sistema elétrico contendo botões acionadores, para início do processo e controle da pressão aplicada.

3.2.3 Circuito Elétrico

Um circuito hidráulico, ou esquema hidráulico, mostra a tubulação e componentes de um fluxo físico de processos. É fundamental para a manutenção e modificação do processo nele representado.

O cilindro, componente do sistema hidráulico, pode ser visto nas Figuras 18, e a unidade hidráulica sendo apresentada na sequência.

Figura 18 – Cilindro que será utilizado na construção da bancada.



Fonte: LAMEC (2022).

O cilindro hidráulico é um atuador mecânico, ou seja, um equipamento que produz movimento, colaborando para o funcionamento adequado de uma máquina. O cilindro presente na figura 18 é de dupla ação, ou seja, aquele cuja pressão do fluido é aplicada ao elemento móvel em qualquer direção. Dessa forma, a energia hidráulica que foi transformada em força é empregada tanto no avanço quanto na retração.

Irá, junto com o cilindro apresentado na figura 18, um disco de aço, que será o responsável pela aplicação da carga diretamente no acionador do freio inercial, assim sendo possível ver suas dimensões na Figura 19.

Figura 19 – Dimensões do disco que será roscado no cilindro.



Fonte: O autor (2022).

Junto com o cilindro, irá ser implementada uma célula de carga, para o operador que estiver realizando o ensaio estar ciente da força aplicada no dispositivo de acionamento, com as seguintes especificações:

- faixas de medição de 0-500 kN;
- Grau de proteção IP65;

É possível ver a célula de carga que será instalada no cilindro na Figura 20.

Figura 20 – Célula de carga.

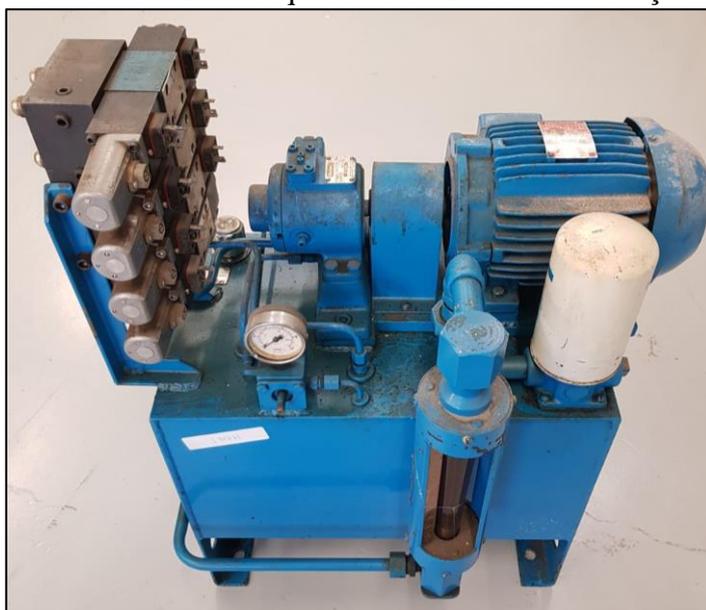


Fonte: LAMEC (2022).

Uma célula de carga é um sensor eletromecânico usado para medir força ou peso. Elas são dispositivos versáteis que proporcionam desempenho preciso e robusto em uma grande variedade de aplicações. (FLINTEC, 2022).

A unidade hidráulica será responsável para a gerar, controlar e transmitir energia por meio de um fluido pressurizados, o que proporciona algumas características como alta pressão, controle de velocidade e do sentido do deslocamento e força. A Unidade hidráulica que será utilizada na construção da bancada pode ser vista na Figura 21.

Figura 21 – Unidade hidráulica que será utilizado na construção da bancada.



Fonte: LAMEC (2022).

Como o projeto não requer pressões altas, a bancada vai trabalhar com uma pressão de até 180 bar.

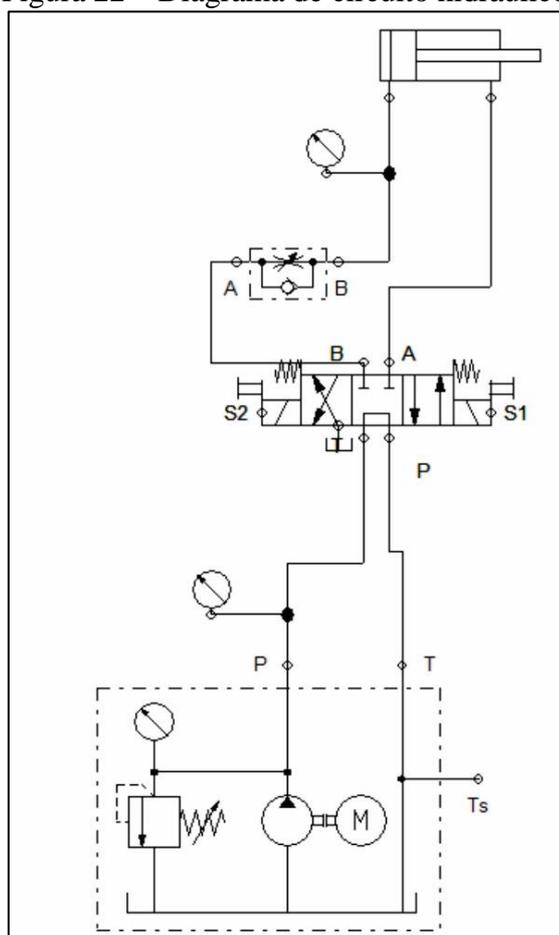
A unidade hidráulica apresentada na figura 19 segue as seguintes especificações:

- Marca Racine código e2;
- modelo pvq pssp 06er, com reservatório de óleo;
- motor weg, com potência de 2 CV.
- bomba e 04 eletroválvulas Vickers 4/3 vias (centro fechado) modelo kfdg4v 3 2c28s z m u1 h6 20.

Um diagrama de circuito hidráulico é uma ilustração esquemática do relacionamento funcional de processos, instrumentação e componentes de equipamentos do sistema, usado no campo da instrumentação e controle ou da automação (LUICDCHART, 2022)

O diagrama que será implementado no projeto é eletrohidráulico e pode ser visto na figura 22.

Figura 22 – Diagrama de circuito hidráulico.

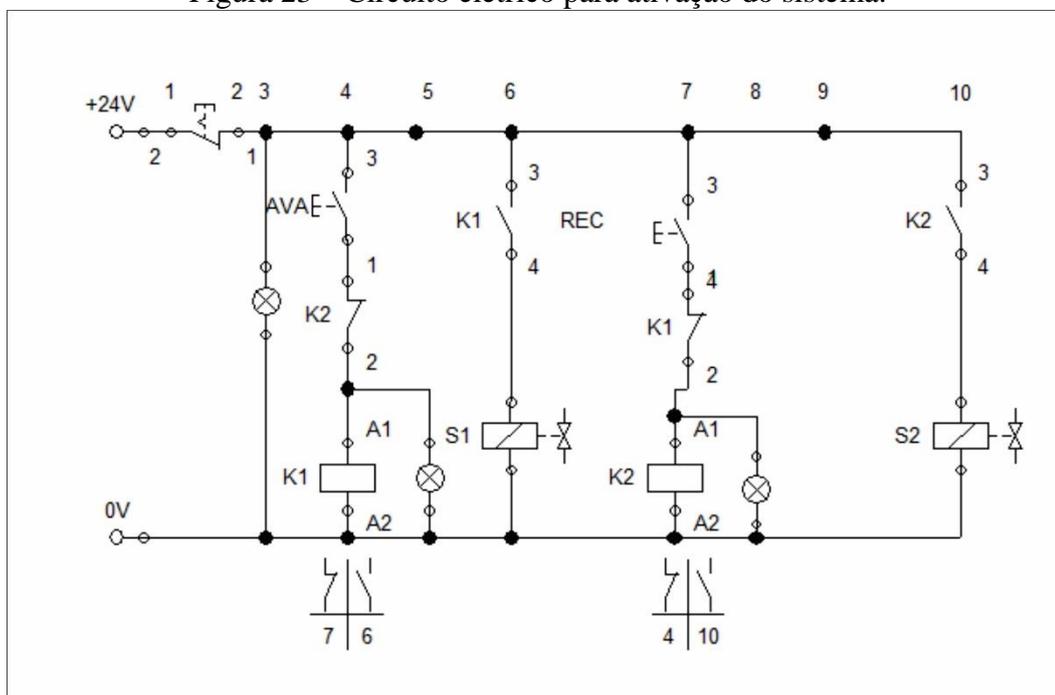


Fonte: O autor (2022).

O circuito da figura 22 tem seu funcionamento a partir de um comando solenoide, ou

seja, trata-se de um circuito eletrohidráulico. O circuito elétrico que será instalado junto ao quadro de comando está presente na figura 23.

Figura 23 – Circuito elétrico para ativação do sistema.



Fonte: O autor (2022).

Ao apertar o botão AVA, e segurar, é ativado o solenoide S1 e então ocorre o avanço do cilindro, com uma válvula regulando o fluxo do fluido. Ao apertar o botão REC, desliga o solenoide S1 e é ligado o solenoide S2, para o recuo do cilindro.

Quando um botão for acionado, sempre acenderá um *LED* junto a ele, representando qual atuação o cilindro está realizando. Para a segurança do operador, está instalado um botão de emergência, no começo do circuito, e, ao acioná-lo, o cilindro para qualquer ação instantaneamente.

3.2.4 Requisitos de Projeto

Os requisitos são condições ou capacidades que devem ser supridas pelo produto, serviço, ou resultado do projeto. Com os equipamentos, dimensões e diagramas mostrados, a bancada deverá atender os itens citados a seguir:

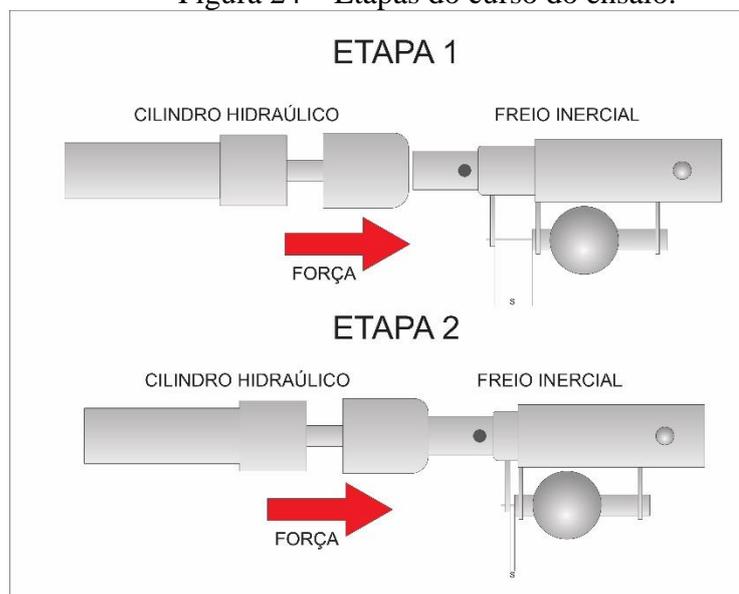
- Dimensões conforme as apresentadas anteriormente, devido a solicitações do LAMEC, para uso particular;

- pressões máximas de trabalho de 180 bar, sendo que os testes não requerem pressões muito altas;
- curso do cilindro mestre máximo de até 100 mm, levando em conta aqui os diferentes dispositivos de controles de inércia;
- estrutura principal da bancada construída de forma a atender o uso de componentes já em posse do laboratório, conforme solicitação do LAMEC.

3.2.5 Bancada virtual de Ensaio

Em parceria com o LAMEC, tem-se o objetivo da construção da bancada em meio virtual, visando a estrutura principal ser robusta, assim como ter um elevado grau de rigidez, devido ao ensaio ter um curto período de curso e exigir elevada precisão. A Figura 24 mostra o acionamento do freio inercial em 2 etapas.

Figura 24 – Etapas do curso do ensaio.



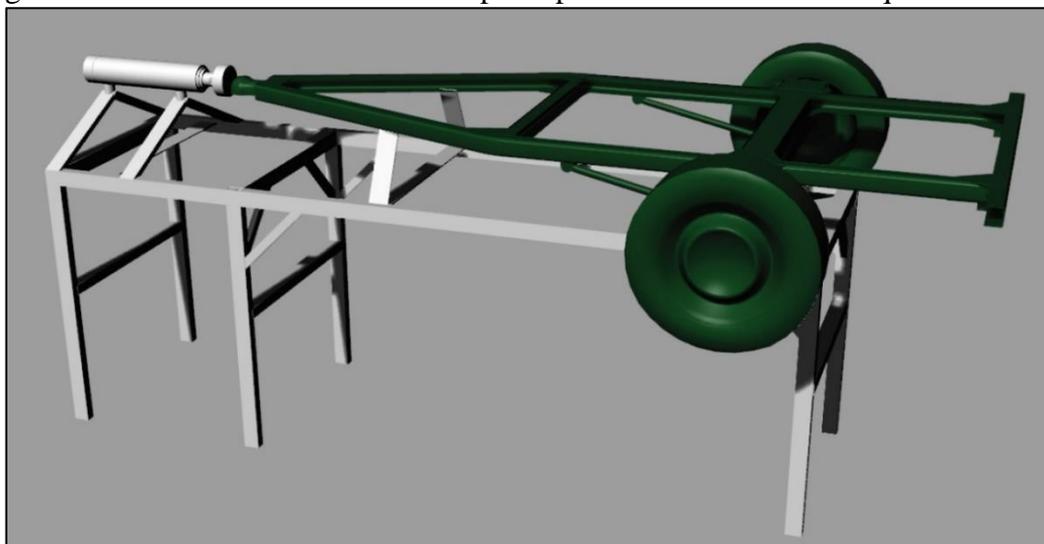
Fonte: O autor (2022).

Na etapa 1, é visto que cilindro se movimenta para aplicação da força no freio inercial, o qual está desacionado. Na etapa 2 é aplicada a força no cilindro do freio, fazendo com que ele empurre o êmbolo inferior para dentro do cilindro mestre e, com isso, liberando o fluido para os freios.

Com dados fornecidos pelo laboratório, dos materiais que virão a ser utilizados na bancada, o projeto foi modelado com tubos retangulares de 50x30x3 mm, sendo esses tubos formando a estrutura em que será encaixado o reboque e onde irá ser fixado o cilindro

principal. É possível ver na Figura 25, um atuador e um esqueleto de reboque sobre a bancada tubular.

Figura 25 – Modelamento da estrutura principal da bancada com reboque de um eixo.



Fonte: O autor (2022).

Para buscar atender a todas as normas para ensaio de reboque, a estrutura vista na figura 25 passou por uma análise estrutural, com o objetivo de ser o mais resistente possível, para um melhor desenvolvimento do processo e análise de resultados. Os resultados podem ser vistos no próximo capítulo.

3.3 MÉTODO DE ELEMENTOS FINITOS (FEM)

O FEM, *Finite Element Method* é uma técnica numérica para a análise de projetos de engenharia. O FEM divide o modelo em muitas partes pequenas de formas simples, denominadas elementos, substituindo de maneira eficaz um problema complexo por muitos problemas simples que devem ser resolvidos simultaneamente.

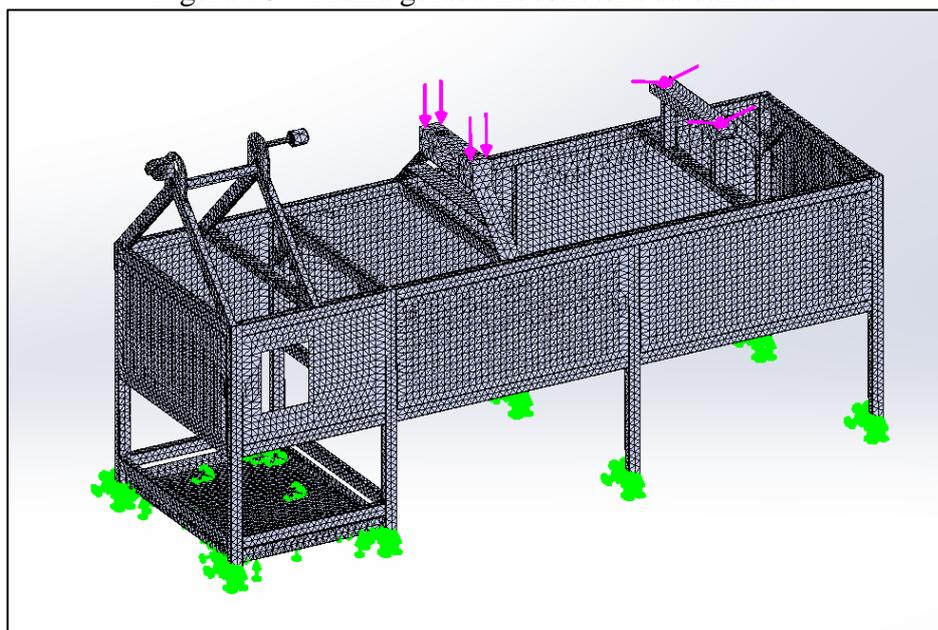
Os elementos compartilham pontos comuns, chamados de nós. O processo de divisão dos modelos em partes pequenas é chamado de geração de malha. Ao ser gerada a malha de todo o componente, aplicam-se a ele as propriedades do material, cargas e restrições, para possibilitar ao *software* formular equações para gerar as simulações e obtenção de resultados.

O programa utilizado para fazer as simulações foi o *SolidWorks*, e o método utilizado foi por sólido, devido a estrutura da bancada ser um modelo simples e para saber como ela iria se comportar com as forças aplicadas.

Caso a estrutura apresentasse algum elemento que dificultasse ao programa realizar a simulação, ou apresentasse algum elemento com geometria em chapas, o método utilizado seria por cascas.

A malha gerada na estrutura para serem realizadas as simulações pode ser vista na Figura 26.

Figura 26 – Malha gerada na estrutura da bancada.



Fonte: O autor (2022).

Todos os parâmetros utilizados na malha para realizar as simulações, como tipo de malha, tamanho de elementos, total de elementos e número de nós podem ser vistos no apêndice 1.

3.4 ENSAIOS DE FRENAGEM

Devido a bancada não ser construída em meio físico, para a realização dos ensaios, o LAMEC disponibilizou uma máquina de ensaios universal, ao qual foi adaptada, para aplicar pressão no acionador do sistema de freio inercial e realizar a frenagem do sistema.

Segundo a norma NBR ISO 7643, a bancada de ensaios tem que realizar uma força horizontal para o processo de frenagem e, nos testes, foram realizadas aplicações de força vertical.

O dispositivo de acionamento foi retirado do reboque e colocado em posição vertical, logo abaixo da prensa da Emic, nivelado e fixado de maneira que não pudesse se mover durante o ensaio, como é visto na Figura 27.

Figura 27 – Ensaio do freio Inercial de reboque.



Fonte: O autor (2022).

O reboque foi ensaiado sem carga e movimentado para facilitar a simulação de movimento. As rodas foram movimentadas manualmente.

Para realizar os ensaios, alcançando um meio de simular a frenagem do sistema inercial, e assim obter os dados para análise, foram delineadas e realizadas as atividades presentes na tabela 4, que foram executadas com recursos disponíveis no laboratório de ensaios.

Tabela 4 – Ordem das atividades para realização dos ensaios de freios inerciais.

Atividade	Descrição
1	Encaixe do dispositivo de acionamento sobre a máquina universal de ensaios.
2	Rotação manual das rodas simulando veículo em movimentação.
3	Aplicação da pressão sobre o freio para frenagem do sistema.
4	Coleta de dados e análise de resultados sobre a eficiência do sistema.
5	Remoção da pressão aplicada sobre o freio para ensaio de um novo ciclo

Fonte: O autor (2022).

Os testes foram realizados em quatro ciclos, sendo os dois primeiros com o dispositivo

de acionamento indo até o fim do curso do cilindro mestre, e os dois últimos executados com o cilindro mestre indo até a faixa ideal de final de curso, assim como especificado pelo fornecedor.

4 RESULTADOS

Este capítulo tem por objetivo descrever como foram realizados os ensaios experimentais, mostrando seu passo-a-passo, assim como os modelos desenvolvidos e projetados em CAD para obtenção dos resultados.

4.1 DESENVOLVIMENTO DAS ATIVIDADES

Atualmente, os freios inerciais para reboques são submetidos a testes de frenagem sem um órgão que regulamenta a eficácia deste dispositivo. A proposta de trabalho consiste em projetar uma bancada de freios inerciais, em parceria com o LAMEC, para o desenvolvimento de ensaios e homologação de todo o sistema de frenagem inercial de um reboque com suporte de carga de até 2,3t.

Com a construção do objetivo, o LAMEC passa a ser um dos primeiros laboratórios de ensaios mecânicos do país a ter um equipamento específico para regulamentar o sistema de freios inerciais de reboques.

Sendo assim, com os ensaios realizados, é possível obter um levantamento de variáveis, visando identificar a eficácia, segurança e compatibilidade do sistema inercial, através da relação entre os parâmetros envolvidos nos testes de frenagem.

4.2 RESULTADOS DOS ENSAIOS DE FRENAGEM

Com os ensaios executados sobre os freios do reboque, foram obtidos os valores presentes na tabela 5.

Tabela 5 – Resultados dos ensaios de freios inerciais.

Atividade	Carga de Prova (kgf)	Manômetro (bar)
1	2723	≈18
2	2725	≈18
3	1132	≈8
4	1132	≈8

Fonte: O autor (2022).

Como é possível ver na tabela 5, precisaria de uma força aplicada no dispositivo

atuador acima de 2,5t para realizar a frenagem do sistema, indo até o final do curso. E já com o cilindro mestre indo até a faixa ideal de final de curso, necessitaria apenas 1,1t.

Esse modo de ensaio foi realizado apenas para observar o quanto uma transmissão pode ser eficiente e interferir no processo de frenagem de um reboque. Os quatro ensaios realizados fizeram a frenagem do sistema de maneira eficaz.

Com os resultados obtidos nos ensaios, e com alguns dados passados pelo fornecedor, além de simular dados para a variável K , é possível calcular a eficiência de dispositivo de controle de inércia, através da fórmula presente na figura 13.

Presente na tabela 6, estão os valores que foram disponibilizados pelo fornecedor do reboque.

Tabela 6 – Variáveis disponibilizadas pelo fabricante.

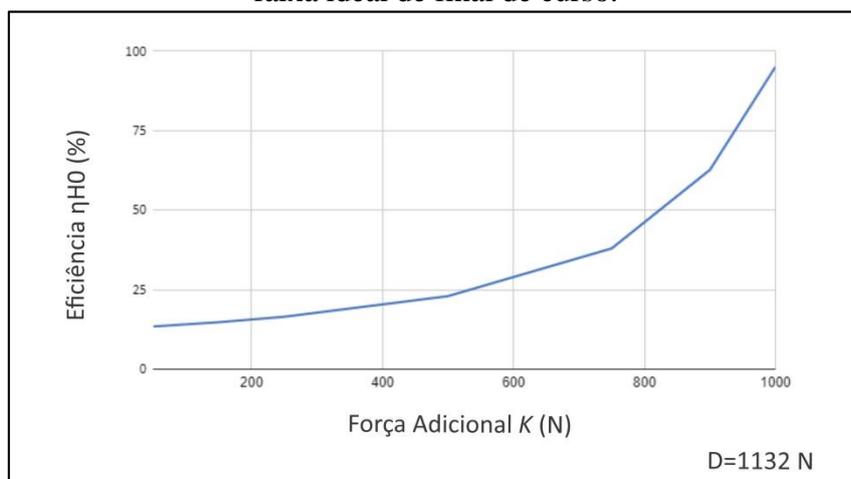
Variável	Fornecedor
GA	700 kg
G'A	700 kg
R	0,26 m
D*	686,7 N
B*	3433,5 N
FHZ	18,1 mm
SHZ	20 mm

Fonte: O fornecedor (2022).

Como K é uma variável que não é possível obter com os métodos de ensaios utilizados e nem é disponibilizada pelo fabricante, foram simulados valores para ela, para encontrar a eficiência do dispositivo de acionamento, através da fórmula apresentada na figura 13.

A Figura 28 mostra um gráfico da eficiência de dispositivo de controle em função de K para um valor de entrada D .

Figura 28 – Gráfico da eficiência de dispositivo de controle em função de K , ensaiado até a faixa ideal de final de curso.



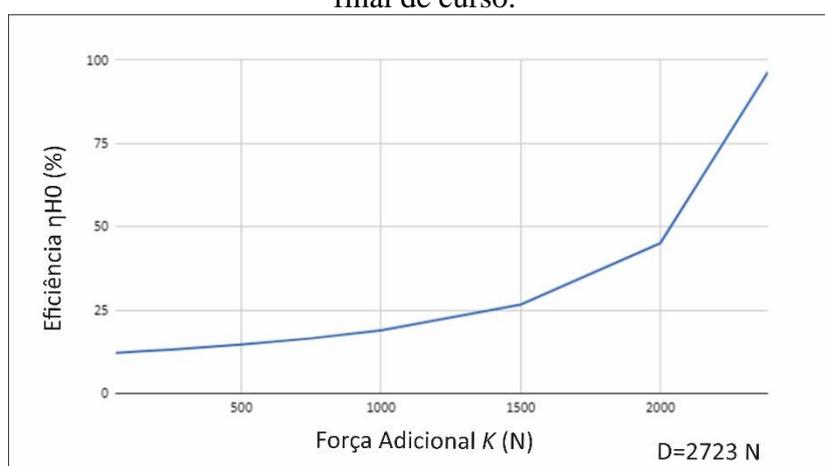
Fonte: O autor (2022).

Como é possível ver na figura 28, quanto maior o valor de K , que é a força adicional na metade de curso do dispositivo de controle, maior é a eficiência do dispositivo (η_{H0}).

Este gráfico foi realizado com o auxílio das variáveis D , que foi um valor obtido dos ensaios, presente na tabela 5, e i_H , que é a relação de redução entre o curso da cabeça de acoplamento e o curso da alavanca de freio, sendo simulado igual a 1.

O gráfico da Figura 29, mostra a eficiência em função de K , para um valor de entrada D diferente do anterior.

Figura 29 – Gráfico da eficiência de dispositivo de controle em função de K , ensaiado até o final de curso.



Fonte: O autor (2022).

Assim como o anterior, a figura 29, também mostra que quanto maior é a força adicional na metade de curso do dispositivo de controle, maior é a eficiência do dispositivo (η_{H0}).

Infelizmente, devido a falta de dados disponíveis, não é possível fazer a simulação de resultados para outras partes do sistema de freio inercial. Apenas observar que ambos os freios estão funcionando com eficiência, ao frenarem o reboque. O Anexo 1 demonstra um passo a passo sobre um relatório do sistema de frenagem inercial.

Os resultados apresentados sobre a eficiência dos dispositivos de controle não devem ser levados em conta para análises de resultados real, sendo aqui realizados apenas para entendimento das variáveis presentes nas normas e suas respectivas descrições técnicas.

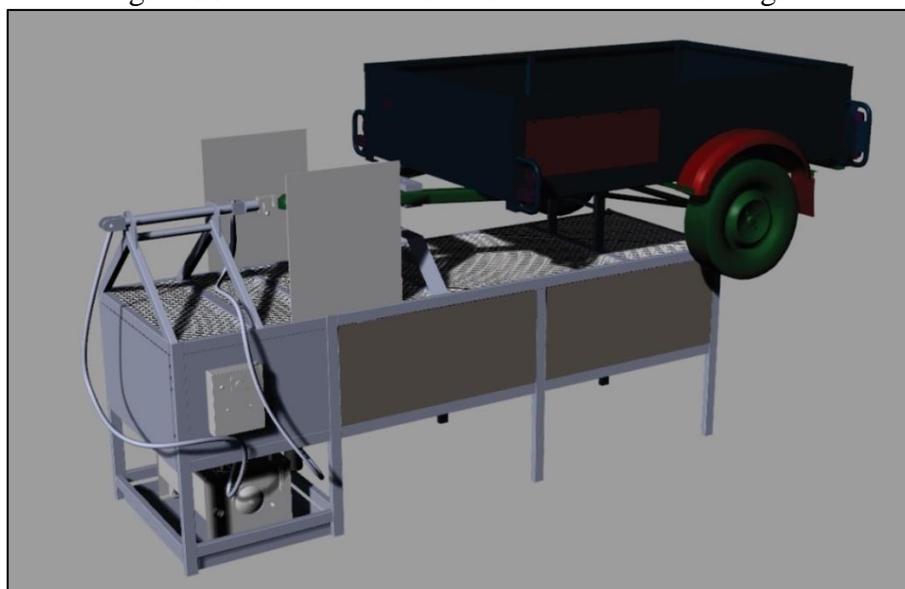
Os cálculos são baseados no entendimento do mesmo, sendo assim, podendo obter erros de interpretação de variável, arredondamento de dados, medições realizadas no sistema de maneira errônea, cálculos em função de uma ou mais variáveis e falta das mesmas para cálculos e gráficos demonstrados.

4.3 MODELAGEM DA BANCADA DE ENSAIOS

É entendido que modelagem 3D é a criação de objetos sólidos através da representação matemática de uma superfície ou de um objeto volumétrico, vivo ou inanimado. É a criação do modelo de um objeto tridimensional através de um software de processamento 3D.

A Figura 30 mostra a área de trabalho do software *Rhinoceros*, com a bancada em seu estado final de modelagem, junto a um reboque de aproximadamente três metros, com apenas um eixo.

Figura 30 - Bancada em seu estado final de modelagem.



Fonte: O autor (2022).

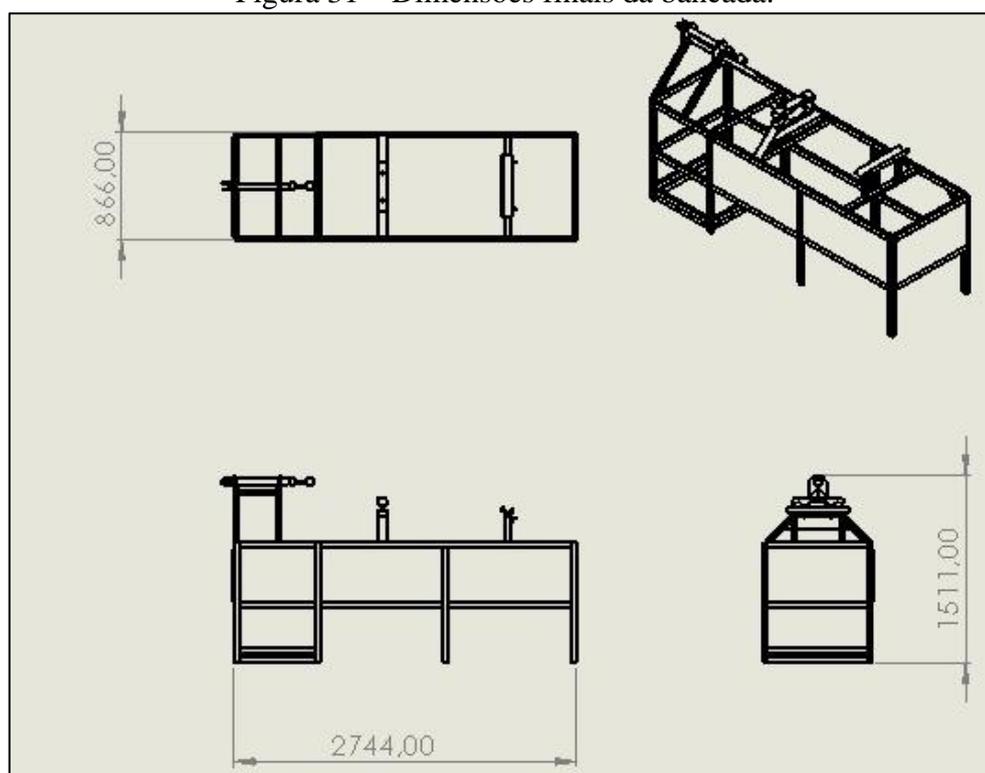
Para atender diferentes tipos de reboque, ela conta com dois reguladores de altura, um junto a seu eixo, e outro próximo ao cilindro, para que o engate, onde está o freio inercial, fique em plano horizontal com o atuador.

Foi implementado uma grade na sua parte superior, e chapas xadrez nas laterais, buscando a maior rigidez possível. Junto ao cilindro, na parte que fará a atuação, serão fixadas duas chapas de acrílico transparente, para bloquear qualquer acesso quando a máquina estiver em funcionamento.

Com as chapas de acrílico, e o esquema elétrico de segurar o botão para atuar, não apenas apertar, é garantido uma maior segurança ao operador, buscando atender a NR 12. Esta é a norma regulamentadora que contém medidas de segurança para garantir o bem-estar dos trabalhadores.

A bancada, redimensionada para buscar atender a eficiência necessária, ficou com as dimensões que podem ser observadas na Figura 31.

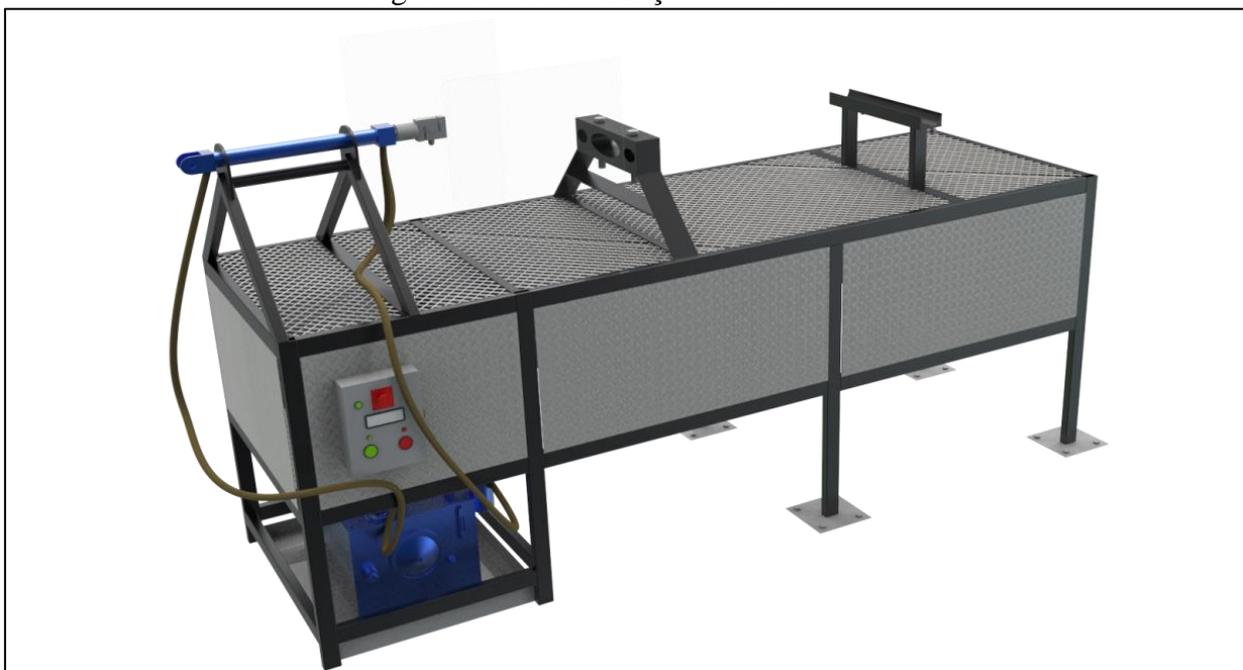
Figura 31 – Dimensões finais da bancada.



Fonte: O autor (2022).

Com a ajuda do software *Keyshot*, foi elaborada uma imagem da bancada em alta definição, se aproximando em mínimos detalhes de como ela vai estar no físico. A renderização da bancada pode ser vista na Figura 32.

Figura 32 – Renderização da bancada.



Fonte: O autor (2022).

Todos os componentes principais que estarão presentes na bancada, são apresentados na tabela 7.

Tabela 7 – Componentes da Bancada de Ensaio. (continua)

Número	Peça	Quantidade
1	Suportes de apoio	6
2	Hastes de cima	2
3	Hastes laterais	12
4	Suportes de apoio intermediários	2
5	Hastes intermediárias	4
6	Haste estrutura cilindro	6
7	Bandeja	1
8	Suporte mão-francesa	8
9	Suporte mão francesa superior	4
10	Apoio ajustável dianteiro	1
11	Apoio ajustável traseiro	1
12	Chapa xadrez lateral	4
13	Chapa xadrez traseira	1
14	Chapa xadrez estrutura cilindro	2

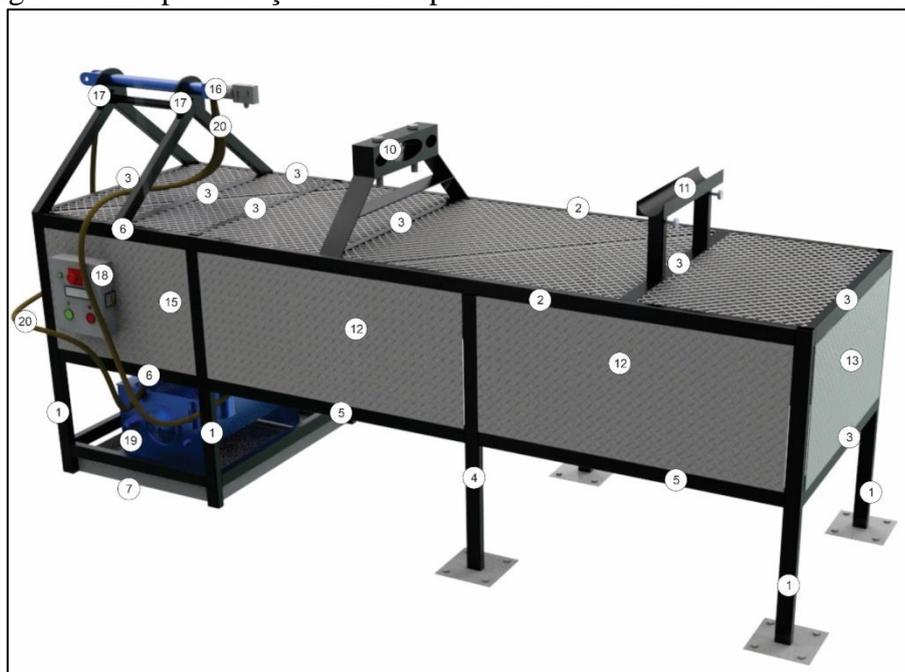
Tabela 7 – Componentes da Bancada de Ensaio(conclusão).

15	Chapa xadrez quadro de comando	1
16	Estrutura do cilindro	1
17	Chapa fixação cilindro	2
18	Quadro de comando	1
19	Unidade hidráulica	1
20	Mangueiras	2
21	Grade superior	1

Fonte: O autor (2022).

Eles são representados por número, nome e quantidade. Na Figura 33 é apresentado o número de acordo com a peça na bancada.

Figura 33 – Apresentação dos componentes da bancada conforme tabela 7.



Fonte: O autor (2022).

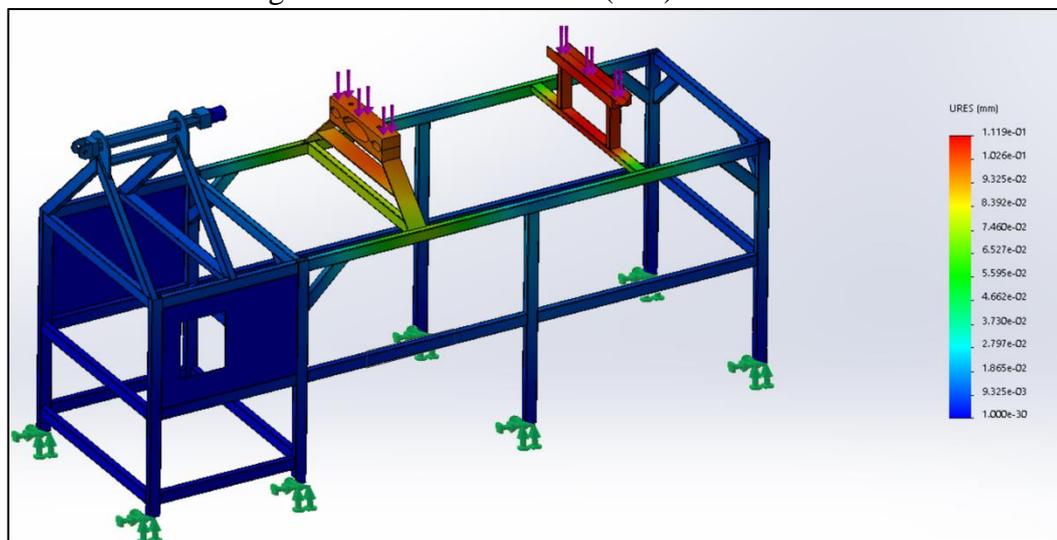
4.3.1 Simulações na Bancada de Ensaio

A bancada modelada passou por um processo de simulações de carga, para checagem se todos os elementos que foram propostos suportariam a pressão necessária para funcionamento.

A Figura 34, apresenta os deslocamentos na bancada com uma força aplicada

verticalmente nela de 0,7t, mostrando os resultados em sua estrutura.

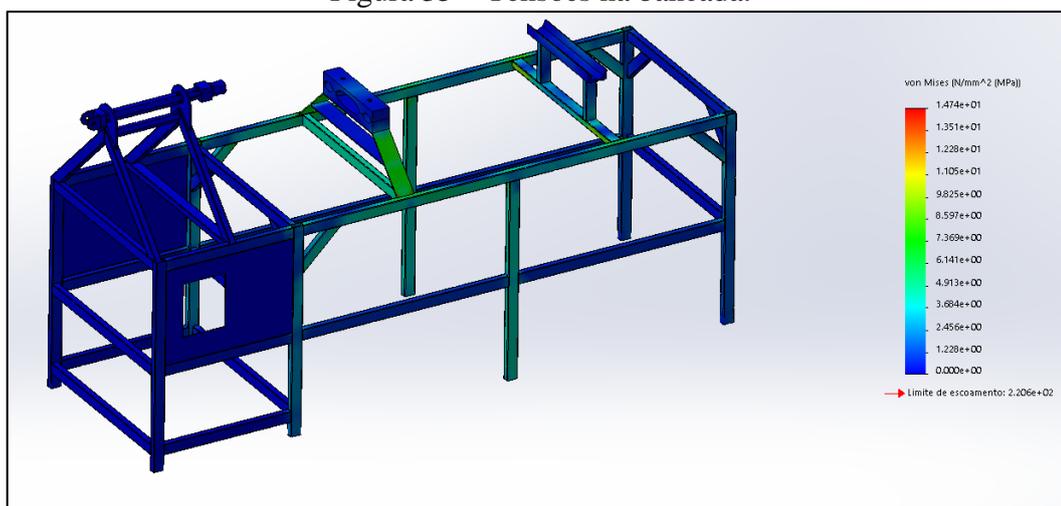
Figura 34 – Deslocamentos (mm) na bancada.



Fonte: O autor (2022).

Conforme mostra a figura 34, a bancada suportaria uma carga de 0,7t, ou 700 kgf, sem danos em sua estrutura, onde os pontos com maior deslocamento seriam os apoios para o reboque. Na Figura 35, é possível visualizar os pontos de maior tensão na bancada.

Figura 35 – Tensões na bancada.

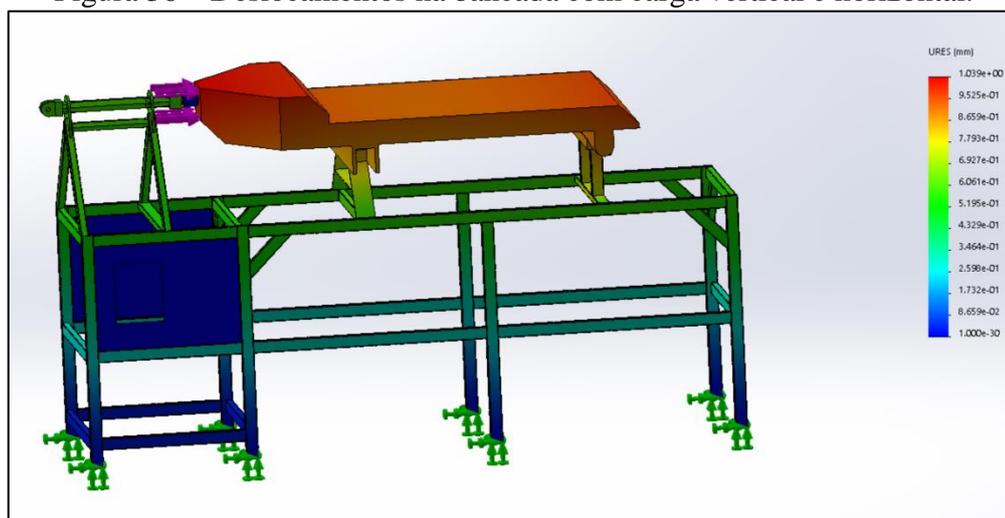


Fonte: O autor (2022).

As maiores tensões se encontrariam novamente nos apoios do reboque, ficando com tensões que variam de 2 MPa a 7 MPa. No apoio frontal, em um ponto próximo a parte que será soldada com a estrutura, mostrou-se um valor de tensão maior, aproximadamente 14 MPa.

Após serem realizadas simulações de carga vertical aplicada a bancada, foi simulado, junto a carga vertical, uma carga horizontal de aproximadamente 2t, junto ao cilindro, para observar os efeitos na bancada. A Figura 36 demonstra os resultados de deslocamento da estrutura.

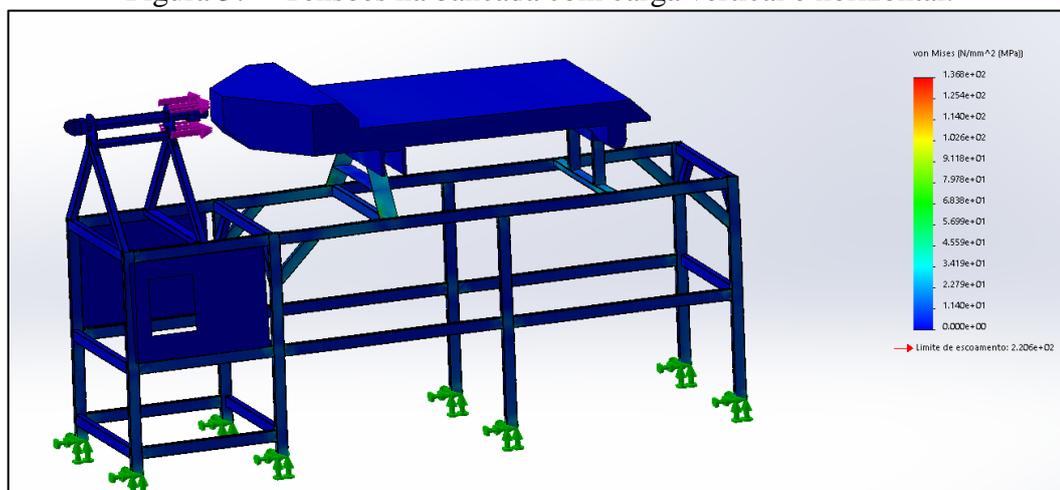
Figura 36 – Deslocamentos na bancada com carga vertical e horizontal.



Fonte: O autor (2022).

Conforme mostra a figura 36, a bancada suportaria uma carga de 0,7t aplicada verticalmente e uma carga de 2t aplicada horizontalmente, junto ao cilindro, com pontos de maior deslocamento sendo os apoios para o reboque. Na Figura 37, é possível visualizar os pontos de maior tensão na bancada.

Figura 37 – Tensões na bancada com carga vertical e horizontal.

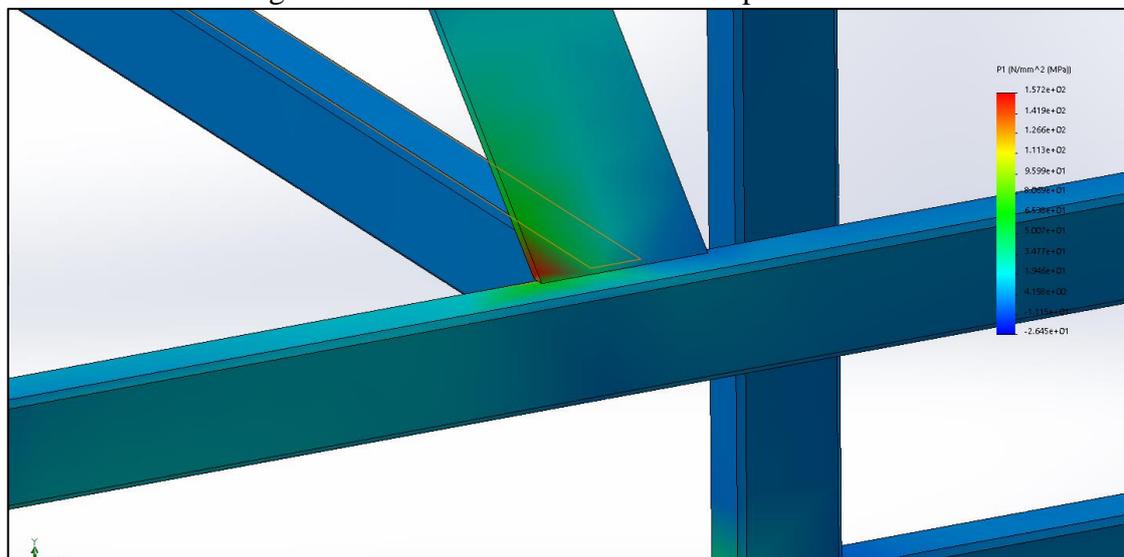


Fonte: O autor (2022).

A maior parte das tensões se concentram nos apoios onde o reboque será fixado,

variando entre 3 MPa e 8 Mpa. Porém, no ponto do apoio frontal próximo a estrutura principal, observam-se tensões concentradas mais elevadas, na ordem de 150 MPa, como é mostrado na Figura 38.

Figura 38 – Tensões concentradas no apoio frontal.



Fonte: O autor (2022).

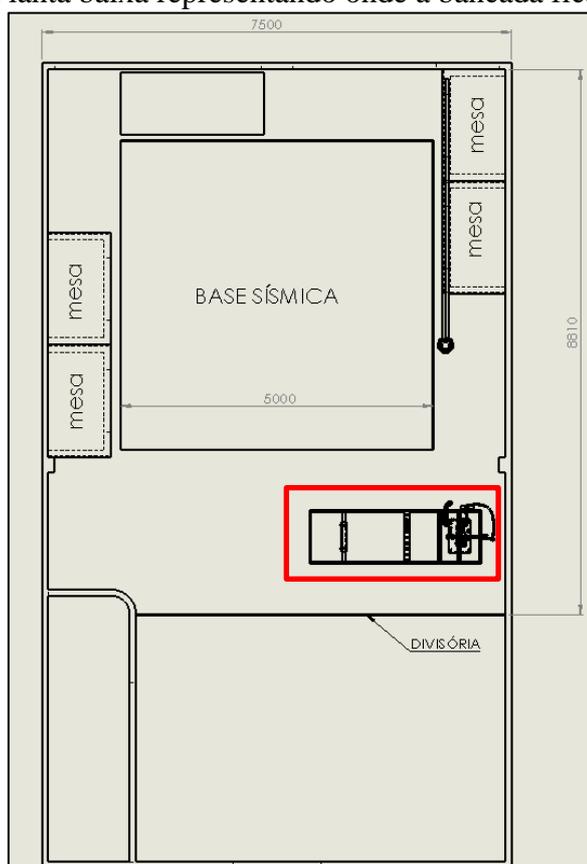
Com os valores de tensões de Von Mises apresentados, onde a tensão está muito próximo da tensão limite que o material suporta antes de começar a escoar, é recomendado fazer um reforço para evitar maiores danos a estrutura.

Entretanto, a maior parte da bancada está apta, segundo o que foi representado nas simulações, a realizar os ensaios de freios inerciais para reboques.

4.3.2 Laboratório da bancada de ensaios

Ao planejar o lugar ideal de máquinas projetadas, é necessário tomar alguns cuidados, como rede elétrica e espaço para a realização dos ensaios. A bancada para ensaios de freio inercial já está com seu local de instalação determinado. Na Figura 39, é possível ver a planta baixa onde a bancada estará localizada.

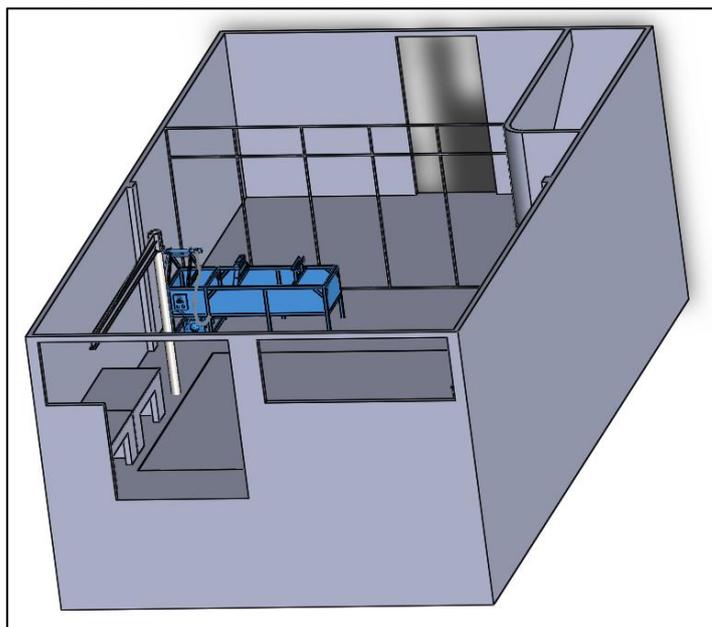
Figura 39 – Planta baixa representando onde a bancada ficará localizada.



Fonte: Lamec (2022).

Na Figura 40, é possível ver o esboço do laboratório em perspectiva, numa vista em 3D.

Figura 40 – Laboratório onde estará localizada a bancada em vista 3D.



Fonte: Lamec (2022).

Para auxiliar no deslocamento dos reboques até a bancada, o laboratório conta com um guindaste, com uma capacidade de carga de até 3,5t. O guindaste tem sua principal função em carregar itens pesados ou de difícil deslocamento.

5 CONCLUSÃO

Ao longo de todo este estudo foi apresentado o sistema de freio inercial de reboque, funcionando com diferentes componentes, sejam eles acionador e transmissão hidráulica ou mecânica, e freios a disco ou tambor.

O sistema de freio inercial mecânico, junto com o freio a tambor, não foram adotados como referência para os resultados, já que durante a pesquisa, este método se mostrou menos eficiente se comparado ao freio inercial hidráulico e freio a disco.

Em um primeiro momento, foi elaborado um extenso estudo em busca de informações sobre o sistema de freios mencionados neste trabalho e as normas referentes aos ensaios que devem ser efetuados. O estudo foi a base para o projeto do protótipo virtual da bancada, de modo atender aos requisitos de um futuro processo de homologação de freios inerciais para reboques.

Contudo, não houve tempo hábil para a construção da bancada. O reboque que foi emprestado para ser ensaiado, não foi entregue conforme o cronograma inicial estipulado, atrasando todo o processo da construção física da bancada.

No entanto, mesmo com o atraso no cronograma e a chegada do reboque, ele foi ensaiado como uma máquina universal de ensaios, onde foi possível obter dados para análise de resultados.

Analisando os dados, quanto mais a força adicional K for similar à força de entrada no freio, D , com o cilindro próximo a metade de seu curso, maior será a eficácia dos freios inerciais. Mesmo com a diferença de ensaios mostrados, com o curso ideal e curso total, ambos mostraram que os freios foram eficientes.

Infelizmente, uma das maiores dificuldades do estudo gira em torno das variáveis. Mesmo o ensaio tendo um curso pequeno se comparado a outros ensaios mecânicos, ele consta com entendimento de muitas incógnitas para a obtenção de dados corretos, e muitas delas depende unicamente de informações do fornecedor. Devido a esses efeitos, não foram apresentados outros dados sobre o freio inercial nesse estudo.

Os ensaios com o freio inercial foram realizados apenas para um melhor entendimento das normas, não devendo ser levado em conta para uma futura análise de freios sobre esse estudo.

A bancada foi construída em meio virtual, próximo como deverá ser construída futuramente, tendo bons resultados na simulação estática pelo método de elementos finitos. Construída desta maneira, a bancada precisaria apenas de um reforço em seus apoios para

suportar uma carga vertical, enquanto é realizado o ensaio. Apresentando tensões de Von Mises mínimas em praticamente toda a sua estrutura, na ordem de 10 MPa para menos, a bancada está apta para ser construída e realizar os ensaios previstos conforme as normas que regulamentam esse dispositivo.

6 SUGESTÕES PARA CONSTRUÇÃO DA BANCADA E ENSAIOS

Como sugestão para construção da bancada e ensaios a serem efetuados se baseando nas normas e no estudo aqui apresentado, tanto para continuação, como para complementação, foram estabelecidos itens visando o aprimoramento do sistema da bancada de testes.

- a) implementação de componentes mecânicos e eletroeletrônicos para a aplicação de torque no eixo do reboque, sem precisar girar manualmente;
- b) implementação de um sensor de velocidade para auxílio nos testes requeridos;
- c) uso de um LVTD (transdutor de deslocamento variável linear) para a medição do curso do cilindro mestre;
- d) elaboração de uma estrutura simulando um reboque, caso a empresa interessada queira apenas os testes no freio inercial;
- e) elaboração de cargas de trabalho, para simular cargas no reboque, para os testes que necessitam;
- f) desenvolvimento de uma planilha para a obtenção de dados de maneira mais eficiente;
- g) comparação com os testes realizados em campo, caso precise;

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AE CLASSIC. **Freios hidráulicos**. Disponível em:

<<http://www.autoentusiastasclassic.com.br/2011/01/duplo-circuito-hidraulico-o-anjo-da.html>>. Acesso em 13 de maio de 2022.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR ISO 7643: Veículos rodoviários – Reboques de moradia (trailers) e reboques leves – Reboques de categoria O₁ e O₂ com freios de inércia – Método de ensaio linear dos controles de freios**. Rio de Janeiro. 2003.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR ISO 10966-8: Veículos rodoviários automotores – Sistemas de freios – Parte 8 – Ensaio com veículos equipados com freios de inércia**. Rio de Janeiro. 2019.

ATF AUTOMAÇÃO. **Freios pneumáticos**. Disponível em:

<<https://www.atfautomacao.com.br/freio-pneumatico>>. Acesso em 13 de maio de 2022.

BARBOSA, Victor Almeida Cotta. **A influência do processo produtivo na qualidade final de pastilhas de freio automotiva**. 2017. 85 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Automotiva, Universidade Federal de Santa Catarina, Joinville, 2017. Acesso dia 10 de junho de 2022.

BIOPDI. **Máquina Universal de Ensaio**. Disponível em: <https://biopdi.com.br/ensaios-mecanicos/maquina-universal-de-ensaios/10000kgf-autoportante/>. Acesso em 08 de novembro de 2022.

CAMINHÕES E CARRETAS. **Freios pneumáticos**. Disponível em:

<<https://www.caminhoes-e-carretas.com/2015/08/de-olho-nos-freios-de-caminhoes.html>>. Acesso em 13 de maio de 2022.

CARLIDER. **Funcionamento dos freios**. Disponível em:

<<http://blog.carlider.com.br/2017/05/17/como-freio-funciona/>>. Acesso em 31 de março de 2022.

DOUTOR MULTAS. **Modelos de freios**. Disponível em:

<<https://doutormultas.com.br/tipos-de-freio-carro/>>. Acesso em 01 de abril de 2022.

FLINTEC. **Célula de carga**. Disponível em <https://www.flintec.com/>. Acesso em 10 de outubro de 2022.

FRAS-LE. **Funcionamento de freios hidráulicos**. Disponível em:

<<https://blog.fras-le.com/como-funciona-o-freio-hidraulico/>>. Acesso em 13 de maio de 2022.

FRAS-LE. **Funcionamento de freios pneumáticos**. Disponível em:

<<https://blog.fras-le.com/sistema-de-freio-a-ar-de-caminhao/>>. Acesso em 14 de maio de 2022.

INSTACARRO. **Freios a disco**. Disponível em:
<<https://www.instacarro.com/blog/tecnologia-automotiva/freio-a-disco/>>. Acesso em 10 de abril de 2022.

JÚNIOR, Joab Silas da Silva. **Definição de inércia**. Disponível em:
<https://brasilecola.uol.com.br/o-que-e/fisica/o-que-e-inercia.htm>. Acesso em 27 de maio de 2022.

LAMEC. **Laboratório de Ensaios Mecânicos**. Campus da Universidade de Caxias do Sul, Bloco D. 2022.

LIMPERT, R. **Brake Design and Safety**. 2. ed. Warrendalle: Society of Automotive Engineers, Inc. 1999. 528 p. Acesso em 10 de junho.

LUCIDCHART. **Circuito hidráulico**. Disponível em:
<<https://www.lucidchart.com/pages/pt/o-que-e-circuito-hidraulico>>. Acesso em 08 de novembro.

MINUTO SEGUROS. **Diferença entre reboque e semi-reboque**. Disponível em:
<<https://www.minutoseguros.com.br/blog/a-diferenca-entre-reboque-e-semi-reboque/>>. Acesso em 01 de abril de 2022.

MUTUUS. **O que é reboque**. Disponível em:
<<https://www.mutuus.net/blog/reboque-e-semirreboque-transporte-carga/>>. Acesso em 01 de abril de 2022.

NAKATA. **Funcionamento sistema de freios**. Disponível em:
<<https://blog.nakata.com.br/sistema-de-freio-tudo-o-que-voce-precisa-saber-para-nao-correr-perigo/>>. Acesso em 31 de março de 2022.

PMZ PEÇAS E PNEUS. **Freios pneumáticos**. Disponível em:
<<https://www.grupopmz.com/noticia/o-freio-pneumatico-e-seus-componentes>>. Acesso em 14 de maio de 2022.

PUHN, Fred. **Brake Handbook**. 2. Ed. Tucson, Arizona. HPBooks, 1985. Acesso em 10 de junho.

Regulation No 13 of the Economic Commission for Europe of the United Nations (UN/ECE). **Uniform provisions concerning the approval of vehicles of categories M, N and O with regard to braking**, p. 122-147. 2016.

REIF, Konrad. **Brakes, Brake Control and Driver Assistance Systems**. Friedrichshafen, Alemanha: Springer, 2014. Acesso em 12 de junho de 2022.

ROZA, Leopoldo Correa. **Freios ferroviários**. Apostila do Curso de Freios Ferroviários. Campinas: FEM/UNICAMP, 1989. Acesso em 01 de abril de 2022.

SALÃO DO CARRO. **Funcionamento de freios a disco**. Disponível em:
<<https://salaodocarro.com.br/como-funciona/freios-a-disco.html>>. Acesso em 10 de abril de 2022.

SCLAR, Deanna. Mecânica de automóveis. 2ª ed. Rio de Janeiro: Alta Books, 2015.

DASSAULT SYSTEMES. **Análise de elementos finitos**. Disponível em: <https://help.solidworks.com/2023/portuguesebrazilian/SolidWorks/cworks/c_Basic_Concepts_of_Analysis.htm?verRedirect=1>. Acesso em 18 de dezembro de 2022.

SUPERBID. **Modelos de reboques**. Disponível em: <<https://blog.superbid.net/qual-a-diferenca-entre-reboque-e-semirreboque/>>. Acesso em 01 de abril de 2022.

TRAIL PARTS. **Inertia Brakes**. Disponível em: <<https://trailparts.co.nz/>>. Acesso em 02 de junho de 2022.

TRAILER SAUCE. **Overrun modelos**. Disponível em: <<https://www.trailersauce.co.nz/equipment/trailer-brakes/>>. Acesso em 02 de junho de 2022.

UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ. **Sistema de freios**. Disponível em: <<http://ftp.demec.ufpr.br/disciplinas/TMEC078/Aulas/Seward/Capitulo%208/Sistema%20de%20freio%20veicular.pdf>>. Acesso em 13 de maio de 2022.

WEB MOTORS. **Regras para uso de reboques**. Disponível em: <<https://www.webmotors.com.br/wm1/dicas/regras-para-usar-reboque-seu-carro>>. Acesso em 02 de abril de 2022.

APÊNDICE 1 – QUADRO DOS PARÂMETROS UTILIZADOS PARA GERAÇÃO DE MALHA PARA ANÁLISE DE ELEMENTOS FINITOS

Nome do estudo	Análise estática 1 (-Valor predeterminado-)
Tipo de malha	Malha sólida
Gerador de malhas usado	Malha padrão
Transição automática	Desativada
Incluir loops de malha automáticos	Ativada
Pontos Jacobianos	4 pontos
Tamanho do elemento	26.9957 mm
Tolerância	1.34979 mm
Qualidade da malha	Rascunho
Total de nós	34621
Total de elementos	103678
Proporção máxima	116.73
Porcentagem de elementos com Proporção < 3	3.35
Porcentagem de elementos com Proporção > 10	41
Refazer malha de peças falhas com malha incompatível	Ativada
Tempo para conclusão da malha (hh:mm:ss)	00:03:05
Nome do computador	

ANEXO 1 – MODELO DE RELATÓRIO A SER SEGUIDO PARA ENSAIOS DE FREIOS INERCIAIS

Este Anexo apresenta um modelo de relatório de ensaio em dispositivo de controle de freio de inércia.

Relatório de ensaio em dispositivo de controle de freio de inércia

1. Fabricante _____
2. Marca _____
3. Tipo _____
4. Características dos reboques para os quais o dispositivo de comando é prescrito pelo fabricante:
 - 4.1. Massa $G_A =$ _____ kg
 - 4.2. Força vertical estática permissível na cabeça do dispositivo de tração _____ N
 - 4.3. Reboque de eixo único ou com vários eixos ¹
5. Descrição breve
(lista de desenhos e dimensões anexada)
6. Diagrama principal de controle
7. Cursos _____ mm
8. Relação de redução do dispositivo de controle:
 - 8.1. Com dispositivo de transmissão mecânica ¹
 $i_{H0} =$ de _____ para _____ ²
 - 8.2. Com dispositivo de transmissão hidráulica ¹
 $i_h =$ de _____ para _____ ²
 $F_{HZ} =$ _____ cm²
Curso do cilindro-mestre $S_{HZ} =$ _____ mm
9. Resultados dos ensaios:
 - 9.1. Eficiência
Eficiência com dispositivo de transmissão mecânica ¹ $\eta_H =$ _____
Eficiência com dispositivo de transmissão hidráulica ¹ $\eta_{H0} =$ _____
 - 9.2. Força adicional $K =$ _____ N
 - 9.3. Força de compressão máxima $D_1 =$ _____ N
 - 9.4. Força de tração máxima $D_2 =$ _____ N
 - 9.5. Limiar de solitação $K_A =$ _____ N
 - 9.6. Perda de curso e curso de reserva:
Posição onde o dispositivo desenhado atua $s_0^1 =$ _____ mm
Com uma transmissão hidráulica $s^{*1} =$ _____ mm
 - 9.7. Curso efetivo (útil) curso de controle $s' =$ _____ mm
 - 9.8. Existe um protetor contra sobrecargas instalado ou previsto para instalação conforme os itens 5.6 e 8.2.2:
sim / não ¹
 - 9.8.1. Se o protetor contra sobrecargas estiver montado antes da transmissão do dispositivo de controle:
 - 9.8.1.1. Força que ativa o protetor contra sobrecargas $D_{Op} =$ _____ N
 - 9.8.1.2. Força máxima aplicada no freio pelo protetor contra sobrecargas $P_{Op-m\acute{a}x.} =$ _____ N
 - 9.8.1.3. Pressão máxima aplicada no freio pelo protetor contra sobrecargas $p_{Op-m\acute{a}x.} =$ _____ N/cm²
 - 9.8.2. Se o protetor contra sobrecargas estiver montado depois da transmissão do dispositivo de controle:
 - 9.8.2.1. Força que ativa o protetor contra sobrecargas, se for mecânico $D_{Op} \cdot i_{H0} =$ _____ N
Força que ativa o protetor contra sobrecargas, for hidráulico $D_{Op} \cdot i_h =$ _____ N
 - 9.8.2.2. Força máxima aplicada no freio pelo protetor contra sobrecargas $P_{Op-m\acute{a}x.} =$ _____ N
 - 9.8.2.3. Pressão máxima aplicada no freio pelo protetor contra sobrecargas $p_{Op-m\acute{a}x.} =$ _____ N/cm²
 10. Serviço técnico que executou os ensaios
 11. O dispositivo de controle acima descrito está ou não está em conformidade¹ com os requisitos das Seções 5, 6 e 7 desta Norma.

Assinatura
