



UNIVERSIDADE EDUARDO MONDLANE

FACULDADE DE ENGENHARIA

CURSO DE ENGENHARIA MECÂNICA

ESTÁGIO PROFISSIONAL

PROJECCÃO DE UMA BANCADA PARA ENSAIOS DINAMOMÉTRICOS

DOS MOTORES MWM DA SÉRIE 10 NA EMTPM

Autor: Macuácuá, Bento Moisés

Supervisor da Faculdade: Eng.º Roberto David

Supervisor da EMTPM: Eng.º Eurico

Maputo, Novembro de 2022



UNIVERSIDADE EDUARDO MONDLANE

FACULDADE DE ENGENHARIA

CURSO DE ENGENHARIA MECÂNICA

ESTÁGIO PROFISSIONAL

PROJECÇÃO DE UMA BANCADA PARA ENSAIOS DINAMOMÉTRICOS

DOS MOTORES MWM DA SÉRIE 10 NA EMTPM

Autor: Macuácuá, Bento Moisés

Supervisor da Faculdade

Eng.º Roberto David

Supervisor da EMTPM

Eng.º Eurico

Maputo, Novembro de 2022



UNIVERSIDADE EDUARDO MONDLANE

FACULDADE DE ENGENHARIA

CURSO DE ENGENHARIA MECÂNICA

TERMO DE ENTREGA DE RELATÓRIO DO ESTÁGIO PROFISSIONAL

Declaro que o estudante: Macuácuá, Bento Moisés

Entregou no dia ___/___/20__ as ___ cópias do relatório do seu relatório do estágio profissional com a referência: _____

Intitulado: **PROJECCÃO DE UMA BANCADA PARA ENSAIOS DINAMOMÉTRICOS DOS MOTORES MWM DA SÉRIE 10 NA EMTPM**

Maputo, ___ de _____ de 20__

O Chefe de Secretaria

DEDICATÓRIA

Dedico este trabalho a toda a minha a minha família, em especial à minha mãe Fernanda Felisberto Guta e ao meu falecido pai Moisés Alberto Macuácuca por nunca terem poupado esforços e por terem feito todo o possível para que eu concluísse os meus estudos, aos meus irmãos pela força e apoio incondicional.

AGRADECIMENTOS

Agradeço em primeiro lugar a Deus pela vida e por me permitir chegar nesta fase da vida e realizar o meu sonho. Agradeço à minha família em geral, pelo incentivo dado para que continuasse lutando pelo meu sonho e objectivo de vida e aos meus amigos que sempre acreditaram no meu potencial e me apoiaram durante toda carreira académica, assim como na vida social.

Não esqueço o papel que a Universidade teve ao longo de todo meu percurso académico e, por isso, agradeço os recursos e o apoio que sempre me ofereceu.

Agradeço também aos Professores do Departamento de Engenharia Mecânica em particular ao Eng.º Roberto L. David por terem-me aconselhado, apoiado e orientado durante a execução deste trabalho.

Agradeço a toda equipe da EMTPM (Empresa Municipal dos Transportes Públicos de Maputo) e em especial Eng.º Eurico por terem-me recebido de braços abertos, apoiado moralmente e por terem-me incluído nas actividades.

À minha família e a todos os amigos eu quero gritar bem alto meu agradecimento porque nunca duvidaram das minhas capacidades e tornaram possível a realização do meu grande objectivo.

DECLARAÇÃO DE HONRA

Eu, Macuácu, Bento Moisés declaro por minha honra que o presente Relatório de Estágio é exclusivamente de minha autoria, não constituindo nenhuma cópia de trabalho realizado anteriormente e as fontes usadas para a realização do relatório encontram-se referidas na revisão bibliográfica.

Assinatura: _____

RESUMO

O presente relatório visa projectar uma bancada de ensaio dinamométrico para gerar as curvas de torque e potência de um motor de forma a reduzir o tempo da manutenção dos motores MWM da série 10, assegurando a qualidade dos trabalhos realizados na **Empresa Municipal dos Transportes Públicos de Maputo** (EMTPM).

O **dinamómetro** em seu significado mais geral é um instrumento usado para medir forças, com base na deformação elástica de uma mola calibrada, no entanto, eles também são conhecidos como dinamómetro ou banco dinamómetro. Como também são dispositivos usados para absorver ou dissipar energia, gerada por uma máquina e com base na medição de certos parâmetros da máquina (como o torque e/ou velocidade de rotação, dependendo do princípio de operação do dinamómetro) o cálculo estimado da potência mecânica gerada pela máquina, sob diferentes condições de operação.

Existem diversos tipos de dinamómetro, tais como: Dinamómetro de Fricção/ Freio Prony, dinamómetro de Correntes Foucault, dinamómetro eléctrico, dinamómetro de Ventilação e o dinamómetro **Hidráulico** que será usado no seguinte trabalho.

O ganho de tempo, a qualidade como a segurança dos trabalhadores durante a manutenção dos motores MWM da série 10 fazem com que a bancada de ensaio dinamométrico seja indispensável nas oficinas ou indústrias automotivos.

Dentre as várias atividades realizadas pela empresa, o presente trabalho irá centrar-se apenas na manutenção dos motores MWM da série 10. O equipamento a ser projectado terá sua aplicação na empresa **EMTPM** de forma a garantir qualidade de reparo e menor tempo de indisponibilidade dos motores.

Palavras-chave: Projectar; bancada de ensaio; dinamómetro; dinamómetro hidráulico.

ABSTRACT

The present report aims to design a dynamometric test bench to generate the torque and power curves of an engine in order to reduce the maintenance time of the MWM 10 series engines, ensuring the quality of the work carried out at **Empresa Municipal dos Transportes Públicos de Maputo**. (EMTPM).

The **dynamometer** in its most general meaning is an instrument used to measure forces, based on the elastic deformation of a calibrated spring, however, they are also known as dynamometer or dynamometer bench. As are also devices used to absorb or dissipate energy, generated by a machine and based on the measurement of certain parameters of the machine (such as torque and/or rotational speed, depending on the operating principle of the dynamometer) the estimated calculation of mechanical power generated by the machine under different operating conditions.

There are several types of dynamometer, such as: Friction Dynamometer / Prony Brake, Eddy Current dynamometer, electric dynamometer, Ventilation dynamometer and the **Hydraulic dynamometer** that will be used in the following work.

Time saving, quality and worker safety during maintenance of MWM Series 10 engines make the dynamometric test bench indispensable in workshops or automotive industries.

Among the various activities carried out by the company, the present work will focus only on the maintenance of MWM series 10 engines. The equipment to be designed will have its application in the **EMTPM** Company in order to ensure quality of repair and less time of unavailability of the engines.

Keywords: Design; test bench; dynamometer; hydraulic dynamometer.



Projeção de uma bancada para ensaios dinamométricos dos Motores MWM da série 10 na EMTPM
Autor: Macúcuca, Bento Moisés

ÍNDICE

Dedicatória	I
Agradecimentos.....	II
Declaração de honra	III
Resumo.....	IV
Abstract	V
Índice de figuras	IX
Índice de tabelas	X
Lista de símbolos e acrónimos	XI
CAPÍTULO I – INTRODUÇÃO.....	1
1.1. Objectivos.....	1
1.1.1. Objectivo geral.....	1
1.1.2. Objectivos específicos	1
1.2. Metodologia	2
1.3. Justificativa.....	2
1.4. Estrutura do trabalho	3
CAPÍTULO II – REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	4
2.1. Contexto histórico da evolução dos motores de combustão interna	4
2.2. Motores de combustão interna	5
2.2.1. Classificação	6
2.2.2. Parâmetros geométricas principais	7
2.2.2.1. Torque	9
2.2.2.2. Potência.....	10
2.3. Definição do conceito bancada	11
2.4. Bancada de testes	11
2.5. Dinamómetro.....	13
2.5.1. Classificação	13
2.5.1.1. Dinamómetros de fricção	14
2.5.1.2. Dinamómetro hidráulico	16
2.5.1.2.1. Finalidade.....	16
2.5.1.2.2. Aplicação	16
2.5.1.2.3. Princípio de funcionamento	16

2.5.1.2.4. Curvas características.....	17
2.5.1.3. Dinamómetro eléctricos	19
2.6. Sistema de aquisição de dados	20
2.7. Instrumentação	22
2.8. Elementos de máquinas.....	22
2.8.1. Classificação	22
2.9. Sistemas hidráulicos.....	23
CAPÍTULO III – CONTEXTUALIZAÇÃO DA INVESTIGAÇÃO.....	24
3.1. Apresentação da empresa.....	24
3.1.1. Localização	24
3.1.2. Visão	24
3.1.3. Principais actividades desempenhadas pela empresa	24
3.2. Bancada de ensaios presente na emtpm	25
3.2.1. Funcionamento da bancada de ensaio presente na emtpm.....	25
3.2.2. Inconiventes do uso da bancada de ensaio presente na emtpm	26
CAPÍTULO IV – METODOLOGIA DE RESOLUÇÃO DE PROBLEMA	27
4.1. Solução proposta	27
4.1.1. Critério de seleção do dinamómetro	28
4.1.1.1. Decisão do projecto.....	28
4.1.1.2. Escolha do modelo do dinamómetro hidráulico.....	28
4.1.2. Projecção do suporte do dinamómetro.....	30
4.1.3. Circuito hidráulico do dinamómetro.....	33
CAPÍTULO V – APRESENTAÇÃO, ANÁLISE E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS	34
5.1. Viabilidade económica do projecto.....	34
5.1.1. Custo de implementação	34
5.1.2. Comparação do processo actual com o novo processo.....	35
5.1.3. Determinação dos critérios de avaliação econômica do projecto	36
CAPÍTULO VI – CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES.....	38
6.1. Conclusões	38
6.2. Recomendações.....	38
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	39

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 – Fluxos de massa e energia em um MCI [Fonte BRUNETTI, 2012]	5
Figura 2 – Sistema biela-manivela [Fonte MARTINS (2006)].....	6
Figura 3: Sistema pistão-biela-manivela [Fonte Prof. Jorge Nhambiu, Motores térmicos 2020,].....	7
Figura 4: Sistema pistão-biela-manivela [Fonte: BRUNETTI (2013)].....	9
Figura 5: Curva de torque x RPM do motor Briggs & Stratton estacionário 10 HP. [Fonte: Briggs & Stratton (2017)]	10
Figura 6: Classificação dos dinamômetros [Fonte VIANA, 2011]	14
Figura 7: Dinamômetro de Prony [Fonte www.joseclaudio.eng.br]	14
Figura 8: Diagrama esquemático de um dinamômetro Hidráulico [Fonte BURNETTI, 2012].....	17
Figura 9: Exemplo de curvas de potência, torque e consumo do motor [Fonte BURNETTI, 2012].	18
Figura 10: Instalação de um Dinamômetro de Correntes Parasitas [Fonte BURNETTI, 2012].....	19
Figura 11 – Logótipo da Empresa [Fonte EMTPM,2021]	24
Figura 12: Bancada de ensaios presente na EMTP [Fonte Autor, 2022]	25
Figura 13: Bancada de ensaios dinamométricos [Fonte Autor, 2022]	27
Figura 14: Dinamômetro Hidráulico [Fonte Autor, 2022].....	29
Figura 15: Vista Explodida do Dinamométrico Hidráulico [Fonte Autor,2022]	29
Figura 16: Modelo para o suporte [Fonte Autor,2022]	31
Figura 17: Perfil do suporte [Fonte Autor, 2022].....	31
Figura 18: Fluxograma do Circuito Hidráulico do tipo aberto para o Dinamômetro [Fonte Autor,2022]	34

ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 1: Critério de Seleção do Dinamómetro	28
Tabela 2: Custo de implementação do projecto.	34
Tabela 3: Comparação dos dois processos	35
Tabela 4: Fluxo de caixa, Valor actual e Valor actual líquido	36
Tabela 5: Critérios de avaliação económica.....	37

LISTA DE SÍMBOLOS E ACRÓNIMOS

EMTPM	Empresa Municipal dos Transportes Públicos de Maputo
MWM	Motoren Werke Mannheim AG

Símbolo	Descrição	Unidade
θ	Ângulo de rotação da cambota	$[rads]$
Acc	Área da cabeça do cilindro	$[m^2]$
A	Área da secção transversal	$[mm^2]$
Ap	Área do topo do pistão	$[m^2]$
R	Braço de alavanca	$[m]$
Cs	Coefficiente de segurança	
L	Comprimento da biela	$[mm]$
q	Consumo específico de combustível	$[g/kWh]$
S	Curso do êmbolo	$[mm]$
D	Diâmetro do cilindro	$[mm]$
a	Distância entre a cavilha do pistão e o eixo da cambota	$[mm]$
d	Espessura da secção transversal	$[mm]$
F	força	$[N]$
f	Força de atrito	$[N]$
n	Frequência de rotação	$[rpm]$
m_c	Massa de combustível	$[kg]$
I	Momento de inercia da área da secção transversal	$[mm^4]$
PCI	Poder calorífico inferior do combustível	$[kcal/kg]$
PMI	Ponto morto inferior	
PMS	Ponto morto superior	
N	Potência	$[W]$
r	raio da cambota	$[mm]$

r_v	Raio do volante	[mm]
R_{dc}	Relação entre o Diâmetro e o Curso	
A	Superfície da câmara de combustão	[m ²]
d	Tamanho do braço da força	[mm]
ε	Taxa de Compressão	
[σ]	Tensão admissível	[MPa]
[τ]	Tensão admissível de cisalhamento	[MPa]
τ	Tensão de cisalhamento	[MPa]
σ_e	Tensão de escoamento	[MPa]
σ_{max}	Tensão de máxima	[MPa]
T	Torque	[N.m]
τ	Trabalho útil	[kcal]
\dot{m}_c	Vazão mássica do combustível	[kg]
ω	Velocidade de rotação	[rad/s]
V_p	Velocidade instantânea	[m/s]
\bar{V}_p	Velocidade média do pistão	[m/s]
V_c	Volume do cilindro	[m ³]
V	Volume do Cilindro	[m ³]
V_0	Volume do espaço morto	[m ³]

CAPÍTULO I – INTRODUÇÃO

Os meios de transporte são utilizados para os deslocamentos no espaço de pessoas, animais ou mercadorias. Eles se movimentam por meio das redes de transporte, os modais. Elas são de extrema importância para o desenvolvimento econômico de um país.

Em Moçambique a maior parte da população da capital, depende dos transportes públicos para se movimentar e a falta desse meio tem mudado a vida de vários cidadãos que chegam a ficar mais de duas horas à espera de autocarros para chegarem aos postos de trabalho, escolas e outros destinos.

E um dos principais motivos associa-se à deterioração dos autocarros e à demora na sua assistência nas oficinas.

Este trabalho visa projectar uma bancada para ensaios dinamométricos dos motores MWM da série 10, com vista a reduzir o tempo e a qualidade da manutenção dos Autocarros.

1.1. OBJECTIVOS

1.1.1. Objectivo geral

- Projectar uma bancada dinamométrica para ensaiar de forma eficiente os Motores MWM da série 10.

1.1.2. Objectivos específicos

- Melhorar a bancada de ensaios existente na EMTPM;
- Dimensionar um dinamómetro hidráulico para teste de motores MWM da série 10 com eficiência;
- Reduzir o tempo e o custo de trabalho de manutenção dos Motores.

1.2. METODOLOGIA

A elaboração do presente trabalho foi baseada na:

- Colecta de informações e conhecimentos técnico-científico, adquiridos através do intercâmbio entre o Estudante e Técnicos, Operadores dos equipamentos na experiência adquirida ao longo do estágio;
- Sessões de consulta com os supervisores da faculdade, do supervisor do estágio e com alguns trabalhadores da EMTPM;
- Pesquisas individuais nos manuais da empresa e a consultas na internet.

1.3. JUSTIFICATIVA

O presente trabalho visa suprir a necessidade de uma empresa que se dedica no transporte de passageiros e de cargas, aluguer de viaturas, lavagem e a manutenção das mesmas, obedecendo os padrões de segurança, comodidade e fiabilidade. A mesma está em atuação no mercado nacional.

Actualmente a empresa dispõe e utiliza uma bancada de ensaios de motores para o ensaio dos motores após a reparação. Porém a bancada dispõe de um instrumento de medição que se limita na medição da temperatura, nível de óleo e do combustível, excetuado importantes parâmetros geométricos que mostram o desempenho do motor. Como consequência, tem-se a baixa qualidade de manutenção e atrasos no teste devido a insuficiência de informações. A Projectão de uma bancada para ensaios dinamométricos dos motores MWM da série 10 visa buscar um ganho de produtividade e maior qualidade de manutenção. Desta feita tem se como problema de estudo **da morosidade e a qualidade na manutenção dos motores dos autocarros MWM.**

1.4. ESTRUTURA DO TRABALHO

O presente trabalho, está estruturado em 6 capítulos nomeadamente:

- Capítulo II compreende a revisão bibliográfica, onde se apresenta a fundamentação teórica dos motores de combustão interna, bancadas de testes, dinamómetros, sistemas de aquisição de dados, instrumentação, elementos de máquinas e sistemas hidráulicos, abordando aspectos inerentes ao tema em causa;
- Capítulo III compreende a contextualização da investigação e a apresentação da empresa;
- Capítulo IV apresenta a metodologia e resolução do problema onde é feita a escolha e descrição do dinamómetro, calculo projectivo da base que sustenta o dinamómetro e o tipo de sistema hidráulico;
- Capítulo V é apresentado a discussão e análise dos resultados obtidos durante a investigação.
- Capítulo VI apresenta as principais conclusões após a realização do trabalho, bem como as recomendações para trabalhos futuros.

CAPÍTULO II – REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Este capítulo tem por objectivo descrever os aspectos teóricos e conceptuais que formam a base de um processo de coleta de dados para a projecção de uma bancada de ensaios dinamométricos do motor de combustão interna tipo MWM serie 10. Por tanto, será apresentado o contexto histórico da evolução dos motores de combustão interna, definição do motor de combustão interna, bancadas de testes, dinamómetros, sistemas de aquisição de dados, instrumentação, elementos de máquinas e sistemas hidráulicos.

2.1. Contexto histórico da evolução dos motores de combustão interna

Segundo o Prof. Jorge Nhambiu (2020) a teoria fundamental do motor de dois tempos foi estabelecida por Nicolas Léonard Sadi Carnot em 1824, na França, enquanto a patente pelo primeiro motor à combustão interna foi desenvolvida por Samuel Morey em 1826, nos Estados Unidos.

Em 1867, Nicolaus Otto desenvolveu o primeiro motor atmosférico. Logo após, unindo esforços com Gottlieb Daimler e Wilhelm Maybach, desenvolveram o primeiro motor quatro tempos.

Em 1896, Karl Benz patenteara o primeiro motor *boxer*, atualmente utilizado nos veículos Porsche e Subaru, com cilindros opostos horizontalmente.

O engenheiro alemão Rudolf Diesel patenteou um motor à combustão de elevada eficiência, demonstrando-o em 1900. Era um motor movido a óleo de amendoim, cuja tecnologia leva seu nome até hoje: o motor diesel.

Os motores à combustão interna foram convencionados a serem utilizados em automóveis devido as suas ótimas características, como a flexibilidade para rodar em diversas velocidades; potência satisfatória para propulsão de diversos tipos de veículos; e possibilidade de custos reduzidos para produção em massa.

Na primeira metade do século XX, como forma de elevar a potência e a performance dos veículos, houve muitos aprimoramentos em relação ao desenho, número e disposição dos cilindros. Logo surgiram motores de quatro a 12 cilindros (ou até mais), sendo estes organizados em linha ou em "V", de diferentes capacidades.

2.2. Motores de Combustão Interna

Segundo BRUNETTI (2012) os motores de combustão interna (MCI) são máquinas que geram energia mecânica a partir da queima de porções da mistura combustível/ar e da consequente expansão dos gases que ocorre em função da elevação da pressão no interior da câmara de combustão, transformando assim a energia térmica (calor) em trabalho mecânico (Figura 2).

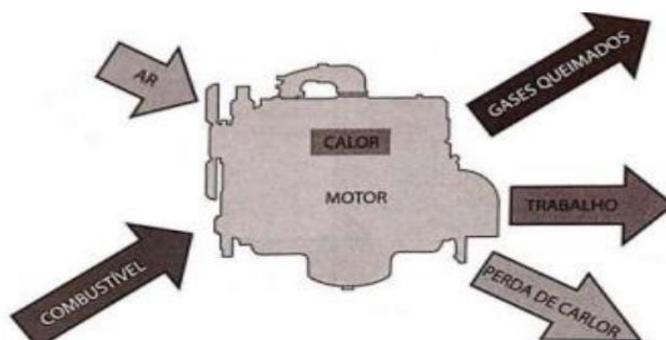


Figura 1 – Fluxos de massa e energia em um MCI [Fonte BRUNETTI, 2012]

Estes motores utilizam o aumento de pressão resultante da combustão da mistura ar-combustível para imprimir um movimento de rotação ao virabrequim do motor. O motor é constituído por um ou mais cilindros, dentro dos quais deslizam pistões ligados a uma manivela pelas bielas. O pistão submetido a elevadas pressões, faz rodar a cambota, ou virabrequim, como visto na Figura 3. Para que o motor não pare durante a etapa de compressão da mistura ar-combustível no cilindro, ou para que não possua um movimento irregular, em uma das extremidades do virabrequim é montado um volante de inércia, que acumula energia cinética.

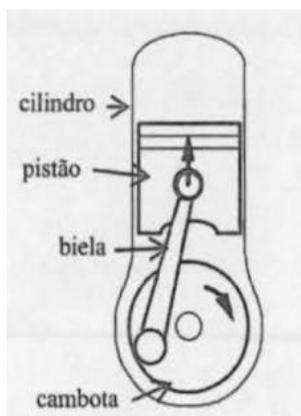


Figura 2 – Sistema biela-manivela [Fonte MARTINS (2006)]

2.2.1. Classificação

Segundo BRUNETTI (2012) os motores de combustão interna classificam-se quanto a diversas características, como:

Utilização

- Estacionários – destinados ao accionamento de máquinas estacionárias que operam em rotações constantes;
- Industriais – destinados ao accionamento de máquinas agrícolas e de construção civil;
- Veiculares – destinados ao accionamento de veículos de transporte em geral;
- Marítimos – destinados ao accionamento de barcos e máquinas de uso naval.

Propriedades dos gases de combustão

- Ciclo Diesel – admissão de ar;
- Ciclo Otto – admissão da mistura ar-combustível.

Fases dos ciclos de trabalho

- Dois tempos;
- Quatro tempos.

Número de cilindros

- Monocilíndricos;
- Policilíndricos.

Disposição dos cilindros

- Em linha;
- Em V;
- Opostos;
- Radiais.

2.2.2. Parâmetros geométricas principais

Segundo o Prof. Jorge Nhambiu (2020) os parâmetros geométricos principais são:

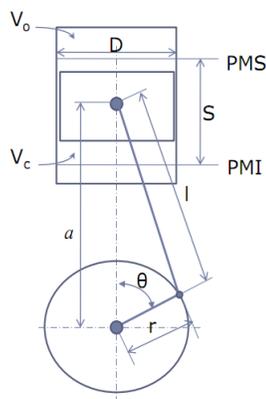


Figura 3: Sistema pistão-biela-manivela [Fonte Prof. Jorge Nhambiu, Motores térmicos 2020,]

Legenda:

D – Diâmetro do cilindro

V_0 – Volume do espaço morto

V_c – Volume do cilindro

S – Curso do êmbolo

L – Comprimento da biela

r – raio da cambota

PMS – Ponto morto superior

PMI – Ponto morto inferior

a – Distância entre a cavilha do pistão e o eixo da cambota

θ – Ângulo de rotação da cambota

Taxa de Compressão

$$\varepsilon = \frac{\text{Volume máximo do cilindro}}{\text{Volume mínimo do cilindro}} = \frac{V_c + V_0}{V_0} = 1 + \frac{V_c}{V_0} \quad (1)$$

Relação entre o Diâmetro e o Curso

$$R_{ac} = \frac{D}{S} \quad (2)$$

Relação entre a Distância da Cavilha ao eixo da Cambota sobre o raio da cambota

$$R = \frac{a}{r} \quad (3)$$

O curso e o raio da cambota estão relacionados por:

$$S = 2.r \quad (4)$$

O Volume do Cilindro para qualquer ângulo da cambota é dado por:

$$V = V_0 + \frac{\pi D^2}{4} (l + r - a) \quad [cm^3] \quad (5)$$

O comprimento a calcula-se de:

$$a = r \cos \theta + (l^2 - r^2 \sin^2 \theta)^{1/2} \quad (6)$$

A Equação (5) pode ser reescrita como:

$$\frac{V}{V_0} = 1 + \frac{1}{2} (\varepsilon - 1) \left[R + 1 - \cos \theta - (R^2 - \sin^2 \theta)^{1/2} \right] \quad (7)$$

A superfície da câmara de combustão para qualquer posição do da cambota é dada por:

$$A = A_{cc} + A_p + \pi D (l + r - a) \quad [m^2] \quad (8)$$

Onde A_{cc} é a área da cabeça do cilindro e A_p a área do topo do pistão. Usando as Equações 6 e 8 pode-se escrever:

$$A = A_{cc} + A_p + \frac{\pi DS}{2} \left[R + 1 - \cos \theta - (R^2 - \sin^2 \theta)^{1/2} \right] \quad (9)$$

A velocidade média do pistão pode-se obter de:

$$\bar{V}_p = 2SN \quad [m/s] \quad (10)$$

Onde: N é a velocidade de rotação da cambota em Rotações Por Segundo

A velocidade instantânea do pistão é dada por:

$$V_p = \frac{ds}{dt} \quad [m/s] \quad (11)$$

A velocidade do pistão é zero no início do curso, atinge o seu máximo perto do meio do curso e decresce até zero no fim do curso. Diferenciando a Equação 4 obtêm-se:

$$\frac{V_p}{V_p} = \frac{\pi}{2} \sin \theta \left[1 + \frac{\cos \theta}{(R^2 - \sin^2 \theta)^{1/2}} \right] \quad (12)$$

2.2.2.1. Torque

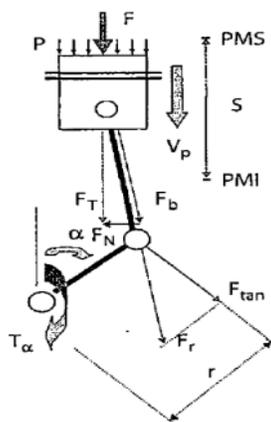


Figura 4: Sistema pistão-biela-manivela [Fonte: BRUNETTI (2013)]

Na figura 4 é visto o sistema pistão-biela-manivela de um motor de combustão interna formando o mecanismo responsável pelo estabelecimento de um momento torsor em seu eixo de manivelas composta pela força F_r e pela força normal F_n . A força F resultante no pistão composta pela força F_r e pela normal F_n transmite-se à biela e desta à manivela, dando origem a uma força tangencial F_{tan} e consequentemente a um momento instantâneo no eixo do motor.

Com o motor em funcionamento, obtêm-se um momento torsor médio positivo, denominado torque (T). Desprezando outros efeitos, a força F aplicada no pistão é função da pressão gerada pela combustão e esta, é função da rotação e da massa de mistura ar combustível disponibilizada para a combustão (carga). Isso faz com que o torque varie com a rotação e a carga.

O valor do torque é proporcional à quantidade de ar que entra no motor em cada ciclo. As baixas rotações, os avanços e atrasos na abertura e fechamento das válvulas de escape e de admissão resultam

em baixo torque, mas com o aumento da velocidade o efeito dinâmico das colunas gasosas ganha importância, permitindo que mais gás seja admitido, atingindo o pico de torque. A partir deste ponto o aumento da rotação implica que as perdas de cargas nos colectores e válvulas invertem esta tendência.

O torque sofre ainda uma redução suplementar por conta do aumento das perdas por atrito. Fazendo com que a curva de torque tenha a forma apresentada na figura 2.5, na qual há um aumento inicial, atingindo um pico, seguido por uma queda com o aumento da velocidade de rotação do motor.

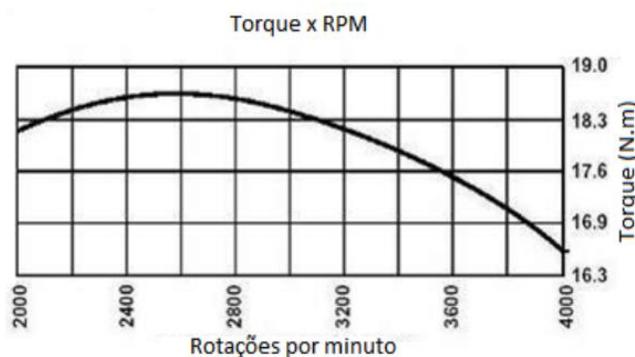


Figura 5: Curva de torque x RPM do motor Briggs & Stratton estacionário 10 HP.

[Fonte: Briggs & Stratton (2017)]

Para medir o torque numa dada rotação é necessário impor ao eixo um momento externo resistente de mesmo valor que o produzido pelo motor. Caso contrário, a rotação irá variar, aumentando ou diminuindo na medida em que o momento tórcor resistente aplicado torna-se menor ou maior que o produzido pelo motor.

2.2.2.2. Potência

A potência N de um motor pode ser definida como a energia útil gerada por unidade de tempo. Como o torque do motor T é a energia gerada numa explosão – movimento de descida do pistão – a potência é, então, proporcional ao binário multiplicado pela rotação do motor. Assim, num teste de motor, medindo-se o valor do torque e a velocidade de rotação é possível obter a potência do mesmo.

$$N = \omega \cdot T \quad (13)$$

2.3. Definição do conceito bancada

Segundo Oriol Planas (2013) a bancada é uma peça geralmente metálica que sustenta as peças de uma máquina elétrica ou mecânica.

De acordo com o dicionário Priberam da Língua Portuguesa (2008-2021) bancada é uma plataforma, geralmente retangular e assente sobre uma estrutura ou móvel, em pedra, aço inoxidável, madeira ou outro material, usada como superfície de trabalho ou de apoio (ex.: **bancada** de oficina; **bancada** de cozinha; **bancada** suspensa com lavatório redondo).

2.4. Bancada de Testes

Segundo Padilha (2007) o uso das bancadas de teste permite recriar comportamentos de uso do motor em condições controladas para calibrar, monitorar e avaliar as características do seu funcionamento. Existem diversos tipos de bancadas de teste disponíveis, e um resumo será apresentado a seguir.

As bancadas podem ser classificadas segundo suas características construtivas e suas capacidades, sendo que a escolha de cada tipo de bancada depende da aplicação para a qual se considerou o uso da bancada. Elas podem ser escolhidas em função de:

Tipo de carga

- Estática – dissipa a potência do motor, de forma controlada ou não, permitindo atingir um valor arbitrário para a velocidade angular do motor, que pode ser variável ou fixa conforme a necessidade. Tipicamente utilizada para testes de calibração e de durabilidade do motor.
- Dinâmica – não dissipa a potência do motor durante o ensaio. Consiste em uma carga inercial que armazena a potência fornecida pelo motor através do aumento da sua energia cinética rotacional. O monitoramento da aceleração angular do motor acoplado à massa inercial fornece uma estimativa para torque do motor. Tipicamente utilizados para avaliação de desempenho do motor.

Tipos de ensaios que podem ser realizados

- Estáticos – com o motor fixado em rotações determinadas, realizando as medições em intervalos de velocidade angular. Permite o levantamento das características estáticas do motor, por exemplo, testes de vazão mássica de ar 18 na admissão, calibração de mapas de injeção, curvas de torque, de potência e consumo específico do motor.
- Dinâmico – permite a avaliação do comportamento do motor durante variações de velocidade angular para avaliar também os transientes de aceleração e desaceleração, permitindo reproduzir condições similares ao uso do motor em veículos.

Duração dos ensaios

- Curtos – típico de calibrações e avaliações de desempenho do motor, onde normalmente o equipamento exige um tempo de espera mínimo entre ensaios para resfriamento.
- Longos – tipicamente utilizados para avaliação de características de durabilidade do motor.

Grau de controle de carga

- Sem controle – a carga imposta ao motor é alterada em função da velocidade angular do conjunto, conforme a característica do equipamento utilizado para dissipar a potência. Parcialmente controlada: a carga imposta ao motor pode ser alterada dentro de limites impostos pelo funcionamento.
- Controlada – permite determinar a carga imposta ao motor, ou a velocidade angular do motor.

Funções de controle oferecidas

- Controle de torque – é aplicado um valor de torque arbitrário, independente da velocidade angular do motor.
- Controle de velocidade – modula o torque aplicado ao motor de forma automática para manter uma velocidade angular constante.

- Reprodução de condições de uso – permite reproduzir as condições reais de uso do motor, incluindo variações climáticas e cargas com rápidas variações de torque.

A escolha da bancada de testes ideal deve ser feita levando em consideração os diferentes tipos de ensaios que se pretende realizar e as características do motor a ser estudado, também deve-se analisar a disponibilidade de recursos de tempo, de capital, de mão-de-obra e de espaço.

2.5. Dinamómetro

Para Viana (2011) dinamómetro em seu significado mais geral é um instrumento usado para medir forças, com base na deformação elástica de uma mola calibrada, no entanto, eles também são conhecidos como dinamómetro ou banco dinamómetro, na indústria automotivo é o equipamento usado para determinar o torque e a potência dos motores usados em veículos.

2.5.1. Classificação

Segundo Viana (2011) os dinamómetros podem ser classificados de acordo com o fluxograma da (Figura 6), na qual se observam diversos modelos de dinamómetros. Sendo assim, estes têm a sua finalidade baseada nos mesmos princípios uns dos outros, ou seja, de realizar a medição de torque e potência. Porém o modo de funcionalidade é o que os difere, como por exemplo, os dinamómetros de fricção, os hidráulicos e os eléctricos, funcionam de modos diferentes, pois todos estes são dinamómetros que podem ser utilizados em motores, ou até mesmo em equipamentos que possuem o eixo principal em um local de fácil acesso ao dinamómetro.

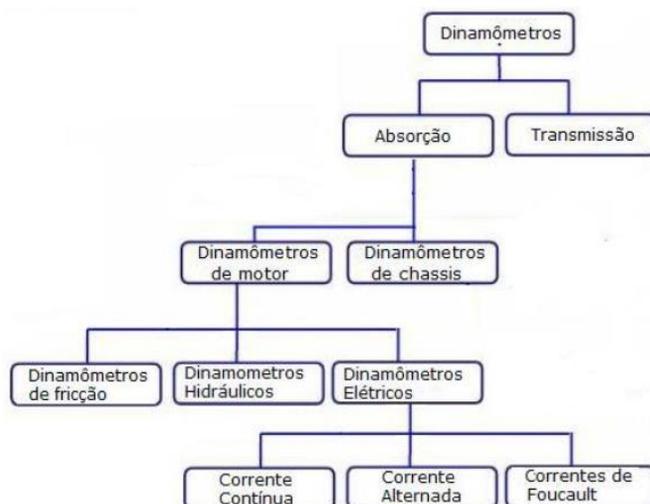


Figura 6: Classificação dos dinamómetros [Fonte VIANA, 2011]

2.5.1.1. Dinamómetros de Fricção

Segundo José Cláudio (2011) o dispositivo mais antigo, utilizado até os dias de hoje, para medir a potência do motor é constituído de um volante circundando por uma cinta conectada a um braço, cuja extremidade se apoia sobre a plataforma de uma balança. O volante, accionado pelo motor, tem o seu movimento restringido pela pressão, aplicada à cinta, que transmite o esforço ao braço apoiado sobre o dinamómetro. A partir das leituras do dinamómetro, calcula-se o esforço despedido pelo motor. Esse dispositivo é conhecido como Freio de Prony (Figura 7).

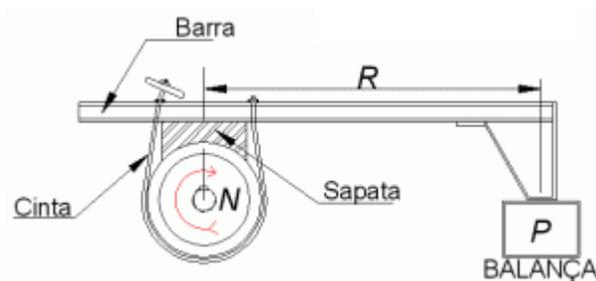


Figura 7: Dinamómetro de Prony [Fonte www.joseclaudio.eng.br]

Onde: $N \rightarrow$ Rotação do motor (em rpm); $R \rightarrow$ Comprimento do braço (em m ou ft) e $P \rightarrow$ Leitura da balança (em lb. ou Kg)

Com os elementos da (Figura 18) e sabendo-se que a periferia do volante percorre, no intervalo de uma rotação, a distância $2\pi r$ contra a força de atrito f , aplicada pela cinta, em cada rotação, tem-se:

$$\text{Trabalho} = 2 \times \pi \times r \times f \quad (14)$$

Onde: $r = \text{raio do volante}$ e $f = \text{força de atrito}$

O conjugado resistente ao atrito é formado pelo produto da leitura P da balança pelo valor do comprimento do braço de alavanca R e será exatamente igual ao produto r vezes f , conjugado que tende a mover o braço. Logo: $r \times f = P \times R$ e, em uma rotação, $\text{Trabalho} = 2 \times \pi \times P \times R$. Se o motor funcionar a $N \text{ rpm}$, o trabalho por minuto será dado por:

$$\tau = 2 \times \pi \times P \times R \times N \quad (15)$$

A expressão acima define a potência desenvolvida pelo motor, que pode ser expressa em HP (Horsepower) ou em CV (Cavalo-vapor), dependendo das unidades empregadas. Assim:

$$HP = \frac{2\pi PRN}{33000} \rightarrow HP = \frac{PRN}{5252}; \text{ Para } P \text{ em libras, } R \text{ em pés e } N \text{ em rpm, ou:} \quad (16)$$

$$CV = \frac{2\pi PRN}{4500} \rightarrow CV = \frac{PRN}{716,2}; \text{ Para } P \text{ em Kg, } R \text{ em metros e } N \text{ em rpm.} \quad (17)$$

As constantes 4.500 e 33.000 são resultantes das definições de CV e HP, que são, respectivamente, a potência necessária para elevar a altura de um metro, em um segundo, uma carga de 75 quilogramas, o que corresponde a $75 \times 60 = 4500$ para transformação em minuto e a potência necessária para elevar a altura de um pé, em um segundo, uma carga de 550 libras, donde $550 \times 60 = 33000$ para transformar em minuto.

O Freio de Prony apresenta vários inconvenientes operacionais, destacando-se o fato de manter a carga constante independente da rotação empregada. Então, se a rotação cai, em virtude do motor não a suportar, a rotação irá diminuir até a parada total do mesmo.

2.5.1.2. Dinamómetro Hidráulico

2.5.1.2.1. Finalidade

O dinamómetro hidráulico é um dispositivo destinado a absorção e medição de potência produzida por uma fonte capaz de accioná-lo, no caso, um motor de combustão interna. Para que funcione, é necessário o suprimento de um fluxo de água contínuo, para absorver a energia mecânica e trocar o calor gerado no processo.

2.5.1.2.2. Aplicação

Os Dinamómetros hidráulicos são construídos para realizar testes de carga em motores automotivos Diesel e a gasolina, mas podem também ser empregados em outras aplicações apropriadas.

2.5.1.2.3. Princípio de Funcionamento

O dinamómetro possui um rotor aletado que gira no interior de uma carcaça com estatores também aletados. A água entra na câmara do rotor axialmente, ao centro. Pela acção centrífuga, a água é acelerada e lançada para a saída, formando um anel no interior da câmara do rotor, que gira com rotação aproximadamente igual a metade da velocidade do disco do rotor. Finalmente, a água sai da câmara do rotor através do bocal situado na parte inferior da carcaça.

A energia mecânica fornecida pelo motor em ensaio é absorvida e convertida em calor por um remoinho que é gerado com a passagem da água entre as aletas do rotor e dos estatores. O calço resultante aplica uma resistência ao movimento de rotação do rotor e tende a girar a carcaça no sentido inverso com igual esforço. Este esforço é transmitido, por meio de um braço, a uma célula de carga instalada a uma distância fixa da linha de centro do dinamómetro.

Em geral, dependendo do tipo de célula de carga utilizada, os dinamómetros hidráulicos são construídos para absorver potência com igual capacidade em ambos os sentidos de rotação.

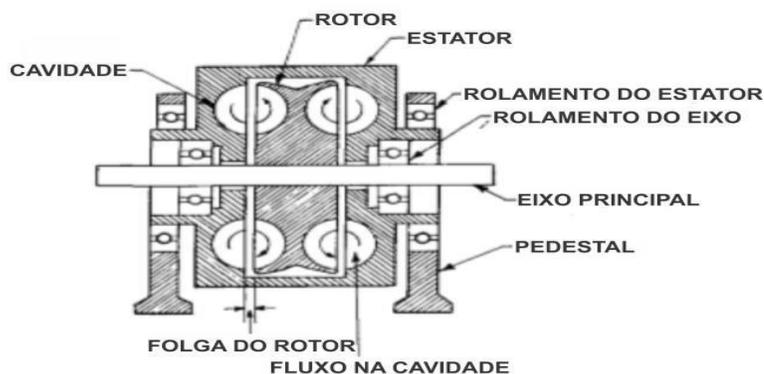


Figura 8: Diagrama esquemático de um dinamómetro Hidráulico [Fonte BURNETTI, 2012]

2.5.1.2.4. Curvas Características

O torque do motor depende directamente do impulso transmitido pelos pistões ao virabrequim. Ele informa, portanto, de modo preciso, sobre o enchimento dos cilindros e sobre a força explosiva da carga aspirada. Ele é representado pelo produto da força e distância:

$$T = F \cdot d \quad (18)$$

Onde: F – força e d – tamanho do braço da força.

A potência de um motor é determinada pela quantidade de trabalho que ele pode fornecer em um segundo, isto é, pelo número de joules por segundo (J/s). Um joule por segundo equivale a um watt (W). Um método prático para o cálculo da potência é a multiplicação do torque e rotação:

$$P = T \cdot n \quad (19)$$

Onde: T = torque e n = rotação

Com o auxílio do medidor instantâneo de vazão mede-se com exatidão o consumo volumétrico do combustível. Sabendo a temperatura e com base em uma fonte de dados (tabelas ou gráficos) obtém-se a densidade, e com esta calcula-se o consumo mássico (g/h).

Para obter o consumo específico de combustível q [g/kWh] divide-se a vazão mássica pela potência medida, podendo assim plotar a curva do consumo específico em função da rotação do motor. Esta curva de consumo informa sobre os regimes económicos do motor.

$$q = \frac{\dot{m}_c}{P} \quad (20)$$

Onde: q – Consumo específico de combustível, \dot{m}_c – vazão mássica do combustível e P – potência do motor.

Como exemplos das curvas características de motores temos na (Figura 20) as curvas de potência, torque e consumo específico.

Normalmente a curva de potência é a mais solicitada, ela é o resultado do torque motor e da velocidade em rpm . Assim, o seu comportamento está intimamente relacionado com suas variações, constata-se que ela atinge o seu máximo a um regime relativamente elevado.

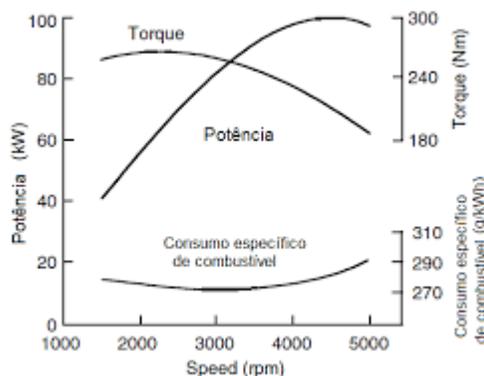


Figura 9: Exemplo de curvas de potência, torque e consumo do motor [Fonte BURNETTI, 2012]

Outra curva que pode ser plotada é a curva do rendimento térmico, ou da eficiência global, que vem a ser a relação entre a energia útil fornecida no eixo pelo motor e a energia disponível no combustível:

$$\eta = \frac{\tau}{m_c \times PCI} = \frac{1}{q \times PCI} \quad (21)$$

Onde:

$\tau =$ trabalho util em [kcal];

$m_c =$ massa de combustível [kg];

$PCI =$ poder calorífico inferior do combustível [kcal/kg] e

$q =$ consumo específico de combustível [g/kWh].

2.5.1.3. Dinamómetro Eléctricos

Os dinamómetros eléctricos podem ser separados em três tipos: os de corrente parasita ou corrente de Foucault, os de corrente alternada ou misto, e ainda os de corrente contínua.

O dinamómetro de correntes parasitas ou de correntes de Foucault (Figura 10) tem o rotor em forma de uma grande engrenagem feita de material de alta permeabilidade magnética. No centro do estator existe uma bobina que é alimentada por corrente contínua.



Figura 10: Instalação de um Dinamómetro de Correntes Parasitas [Fonte BURNETTI, 2012]

Quando energizada, a bobina gera um campo magnético que é concentrado nos “dentes do rotor”. Quando o rotor se move, gera correntes parasitas nos anéis que, portanto, se aquecem.

O calor gerado é absorvido pelo estator e removido deste pela água utilizada como fluido de resfriamento. Esse dinamômetro é bastante simples e regulado pela intensidade de corrente que passa pela bobina. Isso permite a construção de dinamômetros de grande porte.

Os freios de correntes parasitas são máquinas que permitem:

- Realização de testes: cíclicos e rápidos;
- Utilização para o desenvolvimento de motores e componentes;
- Realização de testes com baixo custo de operação.

Há também os dinamômetros mistos ou de corrente alternada que podem funcionar como motor ou como gerador. O campo desse dinamômetro é de excitação independente e, portanto, variando a alimentação de campo e rotor, consegue-se ampla variação de velocidades e de potências absorvidas (BRUNETTI, 2012).

Essas máquinas, quando operando como freio (gerador), permitem que a energia elétrica gerada seja devolvida à rede por meio de uma bancada de tirístores.

E ainda há os dinamômetros de corrente contínua, que possuem o mesmo princípio de funcionamento do dinamômetro corrente alternada. Funcionando tanto como gerador ou como motor e tem a função de frear ou acionar a máquina, por outro lado, é muito volumoso e tem um custo muito alto, por isso estão sendo substituídos por sistemas de corrente alternada (HAICAL, 2009).

2.6. Sistema de aquisição de dados

Para Grant Maloy Smith (2015), quando falamos sobre Data Acquisition, comumente abreviado como DAQ ou DAS, estamos nos referindo ao processo de fazer medições dos fenômenos físicos e registrá-los de alguma maneira para analisá-los. A aquisição de dados é geralmente aceita como distinta das formas anteriores de gravação em gráficos em fita ou papel. Ao contrário desses métodos, os sinais

são convertidos do domínio analógico para o domínio digital e, em seguida, gravados em um meio digital, como ROM, mídia flash ou unidades de disco rígido.

Para Padilha (2007) o sistema de aquisição de dados é responsável por coletar amostras das variáveis de funcionamento do motor e do ambiente que o cerca, além de armazenar esses valores de tal forma que seja possível proceder à análise posterior desses 23 valores. Atualmente, tais sistemas são baseados em placas de aquisição micro controladas, que realizam a aquisição e a conversão dos dados para o formato binário, armazenando os dados na forma digital, pela facilidade de análise posterior.

De acordo com suas características os sistemas de aquisição de dados podem ser qualificados, de acordo com:

- A portabilidade do equipamento – determinada principalmente pelas dimensões físicas dos equipamentos de aquisição e armazenamento;
- O armazenamento de dados – o armazenamento ser realizado num dispositivo de armazenamento de massa, como cartões de memória, ou diretamente num computador;
- O número de canais de entrada – os canais são definidos como as variáveis que podem ser medidas simultaneamente, e as variáveis podem ser do tipo analógico ou digital;
- A frequência de amostragem – o número de amostras coletadas por segundo, determina a frequência de sinal que pode ser detectada pelo sistema de aquisição.

Sistemas de aquisição de dados são passíveis a limitações na quantidade e qualidade das grandezas que podem medir:

- Os valores recebidos pela placa são convertidos para o formato digital, tornando-os suscetíveis a possíveis erros de conversão de valores;
- Os sensores, assim como a placa de aquisição, conseguem apenas captar sinais de baixa frequência, atuando como filtro passa-baixas;
- O espaço de memória disponível limita o número de amostras consecutivas que podem ser armazenadas.

Para definir as características que o sistema de aquisição deverá atender, do ponto de vista de implementação, é importante ponderar entre a fidelidade e quantidade de dados a coletar, e os recursos disponíveis para a instalação de tal sistema.

2.7. Instrumentação

Braga, A. e Braga, C. (2016) definem a instrumentação como sendo o conjunto de equipamentos (sensores, transmissores, e *hardware/software* para procedimento de validação) que possibilitam a medição, monitoração e controle de variáveis de processo, propriedades físicas e composições dentro de um processo industrial. Os instrumentos de medição são divididos quanto as suas classes de aplicação:

- Monitoração – algumas aplicações de instrumentos de medida possuem a simples função de monitoração da variável medida, ou seja, suas medidas não são utilizadas para controle.
- Análise Experimental de Engenharia – refere-se às aplicações onde a medição fornecida por algum instrumento tem uso destinado à uma análise pós-medição, para determinação de algum parâmetro, modelo e/ou validação do.
- Controle de Processos – o caso mais clássico, com o qual engenheiros e técnicos trabalham no dia a dia, relaciona-se à especificação de instrumentos de medida como elementos de uma malha de controle.

Tratando-se da aplicação de instrumentos de medição em projetos, é importante identificar em qual das classes de aplicação os equipamentos estarão inseridos, a partir desta definição busca-se os instrumentos adequados para o uso.

2.8. Elementos de máquinas

Segundo Abecom (2021) elemento de máquina é uma unidade que, em conjunto com outros componentes, formam sistemas elementares em uma máquina ou um mecanismo. Portanto, todo mecanismo ou máquina é composto por uma determinada quantidade de itens. Este número pode ser maior ou menor, a depender da complexidade de projeto.

2.8.1. Classificação

✚ **Elementos de propósitos gerais** – são elementos comuns à maioria das máquinas.

Divididos em três grupos:

- Elementos de fixação – conectam partes das máquinas e as mantêm unidas, como parafusos, porcas, rebites, etc.
- Elementos de transmissão – são os mais importantes, pois sem eles as máquinas não realizam trabalho. Exemplos deles são rolamentos, correias de transmissão, engrenagem, acoplamentos, eixos, correntes industriais etc.
- Elementos de apoio – dão suporte às máquinas ou a partes delas, como bases das carcaças, pés de apoio e mancais.

✚ **Elementos especiais** – são elementos específicos para um tipo de máquina, como as pás em ventiladores e os pistões em motores de combustão.

2.9. Sistemas hidráulicos

Para Linsingen (2003), um sistema hidráulico é um conjunto de elementos físicos convenientemente associados que, utilizando um fluido como meio de transferência de energia, permite a transmissão e controle de forças e movimentos. O autor reforça que é o meio através do qual uma forma de energia de entrada é convertida e condicionada, tendo como saída energia mecânica.

Conforme Serrano (2007), a maior evolução no controle dos sistemas hidráulicos ocorreu no século passado particularmente na segunda guerra mundial. Assim, este sistema foi evoluindo em diversas áreas como agricultura, transporte, aviação, náutica, máquinas para movimento de terra e máquinas de ensaios de fadiga.

CAPÍTULO III – CONTEXTUALIZAÇÃO DA INVESTIGAÇÃO

3.1. APRESENTAÇÃO DA EMPRESA



Figura 11 – Logótipo da Empresa [Fonte EMTPM,2021]

EMTPM é sem dúvidas uma das maiores e mais antiga empresa de transporte em Moçambique, criada pelo decreto 7/96, de 20 de março, com um capital estatutário de **6.600,00 mil meticais** e tem por objectivo central o transporte coletivo de passageiros.

3.1.1. Localização

A Empresa Municipal dos Transportes Públicos de Maputo encontra-se localizada na Av. Filipe Samuel Magaia 1100 Maputo.

3.1.2. Visão

Ser a melhor opção no grupo de empresas de transportes colectivo de passageiros, com melhores tempos e custos do mercado, comprometidos com a qualidade em processo de melhoria contínua sem pôr em causa a segurança rodoviária e o meio ambiente.

3.1.3. Principais actividades desempenhadas pela empresa

A seguir estão listadas as actividades realizadas pela empresa:

- Transporte de passageiros e cargas;
- Aluguer de viaturas para entidades singulares bem como instituições privadas;
- Escola de condução;

- Lavagem de viaturas e;
- Manutenção.

3.2. BANCADA DE ENSAIOS PRESENTE NA EMTPM

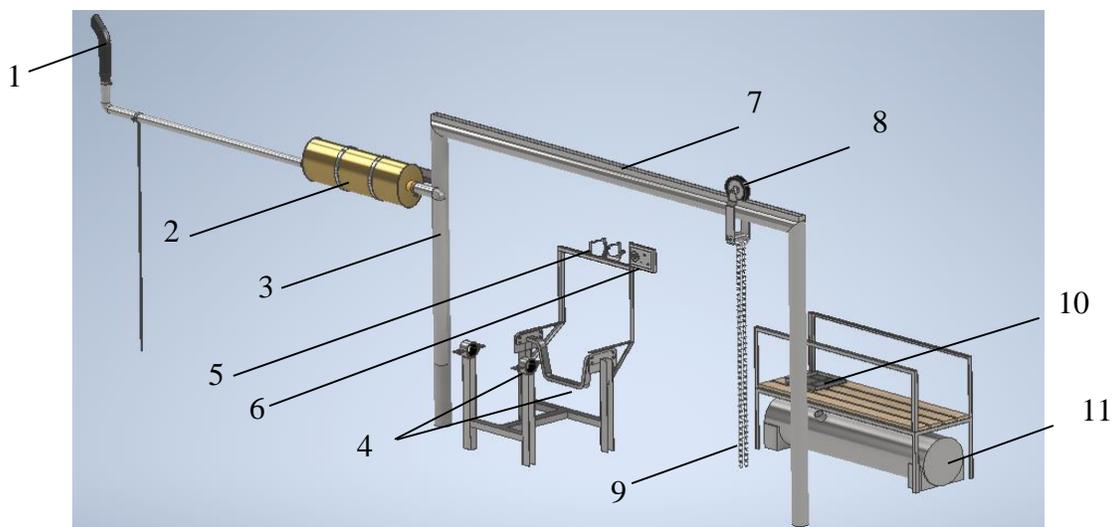


Figura 12: Bancada de ensaios presente na EMTP [Fonte Autor, 2022]

Legenda: 1 – Chaminé, 2 – Silenciador, 3 – Tubo flexível, 4 – Bancada do motor, 5 – Base do reservatório de água, 6 – Painel, 7 – Estrutura para o transporte do motor, 8 – Polia móvel, 9 – Corrente, 10 – Base das baterias , 11 – Reservatório de combustível.

3.2.1. Funcionamento da bancada de ensaio presente na EMTPM

O motor MWM serie 10 é colocado na bancada por intermedio de uma estrutura de transporte, por sua vez são ligados ao motor os sistemas de alimentação, arrefecimento e escape. O arranque é dado por um botão que se encontra no painel elemento que permite controlar a temperatura do liquido de arrefecimento, nível do combustível, frequência de rotação e outros parâmetros que podem ser lidos no autocarro.

3.2.2. Inconiventes do uso da bancada de ensaio presente na EMTPM

A bancada de ensaio presente na EMTPM não oferece parâmetros suficientes para o diagnóstico preciso de um problema.

Depois da reparação ou manutenção é difícil avaliar se o trabalho foi feito com o nível de qualidade desejado.

Morosidade ou a impossibilidade de detetar as falhas de funcionamento.

CAPÍTULO IV – METODOLOGIA DE RESOLUÇÃO DE PROBLEMA

4.1. SOLUÇÃO PROPOSTA

Com base nos inconvenientes existentes na bancada de ensaios presente na EMTPM, propõe-se a utilização de um dinamómetro hidráulico na bancada de ensaios presente na EMTPM.

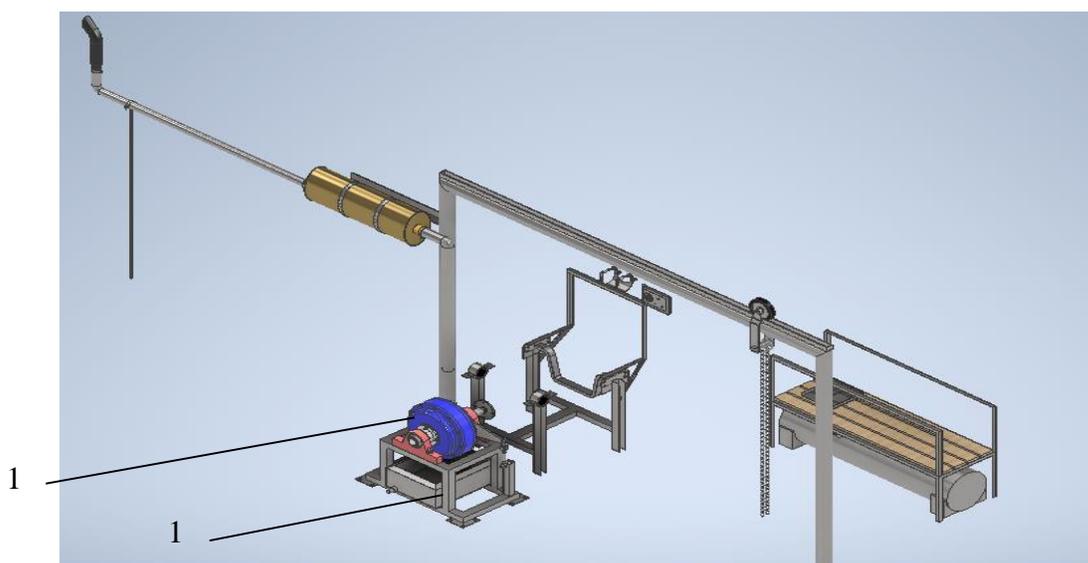


Figura 13: Bancada de ensaios dinamométricos [Fonte Autor, 2022]

Legenda: 1 – Dinamómetro Hidráulico, 2 – Suporte do dinamómetro.

A bancada de ensaios dinamométricos para além de detetar falhas no funcionamento dos motores permite avaliar se os trabalhos de reparação foram feitos com a qualidade desejada, vantagem que permite reduzir o tempo de manutenção dos autocarros e impedir a saída dos mesmos em péssimas condições de funcionamento.

Para solucionar o seguinte problema, executou-se os seguintes passos:

- Escolha do tipo e do modelo do dinamómetro;
- Projectação do suporte do dinamómetro;
- Escolha do sistema hidráulico e;

- Por fim a seleção dos equipamentos/ instrumentos auxiliares.

4.1.1. CRITÉRIO DE SELEÇÃO DO DINAMÓMETRO

Tabela 1: Critério de Seleção do Dinamómetro

Critério de seleção	Tipo de Freio Dinamométrico		
	Fricção	Hidráulico	Elétricos
Aplicações	Manutenção e Controle de Qualidade	Projeto, Manutenção, Controle de Qualidade.	Projeto, Manutenção, Controle de Qualidade e P&D.
Custo	Baixo	Baixo	Elevado
Vantagens	Barato, fornecem binário máximo desde a velocidade inicial.	Rápida resposta, robusto, tolerante a sobrecargas, possível automação do controlo.	Rápida resposta, fácil controlo eletrónico, serve como motor, não necessita de arrefecimento.
Desvantagens	Manter a carga constante independente da rotação empregada	Problemas de cavitação, corrosão e mau funcionamento em velocidades baixas	Custo elevado, inércia elevada

4.1.1.1. Decisão do projecto

Baseado no quadro apresentado acima e no escasso espaço físico disponível na secção de ensaios de motores MWM o projeto será desenvolvido utilizando o freio hidráulico. Essa escolha é adotada porque é a de menor custo de fabricação, montagem, instalação, de manutenção e operação mais simples.

4.1.1.2. Escolha do modelo do Dinamómetro Hidráulico

A escolha do dinamómetro foi feita com base nos seguintes critérios:

- Potencia mínima e máxima a transmitir;
- Dimensões gabaritos;
- Comprimento do braço de torque;
- Comprimento do braço de calibração e o;
- Custo.

Escolhe-se o dinamómetro Hidráulico DH – 600

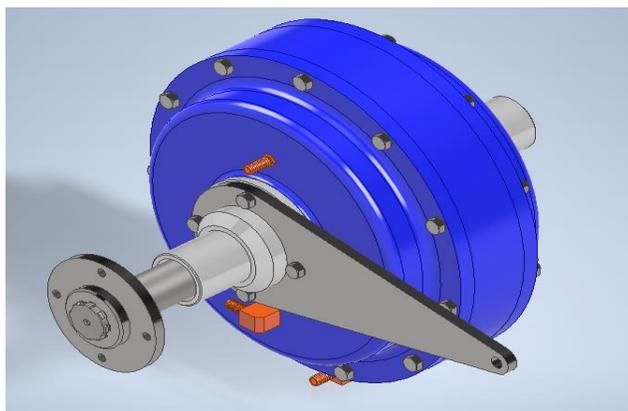


Figura 14: Dinamómetro Hidráulico [Fonte Autor, 2022]

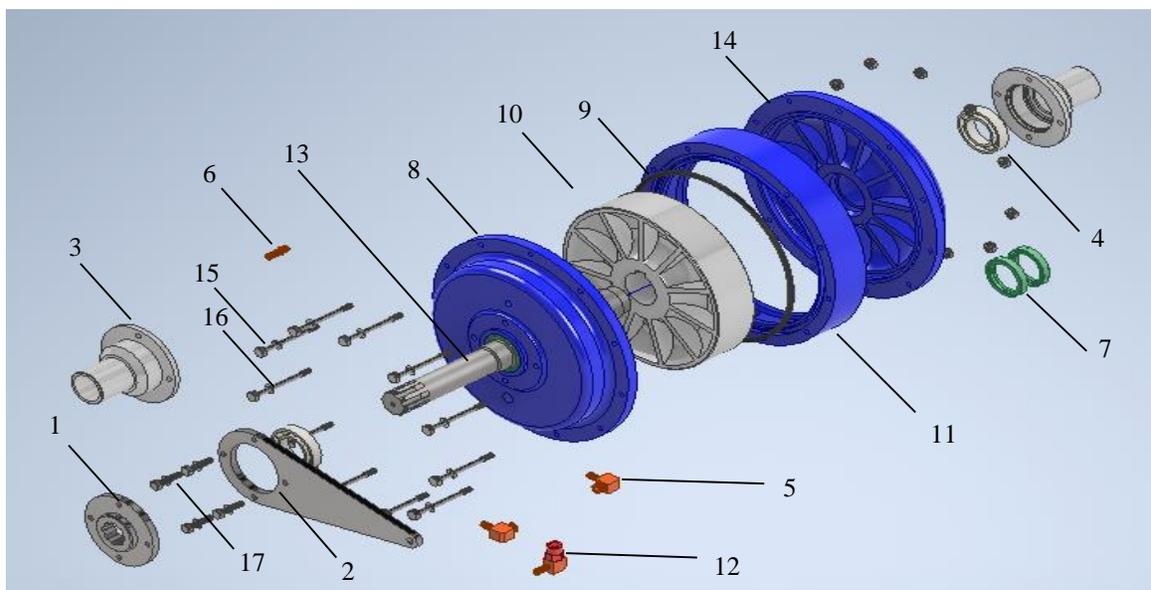


Figura 15: Vista Explodida do Dinamómetro Hidráulico [Fonte Autor, 2022]

O dinamómetro hidráulico DH-600 é composto basicamente de:

- 1) Flange de Conexão com o acoplamento rígido cubo-dinamómetro
- 2) Alavanca
- 3) Mancal do tipo “Trunnion”
- 4) Rolamento
- 5) Conector de Mangueira angulado ½”
- 6) Conector reto – “Vent”
- 7) Retentor
- 8) Tampa Frontal da Carcaça
- 9) Anel de vedação
- 10) Rotor (Impelidor)
- 11) Carcaça Intermediária
- 12) Niple
- 13) Veio da Máquina
- 14) Tampa Traseira da Carcaça
- 15) Parafusos de Cabeça Sextavada M8
- 16) Anilhas
- 17) Parafusos Allen M8

4.1.2. PROJECCÃO DO SUPORTE DO DINAMÓMETRO

O suporte é o elemento onde será fixado o freio dinamométrico. Ele é composto por tubos de seção quadrada 100x100x4 mm. É dotado de furos para fixação dos mancais de apoio da máquina e também para a fixação da célula de carga.

Para fabricação dos suportes, basta que os tubos sejam cortados e soldados, existem também chapas soldadas na base dos suportes, de modo a fixá-los ao piso do local de ensaio. O freio deve ser fixado ao solo, pois o torque aplicado ao freio faria com que os suportes tendessem a girar, como se fossem propriamente o motor. Existem também cantoneiras, nas posições de soldas entre os tubos, para conferir resistência extra às deflexões do problema.

A seguir, o modelo para o suporte do freio dinamométrico:

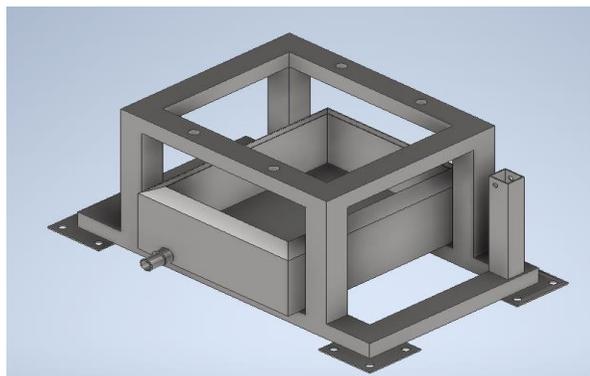


Figura 16: Modelo para o suporte [Fonte Autor,2022]

O dimensionamento da estrutura foi feito com base na aplicação prática. Ela deve suportar furos, tantos os de projeto quanto os furos para adaptações futuras, e possuir área suficiente para a execução das soldas existentes nas diversas juntas. Para isso, as barras possuirão um perfil quadrado de seção oca conforme a (Figura 17).

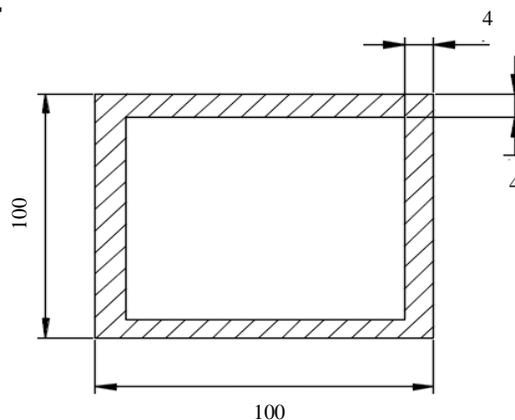


Figura 17: Perfil do suporte [Fonte Autor, 2022]

Para esta seção escolhida foi feito o cálculo da força máxima em um local de distância máxima entre apoios. A inércia da seção é calculada da seguinte maneira:

Área de secção transversal:

$$A = (C \times L) - (c \times l) = (100 \times 100) - (96 \times 96) = 784 \text{ mm}^2$$

Cálculo do momento de inércia:

$$I = 2 \times \left(\frac{0.1 \times 0.004^3}{12} + 0.1 \times 0.004 \times 0.05^2 + \frac{0.004 \times 0.096^3}{12} \right) = 2.36 \times 10^{-6} \text{ mm}^4$$

Considerando o material aço A-36 e um fator de segurança igual a dois, encontramos a força máxima a ser suportada pela barra:

$$M = \frac{F}{2} \times \frac{0.500}{2} = 0.125 \times F$$

$$\frac{\sigma_e}{FS} = \frac{M \times y}{I} \rightarrow \frac{200 \times 10^6}{2} = \frac{0.125 \times F \times 0.02}{2.36 \times 10^{-6}} \rightarrow F = 90.4 \text{ kN}$$

Com o resultado obtido podemos perceber que a estrutura suportará bem as exigências de esforços.

Tensão de esmagamento no furo

Refere-se a área teórica projetada de contacto com o dinamómetro, e é dada pela Equação (22).

$$A = d \cdot t \quad (22)$$

$$A = 100 \times 16 = 1600 \text{ mm}^2$$

A projecção da região de contacto entre o dinamómetro e o furo, onde d é o diâmetro do eixo ou do furo e t a largura da região de contacto.

Determinação da tensão de esmagamento

$$\sigma_{esm} = F/I/A \quad (13)$$

$$\sigma_{esm} = \frac{90400}{1600} = 56.5 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{adm} > \sigma_{esm} \rightarrow \text{O elemento resiste ao esmagamento.}$$

Para determinar a resistência da soldadura da barra de suporte conforme Figura 16, considerou-se como a região mais crítica de solda.

Utilizou-se a área de solda dos cordões. Projetou-se com material ASTM A36, onde tensão de escoamento é de 250 MPa, resistência a tração de 400 MPa e a tensão de cisalhamento pelo critério de Tresca (metade da tensão de escoamento) é de 125 MPa.

$$[\tau] = \frac{\sigma_e}{cs} = \frac{250}{1.8} = 138.89 \text{ MPa}$$

Tensão de cisalhamento

Determinou-se a tensão de cisalhamento no cordão de soldadura da junta em T, considerando todo o contorno da solda através da fórmula (14).

$$\tau_{cis} = \frac{F_l}{A} = \frac{F_l}{0.707 \times h \times l} \quad (23)$$

Onde: h é a medida da garganta e l é o perímetro do contorno do cordão de soldadura.

$$\tau_{cis} = \frac{F_l}{0.707 \times h \times l} = \frac{90400}{0.707 \times 4 \times 523} = 61.12 \text{ MPa}$$

$[\tau] \geq \tau_{cis}$ **o cordão de soldadura resiste ao cisalhamento.**

4.1.3. CIRCUITO HIDRÁULICO DO DINAMÔMETRO

O circuito hidráulico do dinamômetro pode assumir duas configurações básicas:

- Circuito aberto;
- Circuito fechado.

O circuito aberto é aquele no qual a água que circula pelo sistema é descartada após a passagem pelos freios dinamométricos. Esta construção é a de menor custo de implementação, uma vez que não necessita de equipamentos para acondicionamento da água do sistema. A utilização de um tanque de armazenamento para esta construção é facultativa. Entretanto, como precisamos de pressão estável na entrada dos freios, é necessária a utilização de bomba e regulador de pressão na linha. Para o caso de utilização de tanque de armazenamento ou caixa d'água, a altura de carga deverá ser suficiente para que a pressão na máquina se mantenha estável. A água na saída do dinamômetro deverá ser descartada.

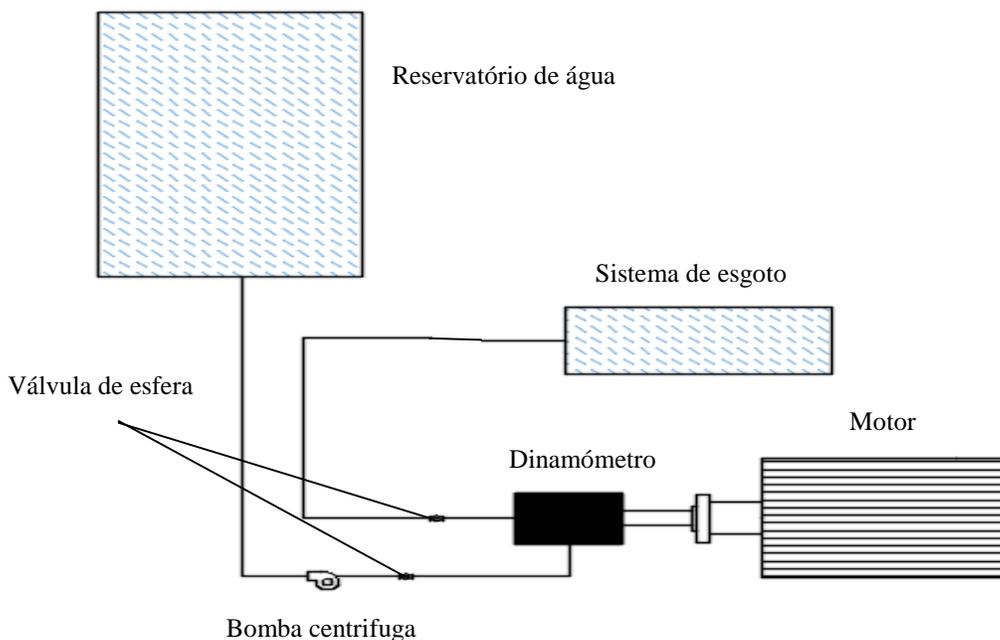


Figura 18: Fluxograma do Circuito Hidráulico do tipo aberto para o Dinamómetro [Fonte Autor,2022]

CAPÍTULO V – APRESENTAÇÃO, ANÁLISE E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

5.1. VIABILIDADE ECONÓMICA DO PROJECTO

Além dos benefícios da implementação do dinamómetro hidráulico a bancada, existem custos envolvidos. Então é necessário fazer uma análise numa perspetiva econômica.

5.1.1. Custo de implementação

Para fazer a análise da viabilidade econômica é necessário determinar o custo de implementação do projecto. Parte dos materiais e mão de obra necessária para implementação do projecto encontra-se disponível na empresa, alguns materiais serão adquiridos nas ferragens nacionais e outros materiais serão adquiridos por encomenda. Na tabela abaixo são apresentados os materiais a serem adquiridos.

Tabela 2: Custo de implementação do projecto.

Designação	Quantidades	Preço Unitário	Valor
------------	-------------	----------------	-------

Tubos de aço 80x80x6000		2	2,600.00 MZN	5,200.00 MZN
Tubos de aço Ø 40x6000mm		2	1,000.00 MZN	1,000.00 MZN
Chapas de aço 500x500x7mm		1	1,240.00 MZN	1,240.00 MZN
Dinamómetro Hidráulico DH-600		1	127,660.00 MZN	127,660.00 MZN
Célula de carga CSA – 100		1	18,357.67 MZN	18,357.67 MZN
Válvula de esfera		2	550.00 MZN	1,100.00 MZN
Conectores	Reto	8	600 MZN	4800 MZN
	Cotovelo			
Bomba Centrífuga		1	39,881.00 MZN	39,881.00 MZN
Total				199,238.67 MZN

5.1.2. Comparação do processo actual com o novo processo

Nesta etapa do projecto será feita uma análise comparativa inerente ao processo actual e o novo processo, de modo a obter diferenças de custos e tempos resultante.

Tabela 3: Comparação dos dois processos

	Bancada de ensaio	Bancada de ensaio dinamométrico
Custo de implementação	24,000.00 MZN	199,238.67 MZN
Tempo de manutenção	Elevado	Baixo
Controle de qualidade	Não é Aplicável	Aplicável
Custo de manutenção	Elevado	Baixo

Com o uso da bancada dinamométrica é notório a redução do tempo de operação da manutenção dos motores, que por sua vez diminui o tempo de indisponibilidade dos autocarros aumentando desta forma a produtividade. Também é notório que atualmente consegue-se controlar a qualidade de manutenção, que permite por sua vez o aumento da longevidade dos equipamentos.

5.1.3. Determinação dos critérios de avaliação econômica do projecto

Considerando uma taxa de inflação de 7.25%, um período de análise de 8 semanas (2 meses) e taxa de juros de 13.25% obteve – se os resultados apresentados na tabela abaixo.

Tabela 4: Fluxo de caixa, Valor actual e Valor actual líquido

Período (Semanal)	Fluxo de caixa (MZN)	Valor Actual (MZN)	Valor Actual Líquido (MZN)
0	-199,238.67	-199,238.67	-199,238.67
1	31920	28,185.43	-171,053.24
2	51480	40,138.59	-130,914.65
3	68640	47,256.62	-83,658.03
4	94380	57,375.59	-26,282.45
5	137280	73,691.30	47,408.85
6	163020	77,270.13	124,678.98
7	188760	79,002.80	203,681.78
8	214500	79,272.33	282,954.11

Tabela 5: Critérios de avaliação económica.

Indicadores económicos	
Valor Actual Líquido (VAL)	282,954.11 MZN
Período de Retorno do Investimento (PRI)	1 mês
Taxa Interna de Retorno (TIR)	36%
Índice de Rentabilidade (IR)	2.42

Com base nesses resultados conclui-se que o projecto é economicamente viável, com período de retorno de investimento de 4 semanas (1 mês) e valor líquido de depois de 282,954.11 MZN.

CAPÍTULO VI – CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

6.1. CONCLUSÕES

Face ao que foi apresentado na secção anterior, foi possível melhorar a bancada de ensaios existente na EMTPM, dimensionando o dinamómetro hidráulico DH-600 para testar os motores MWM de série 10 com eficiência, reduzindo desta forma o tempo de manutenção e os inconvenientes que bancada existente na Empresa Municipal dos Transportes Públicos de Maputo (EMTPM) apresenta.

Foi também realizado o estudo económico que prevê que o sistema é economicamente viável e que o valor investido poderá ser recuperado após 1 meses de funcionamento da bancada dinamométrica.

Com a prática das actividades realizadas durante o estágio foi possível estabelecer contacto com a actividade e organização duma empresa, bem como, desenvolver habilidades profissionais para a aplicação em trabalhos de engenharia e vida profissional.

6.2. RECOMENDAÇÕES

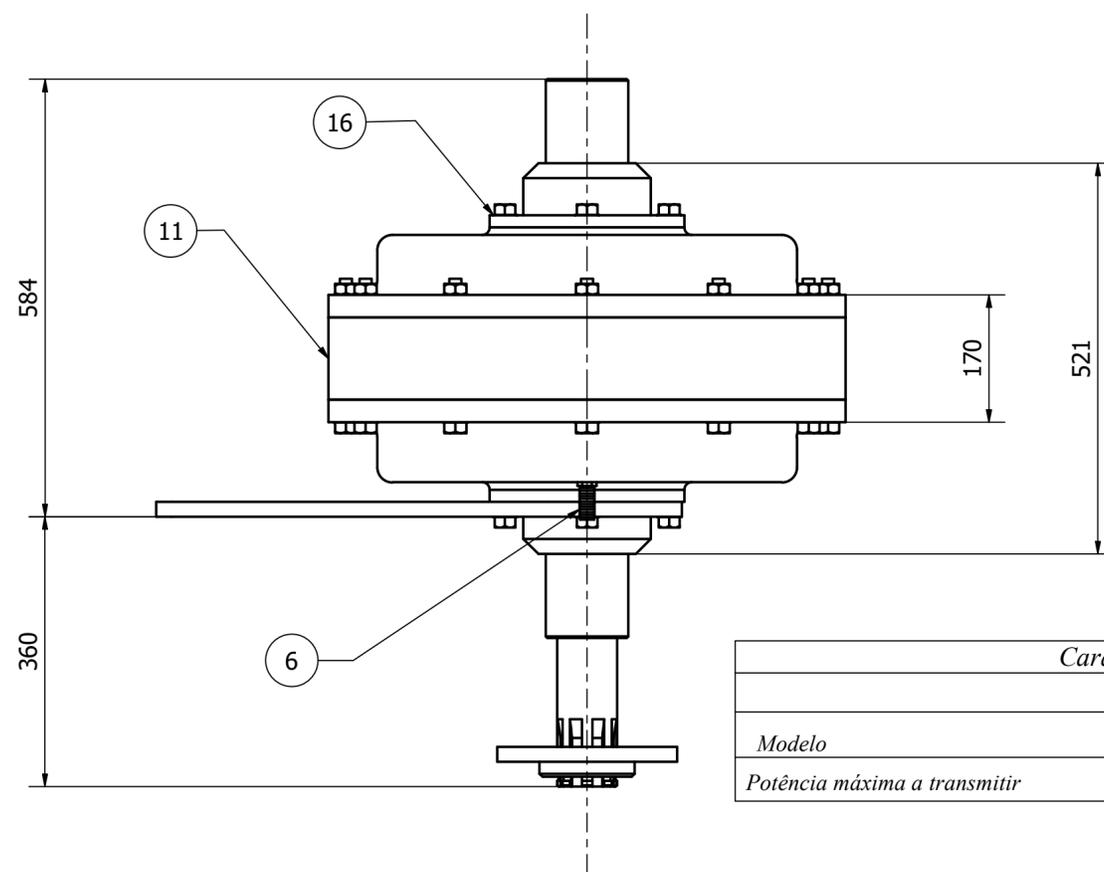
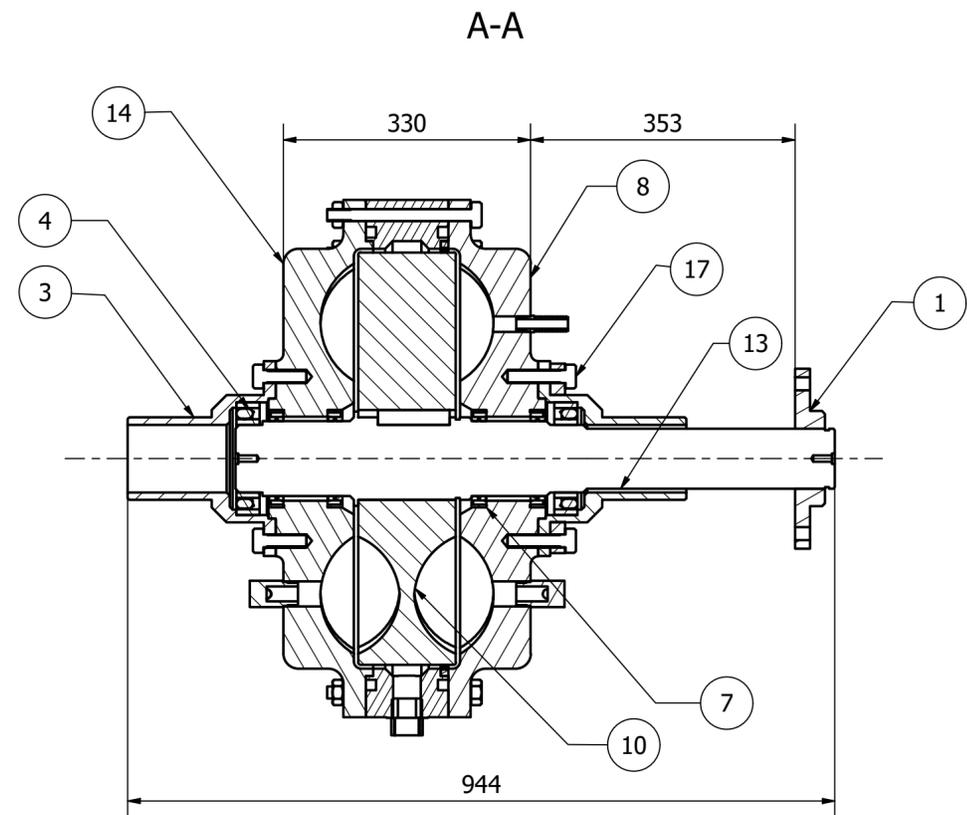
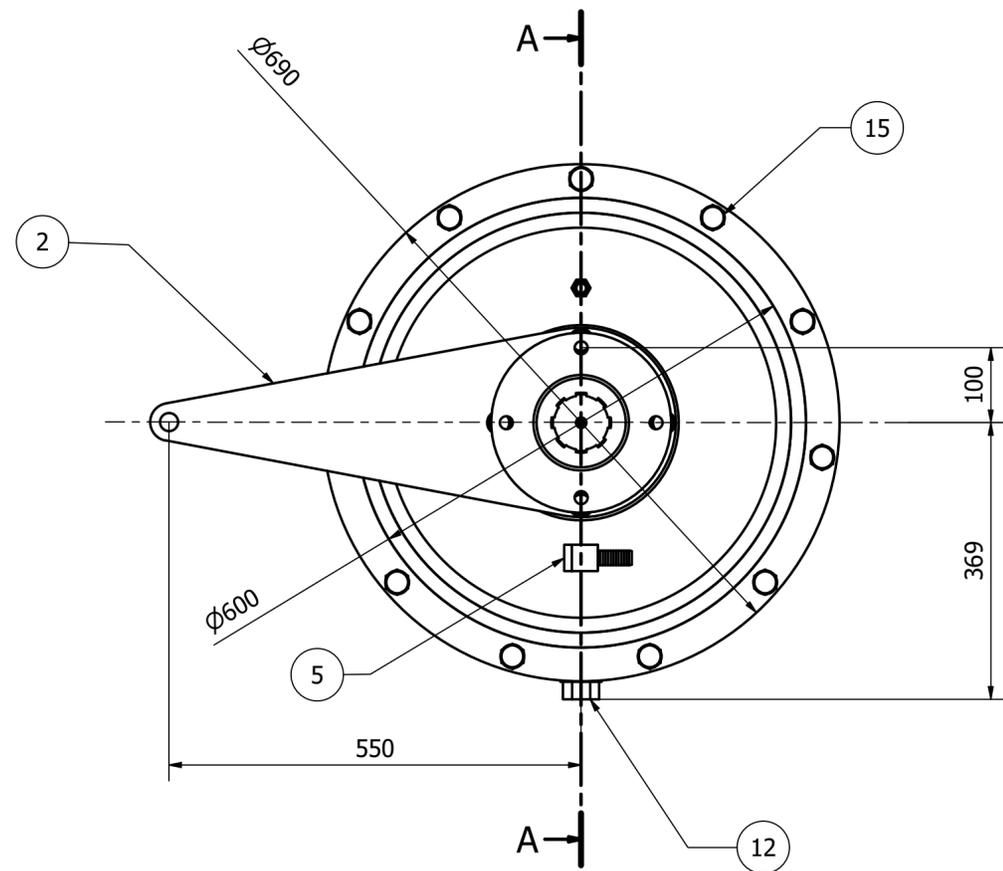
Para aumentar o tempo de vida útil dos motores MWM e garantir melhor desempenho e segurança no sector de trabalho recomenda-se:

- Uso de equipamentos apropriados, para deteção de erros e para verificar o estado de funcionamento dos motores;
- Fazer a reparação do motor numa bancada de testes segundo a recomendação do fabricante.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] BRUNETTI, F. *Motores de combustão interna*. Vol. 1. São Paulo. Blucher, 2012;
- [2] PROF. JORGE NHAMBIU. *Motores térmicos (2020)*;
- [3] HEYWOOD, JOHN B. *Internal combustion engine fundamentals*. Mc Graw Hill, 1989, Estados Unidos de América;
- [4] CLÁUDIO, José. *Dinamômetros*. Disponível em: <http://www.joseclaudio.eng.br/dinos1.html>;
- [5] HIBBELER, R. C. *Resistência dos Materiais*. 7. Ed. Pearson Prentice Hall, 2010;
- [6] MWM INTERNATIONAL. *Manual de Oficina Série 10*.
- [7] HAICAL, R. *Desenvolvimento de um Sistema de Controle de Dinamômetro para Testes de Motores de Combustão Interna*. 2009
- [8] PEREIRA, J. *Dinamômetros Hidráulicos*. 1999. Disponível em: <http://www.perfectum.eng.br/PDF/dinos>;
- [9] PRIETO, R. *Freios Hidráulicos*. 1 ed. São Paulo: SENAI-SP, 2014;
- [10] Catálogo 2014. Tubos e Chapas.

ANEXOS

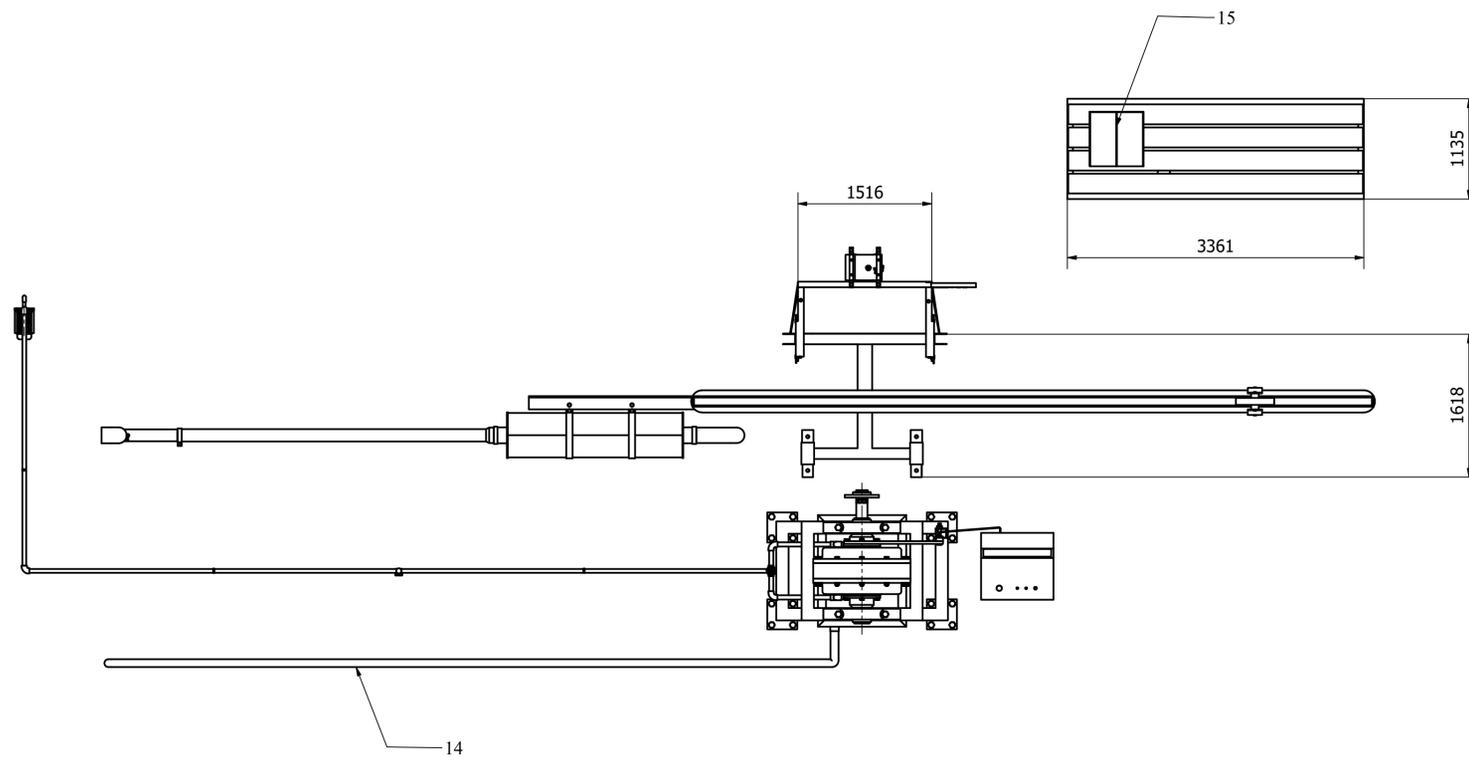
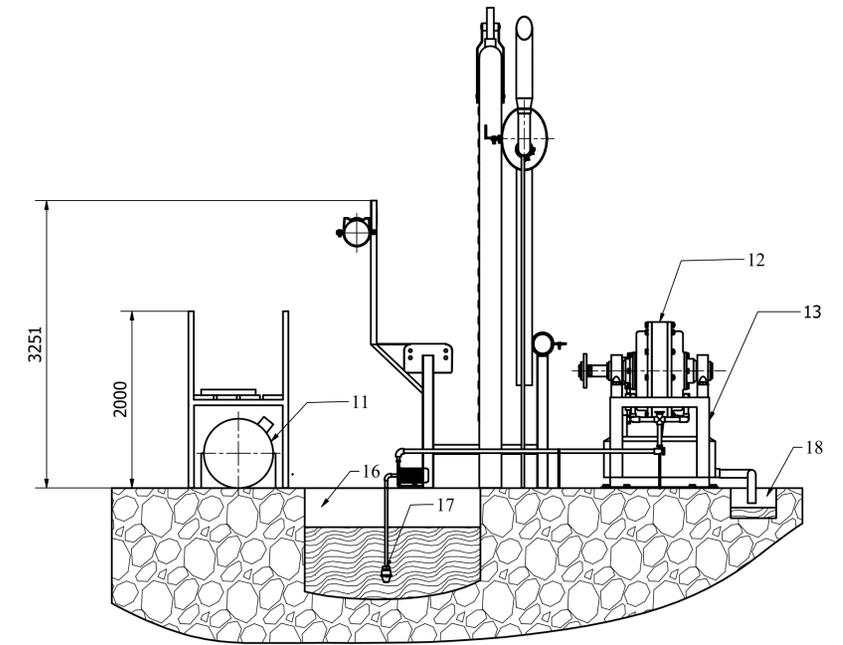
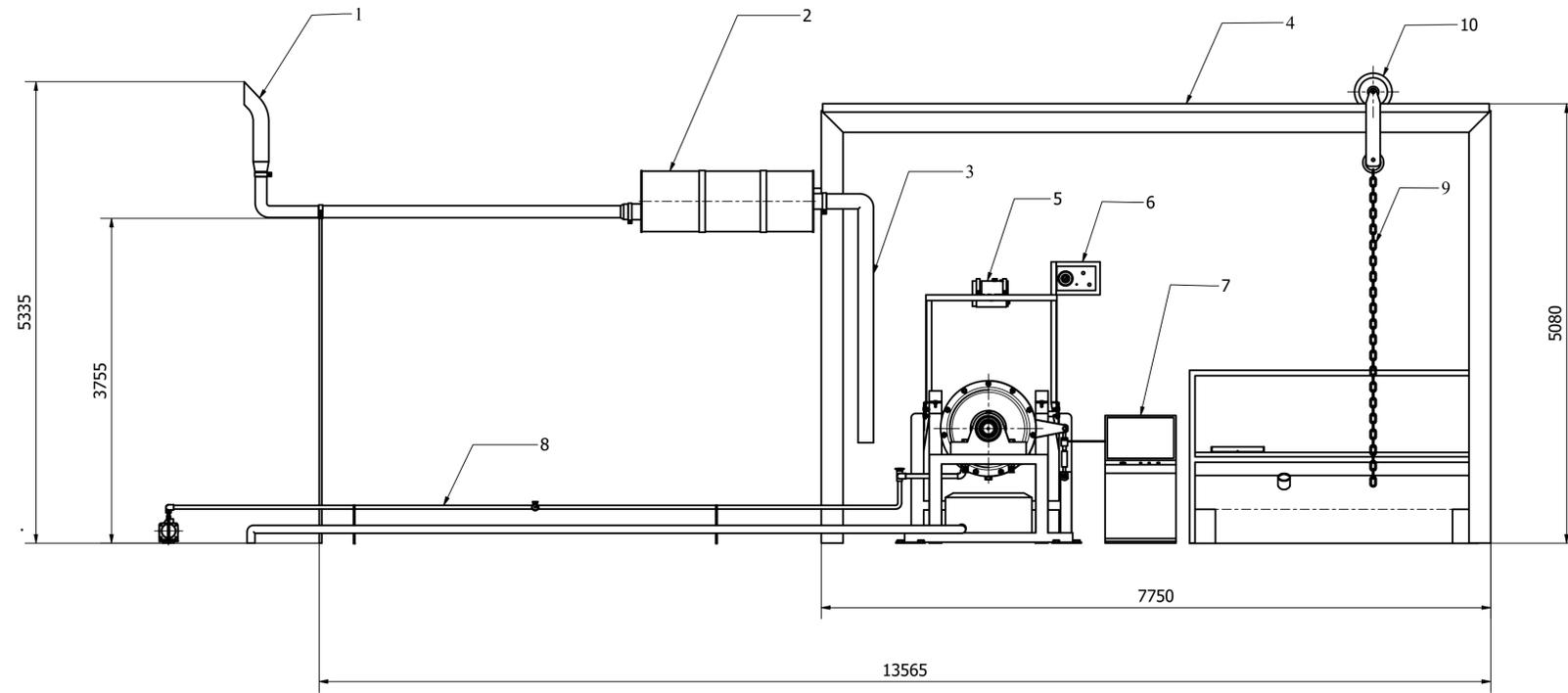


Características técnicas	
	Dinamómetro hidráulico
Modelo	DH-600
Potência máxima a transmitir	441 kW

Formato	Zona	Ref.	Designação	Nome	Quant.	Observação
		1		Flange	1	
		2		Alavanca	1	
		3		Mancal do tipo "Trunnion"	2	
		4		Rolamento	2	
		5		Conector angulado 1/2	2	
		6		Conector recto 'vent'	1	
		7		Retentor	4	
		8		Tampa Frontal da Carcaça	1	
		9		Anel de vedação	2	
		10		Rotor (Impelidor)	1	
		11		Carcaça Intermediária	1	
		12		Niple	1	
		13		Veio	1	
		14		Tampa Traseira da Carcaça	1	
		15		Parafusos de Cabeça Sextavada M8	11	
		16		Anilhas	30	
		17		Parafusos Allen M8	8	

Alt	Folha	Num.doc	Ass	Data
Executou	Maciúcia	Bento		19/12/22
Verificou	Eng. Roberto			

DEMA- EP-2022					
Desenho de vista geral			COD	Massa	Escala
					1:8
UEM-FE-DEMA					



Formato	Zona	Ref.	Designação	Nome	Quantidade	Observação
A1			DEMA-EP-2022-A1	Desenho de vista geral		
		1		Chaminé	1	
		2		Silenciador	1	
		3		Tubo Flexível	1	
		4		Estrutura de transporte	1	
		5		Galão de água	1	
		6		Painel	1	
		7		Painel de controle	1	
		8		Sistema de alimentação de água	1	
		9		Corrente	2	
		10		Roda	1	
		11		Depósito de combustível	1	
A2		12	DEMA-EP-2022-A2	Dinamómetro hidráulico DH-600	1	
A3		13	DEMA-EP-2022-A3	Suporte do dinamómetro	1	
		14		Sistema de esgoto	1	
		15		Base das baterias	1	
		16		Reservatório de água	1	
		17		Válvula de pé de crivo	1	
		18		Esgoto	1	

					DEMA-EP-2022		
Alt	Folha	Num.doc	Ass	Data			
Executou	Macielena	Bento		18/12/22	Desenho de vista geral		
Verificou	Eng. Roberto				COD	Massa	Escala
							1:50
					UEM-FE-DEMA		