

CENTRO PAULA SOUZA
FATEC SANTO ANDRÉ
Tecnologia em Mecânica Automobilística

Júlio César Duarte Santana

Rubens Malta de Sousa

**CONSTRUÇÃO DE BANCADA DIDÁTICA PARA DINAMÔMETRO
HIDRÁULICO**

Santo André

2025

Júlio César Duarte Santana

Rubens Malta de Sousa

CONSTRUÇÃO DE BANCADA DIDÁTICA PARA DINAMÔMETRO
HIDRÁULICO

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso Superior de Tecnologia em 2025 da FATEC Santo André, orientado pelo Prof. Marco Aurélio Fróes, como requisito final para obtenção do título de tecnólogo em Mecânica Automobilística.

Santo André

2025

S232c

Santana, Júlio César Duarte
Construção de bancada didática para dinamômetro hidráulico /
Júlio César Duarte Santana, Rubens Malta de Sousa. - Santo
André, 2025. – 41f: il.

Trabalho de Conclusão de Curso – FATEC Santo André.
Curso de Tecnologia em Mecânica Automobilística, 2025.

Orientador: Prof. Marco Aurélio Fróes

1. Mecânica. 2. Veículos. 3. Bancada didática. 4. Tecnologia. 5.
Motores de Combustão Interna. 6. Desempenho. 7. Construção.
8. Software. 9. Dinamômetro hidráulico. I. Sousa, Rubens Malta
de. II. Construção de bancada didática para dinamômetro
hidráulico.

629.2

LISTA DE PRESENÇA

Santo André, 06 de dezembro de 2023.

LISTA DE PRESENÇA REFERENTE À APRESENTAÇÃO DO
TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO COM O TEMA:
"CONSTRUÇÃO DE UMA BANCADA DIDÁTICA PARA DINAMÔMETRO
HIDRÁULICO" DOS ALUNOS DO 6º SEMESTRE DESTA U.E.

BANCA

PRESIDENTE:

PROF. MARCO AURÉLIO FRÓES

MEMBROS:

PROF. ORLANDO DE SALVO JUNIOR

PROF. NICOLINO FOSCHINI NETO

ALUNOS:

JULIO CESAR DUARTE SANTANA

RUBENS MALTA DE SOUSA

DEDICATÓRIA

Dedicamos este trabalho aos nossos pais e familiares, pelo amor, apoio e compreensão em todos os momentos desta jornada.

A todos que acreditaram em nosso potencial e incentivaram a seguir em frente, mesmo diante dos desafios.

E a cada pessoa que, direta ou indiretamente, contribuiu para a concretização deste sonho e para nosso crescimento pessoal e profissional.

AGRADECIMENTO

Agradecemos primeiramente a Deus, pela força, sabedoria e determinação que nos permitiram chegar até aqui.

À Faculdade de Tecnologia (Fatec) e a todos os professores do curso de Mecânica Automobilística, pelo compromisso e dedicação em transmitir conhecimento e valores essenciais à formação profissional.

Ao professor Marco Aurélio Fróes, orientador e coordenador do curso, por sua orientação técnica, paciência e apoio constante durante todo o desenvolvimento deste trabalho.

Ao professor Nicolino Neto, pela idealização do tema e pelas contribuições teóricas que serviram de base para o projeto.

Aos colegas Oscar Bergamo e Thales Ferreira, pelo auxílio fundamental nas etapas construtivas, tanto na parte eletrônica quanto na mecânica, demonstrando colaboração e espírito de equipe.

A todos os amigos e familiares que nos acompanharam nesta trajetória, oferecendo incentivo, compreensão e motivação para concluir mais esta etapa da vida acadêmica.

Nunca deixe ninguém te dizer que pode fazer alguma coisa. Se você tem um sonho, tem que correr atrás dele. As pessoas não conseguem vencer e dizem que você também não vai vencer, se você quer alguma coisa, corre atrás, ponto”.

Steven Conrad

RESUMO

O trabalho apresenta o desenvolvimento de uma bancada didática para dinamômetro hidráulico, destinada ao estudo dos motores Honda GX 120 e GX 160. O objetivo principal foi proporcionar aos estudantes uma experiência prática, integrando teoria e prática na avaliação do desempenho de motores de combustão interna. A metodologia envolveu a seleção dos motores, construção da estrutura de fixação, acoplamento ao freio hidráulico, escolha de sensores e desenvolvimento de um sistema computadorizado de aquisição de dados. Foram abordados conceitos fundamentais como ciclo Otto, torque, rotação, potência e funcionamento do dinamômetro, além da seleção criteriosa de materiais e componentes para garantir segurança e precisão nos testes. O sistema de instrumentação incluiu sensores de torque e rotação, célula de carga, Raspberry Pi e software dedicado para coleta e análise dos dados. Os resultados demonstraram a viabilidade do projeto, permitindo a obtenção de curvas de torque e potência dos motores testados e contribuindo para a otimização do desempenho em eventos dinâmicos. Conclui-se que a bancada desenvolvida é uma ferramenta eficiente para ensino e pesquisa em mecânica automotiva, promovendo inovação tecnológica no ambiente acadêmico.

Palavras-chave: Bancada Didática. Motores Honda GX. Dinamômetro Hidráulico. Mecânica Automobilística.

ABSTRACT

This work presents the development of an educational test bench for a hydraulic dynamometer, aimed at the study and analysis of Honda GX 120 and GX 160 engines. The main objective was to provide students with practical experience, integrating theory and practice in the evaluation of internal combustion engine performance. The methodology included surveying available engines, selecting the GX 120 and GX 160 models, building a suitable structure for engine mounting, coupling to the hydraulic brake, selecting sensors, and developing a computerized data acquisition system. Fundamental concepts such as the Otto cycle, torque, rotation, power, and dynamometer operation were addressed, along with careful selection of materials and components to ensure safety and accuracy in testing. The instrumentation system included torque and rotation sensors, a load cell, Raspberry Pi, and dedicated software for data collection and analysis. The results demonstrated the feasibility of the project, enabling the acquisition of torque and power curves for the tested engines, thus contributing to performance optimization in dynamic events. It is concluded that the developed test bench is an efficient tool for teaching and research in automotive mechanics, promoting technological innovation in the academic environment.

Keywords: Education Test Bench. Honda GX Engines. Hydraulic Dynamometer. Automotive Mechanics.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - Os quatro tempos do motor.....	17
Figura 2 - Sistema pistão-biela-manivela	18
Figura 3 - Representação gráfica de RPM.....	19
Figura 4 - Freio de Prony.....	21
Figura 5 - Motores Honda GX 120/160	23
Figura 6 - Célula de carga.....	28
Figura 7 - Sensor de rotação	28
Figura 8 - Estrutura pré-montada.....	29
Figura 9 - Estrutura soldada.....	30
Figura 10 - Centralizador do conjunto motriz	30
Figura 11 - Sistema de refrigeração.....	32
Figura 12 - Curvas características GX 160.....	34

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Propriedades mecânicas do aço	26
Tabela 2 - Materiais e custo.....	35

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

SAE – *Society of Automotive Engineers*

OHV - *Over Head Valve*

RPM – Rotações Por Minuto

MIG – *Metal Inert Gas*

MAG – *Metal Active Gas*

LISTA DE SÍMBOLOS

P – Potência

ω – Velocidade angular

T – Torque

n – Rotação

F_{at} – Força de atrito

r – Raio/alavanca

M – Torque resultante no eixo de saída

M_m – Torque fornecido pelo motor

i_t – Relação de transmissão

F_t – Força tangencial

D_e – Diâmetro primitivo da engrenagem

M_f – Momento fletor

d_{ap} – Alavanca/braço

d – Diâmetro do eixo

π – Pi

σ_{esc} – Tensão de escoamento

$\sigma_{aplicada}$ – Tensão aplicada

S – Fator de segurança

$F_{m\acute{a}x}$ – Força máxima

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	14
1.1. Objetivo	14
1.2. Justificativa.....	15
1.3. Metodologia.....	15
2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	16
2.1. Motor de Combustão Interna do Ciclo Otto	16
2.2. Torque.....	17
2.3. Rotação	18
2.4. Potência	19
2.5. Dinamômetro	20
2.6. Bomba Hidráulica.....	20
2.7. Sensor de Rotação	21
3. PROJETO CONCEITUAL	23
3.1. Motores GX 120/160 Honda	23
3.2. Estrutura de suporte da bancada	24
3.3. Sistema de transmissão	24
3.4. Instrumentação e aquisição de dados.....	27
3.4.1. Raspberry Pi	27
3.4.2. Célula de carga	27
3.4.3. Sensor de rotação.....	28
4. PROCESSO DE CONFECÇÃO E MONTAGEM	29
4.1. Bancada estrutural	29
4.2. Componentes eletrônicos.....	31
4.3. Alinhamento e calibração	31
4.4. Sistema de refrigeração	32
4.5. Procedimento de teste.....	33

5. MATERIAIS E CUSTOS	35
6. CONCLUSÃO	36
7. MELHORIAS FUTURAS	37
REFERÊNCIAS	38
APÊNDICE A – DESENHO TÉCNICO	39

1. INTRODUÇÃO

A busca constante por inovação tecnológica é uma característica marcante do ser humano, e é através da engenharia que essas inovações se tornam viáveis e aplicáveis no dia a dia, especialmente no que se refere à criação de máquinas e componentes voltados para atender demandas práticas. Na indústria contemporânea, o uso de mecanismos bem elaborados evidencia como pequenas melhorias podem resultar em ganhos significativos na produtividade.

No setor automobilístico, a evolução tecnológica desempenha um papel fundamental. A competitividade e a relevância de um projeto estão diretamente ligadas ao nível de tecnologia que ele incorpora. A introdução de novos sistemas e equipamentos possibilita a coleta de dados essenciais para aprimorar o desempenho dos veículos, permitindo comparações eficientes com versões anteriores.

Este projeto visa o estudo e o desenvolvimento de uma bancada dinamométrica voltada para os motores Honda GX 120 e GX 160. A proposta oferece aos estudantes a chance de aplicar, de forma prática, os conhecimentos adquiridos em sala, promovendo uma vivência real no processo de testes e análises de desempenho. O uso do dinamômetro possibilita ajustes mais precisos no motor com base na leitura da curva de torque e potência, criando uma base sólida de dados que contribui diretamente para a otimização do desempenho em provas dinâmicas, na qual manter o motor operando na faixa ideal de torque é essencial.

O desenvolvimento do projeto abrange desde a construção de uma estrutura adequada para fixação dos motores em teste, passando pela definição do sistema de acoplamento ao freio hidráulico, pela seleção dos sensores apropriados, até a elaboração de um sistema de aquisição de dados computadorizado. Esses elementos combinados permitem uma análise detalhada do comportamento dos motores, facilitando sua customização e gerando vantagens competitivas nas pistas.

1.1. Objetivo

A construção de uma bancada dinamométrica surge tanto como um desejo quanto como uma necessidade da instituição de ensino, visando elevar o nível de conhecimento aplicado em mecânica automobilística. A implementação do projeto tem como objetivo principal a criação de um dispositivo didático que reúna informações relevantes e aprofundadas, servindo como

base de conhecimento para os estudantes da universidade, promovendo a continuidade e a evolução do aprendizado prático e teórico.

1.2. Justificativa

O projeto tem como escopo aprofundar os estudos relacionados aos motores de combustão interna, permitindo a compreensão completa de seus parâmetros de funcionamento. Com isso, torna-se possível desenvolver projetos mais eficientes e realizar ajustes específicos que otimizem o desempenho de cada motor, de acordo com suas particularidades operacionais.

1.3. Metodologia

Durante a elaboração do projeto, foi conduzido um levantamento dos motores disponíveis e operacionais no laboratório da instituição, levando em conta suas características técnicas e condições de funcionamento, de forma a garantir a compatibilidade com as exigências do sistema em desenvolvimento, optou-se pela utilização dos motores Honda GX 120 e GX 160 em substituição aos modelos tradicionalmente homologados pela Sociedade de Engenheiros Automotivos - *Society of Automotive Engineers* (SAE). As conclusões obtidas, bem como as restrições e hipóteses levantadas durante essa etapa, foram fundamentais para o início do desenvolvimento da bancada de testes.

2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

A fabricação de um dinamômetro de bancada requer a compreensão de diversos princípios essenciais ligados ao funcionamento de motores de combustão interna, à avaliação do desempenho mecânico e aos sistemas de medição. Neste capítulo, são apresentados os fundamentos teóricos que sustentam o desenvolvimento do projeto, contemplando o funcionamento dos motores de ciclo Otto, os conceitos de torque e potência no eixo, as categorias de dinamômetros disponíveis, o princípio de operação da bomba hidráulica, além da aplicação de sensores para medição de rotação.

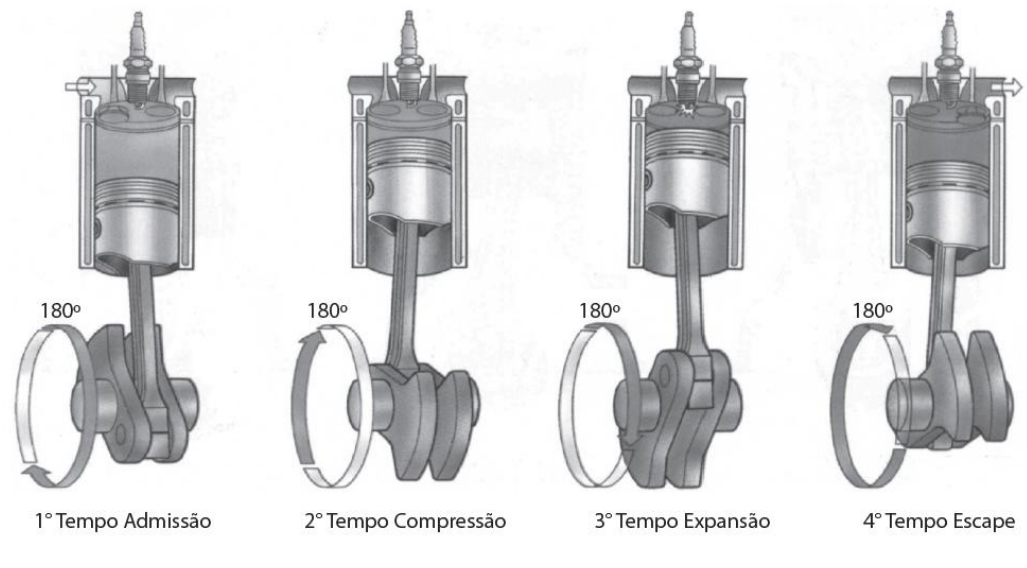
2.1. Motor de Combustão Interna do Ciclo Otto

O Ciclo Otto é um ciclo termodinâmico idealizado que descreve o funcionamento de motores de combustão interna com ignição por centelha, característicos de veículos automotivos e amplamente utilizados em aplicações como as competições da Fórmula SAE Baja.

Os motores homologados pela SAE para as competições são os modelos *Briggs & Stratton OHV (Over Head Valve, traduzido Válvulas no Cabeçote) Intek Model 20* (série 20) e *OHV Vanguard Model 19* (série 19), ambos operando com base no ciclo Otto de 4 tempos, Figura 1. Este tipo de motor se destaca por sua eficiência térmica efetiva típica na faixa de 25% a 30%, confiabilidade operacional e versatilidade de ajustes, características que o tornam especialmente adequado para ambientes de competição.

Em comparação aos motores de 2 tempos, os motores de 4 tempos oferecem maior eficiência energética, menor emissão de poluentes e melhor controle térmico. Além disso, apresentam maior potencial de modificações e otimizações, permitindo que as equipes do Baja ajustem parâmetros como torque, consumo de combustível, resposta dinâmica e durabilidade, de acordo com as exigências específicas de cada prova.

Figura 1 - Os quatro tempos do motor



Fonte: BRUNETTI, 2018.

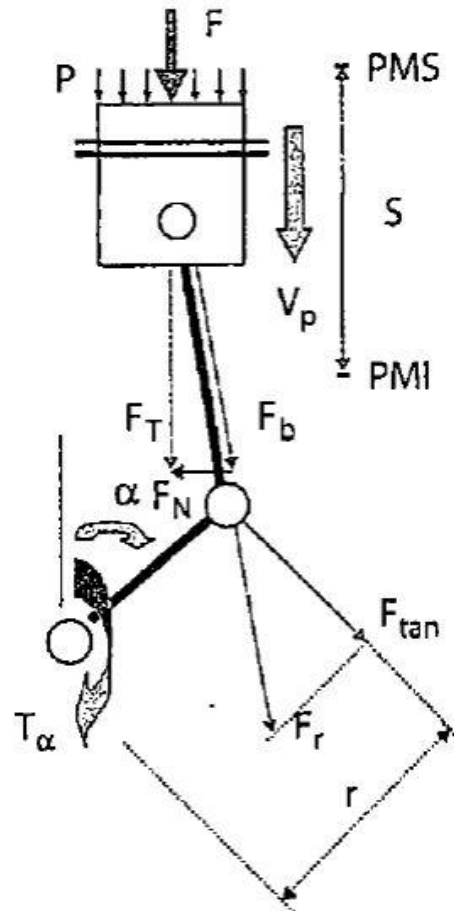
2.2. Torque

O torque é um parâmetro fundamental para o funcionamento de um motor e está diretamente relacionado ao desempenho de um veículo. Ele representa a capacidade do motor de realizar trabalho a partir do processo de combustão interna. Por isso, é um dos principais indicadores de desempenho, influenciando diretamente a aceleração e a capacidade do veículo de mudar sua velocidade.

No contexto dos motores de combustão interna, o torque é gerado pelo conjunto pistão-biela-manivela, ilustrado na Figura 2. Esse mecanismo converte o movimento linear do pistão, originado pela força de combustão, em movimento rotativo no eixo do motor. A força normal aplicada ao pistão é transmitida por meio da biela, gerando uma força tangencial no eixo. Essa força tangencial, por sua vez, produz um momento torsor instantâneo no eixo do motor, caracterizando o torque entregue.

Desprezando outros efeitos, a força F aplicada no pistão é função da pressão P gerada pela combustão e esta, é função da rotação e da massa de mistura ar-combustível disponibilizada para a carga, permitindo que o torque varie com a rotação e carga (BRUNETTI, 2018).

Figura 2 - Sistema pistão-biela-manivela

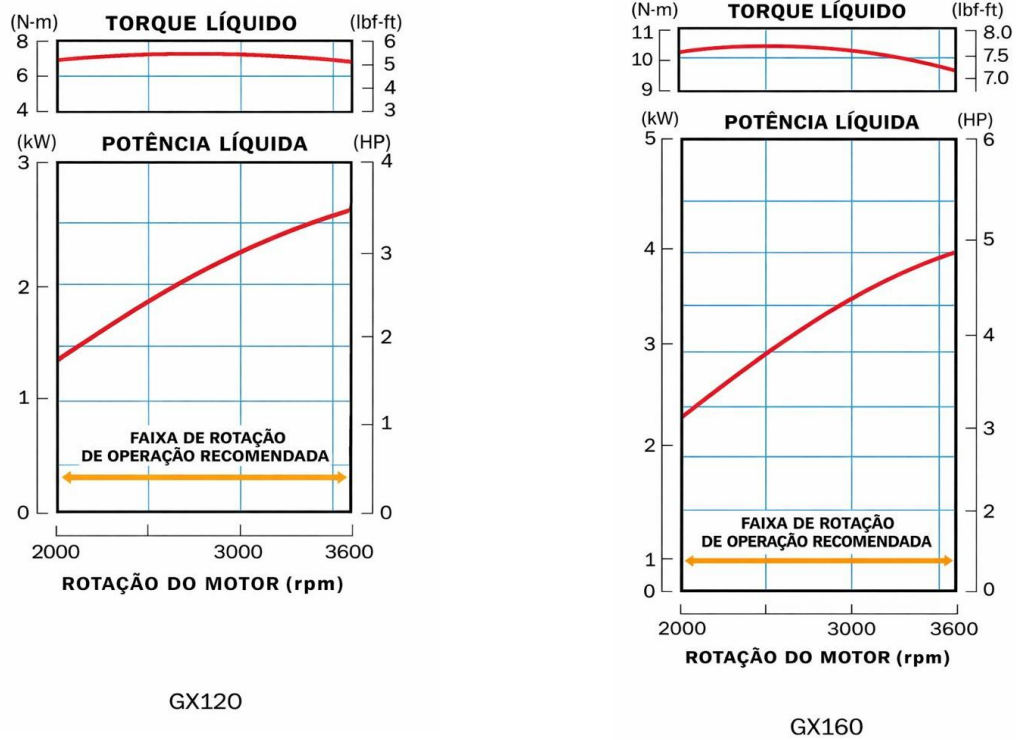


Fonte: BRUNETTI, 2018.

2.3. Rotação

A obtenção da rotação do eixo do motor é um dado fundamental para a avaliação do desempenho, uma vez que possibilita determinar a potência gerada em tempo real. Além disso, acompanhar a variação da rotação é crucial para a análise da curva de torque, já que o valor do torque está diretamente relacionado à velocidade com que o motor opera. Como ilustrado na Figura 3, essa relação é evidente nos motores Honda GX, em que se observa um aumento gradual do torque até atingir seu valor máximo por volta de 2750 rotações por minuto. A partir desse ponto, o torque tende a decair conforme a rotação continua a aumentar, evidenciando o comportamento típico de motores ciclo Otto.

Figura 3 - Representação gráfica de RPM



Fonte: HONDA, 2025.

2.4. Potência

A potência de um motor pode ser compreendida como a quantidade de energia útil fornecida por unidade de tempo. Enquanto o torque representa a força rotacional gerada durante o processo de combustão — especialmente no movimento de descida do pistão —, a potência é diretamente proporcional ao produto entre o torque e a rotação do motor. Dessa forma, ao realizar ensaios em motores, a medição simultânea do torque e da velocidade angular permite o cálculo preciso da potência desenvolvida, conforme apresentado nas Equações 1 e 2 (SARKIS, 2009).

$$P = \omega * T \quad (1)$$

$$P = 2\pi * n * T \quad (2)$$

Onde:

P = potência (W)

ω = velocidade angular (rad/s)

T = torque (N.m)

n = rotação (rpm)

π = constante trigonométrica 3,1415...

2.5. Dinamômetro

Dinamômetro é o equipamento empregado para medir a potência e o trabalho desenvolvido por um motor ao longo do tempo, sob diferentes condições de operação.

Desde os aprimoramentos das máquinas a vapor no século XVIII até a evolução dos motores de combustão interna, tornou-se essencial quantificar as grandezas dinâmicas produzidas como: momento angular, torque e potência (BRUNETTI, 2018).

Os ensaios realizados em dinamômetros foram determinantes para o avanço dos estudos sobre motores, permitindo um dimensionamento mais preciso de seus componentes, o que resultou em maior confiabilidade, desempenho aprimorado e redução dos custos de manutenção.

Existem diferentes tipos de dinamômetros, classificados de acordo com o princípio de funcionamento. Os principais são (BRUNETTI, 2018):

- Dinamômetro de absorção: dissipa a energia mecânica gerada pelo motor, convertendo-a em calor. Pode ser do tipo hidráulico, elétrico ou mecânico (como o freio de *Prony*);
- Dinamômetro de transmissão: mede a potência enquanto a energia é transferida para uma carga externa;
- Dinamômetro de inércia: calcula a potência com base na aceleração de uma massa conhecida.

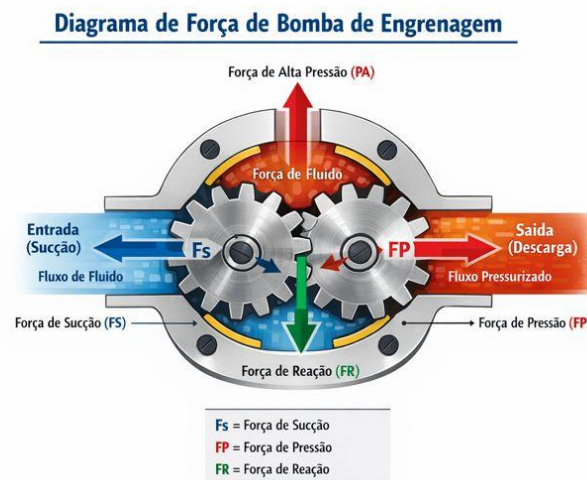
Neste trabalho, o foco será no dinamômetro de bancada, com sistema de absorção mecânica, utilizando o tipo hidráulico como mecanismo principal.

2.6. Bomba Hidráulica

O princípio de funcionamento do dinamômetro hidráulico baseia-se na utilização de uma bomba hidráulica, Figura 4, como dispositivo de absorção de potência. (BOSCH, 2014). Ao ser acionada pelo motor em ensaio, a bomba promove o escoamento de um fluido de

trabalho (óleo hidráulico ou água) através de um circuito dotado de elementos restritivos, resultando na dissipação da energia mecânica sob a forma de energia térmica no fluido. A resistência imposta ao escoamento gera um torque contrário ao eixo do motor, caracterizando o efeito de frenagem hidráulica, Equação 3 (MELCONIAN, 2009), que pode ser medido com uso de uma balança ou célula de carga. O controle da carga aplicada ao motor é realizado por meio da variação da vazão e/ou da pressão do fluido no sistema hidráulico.

Figura 4 – Bomba de engrenagem



Fonte: autor com auxílio de inteligência artificial (OpenAI, DALL·E)

Portanto:

$$T = F_{atr} * r \quad (3)$$

Onde:

T = torque (N.m)

F_{atr} = força de atrito (N)

r = raio/alavanca (m)

2.7. Sensor de Rotação

Para a medição da rotação do eixo, é utilizado um sensor de rotação, que pode operar por diferentes princípios, como efeito Hall, óptico ou magnético. Este sensor é essencial para o cálculo da potência e para a caracterização do comportamento do motor sob diferentes cargas.

A integração do sensor com o sistema de aquisição de dados permite o monitoramento em tempo real e a construção de curvas de desempenho. (MORRIS, 2001).

3. PROJETO CONCEITUAL

Este capítulo tem como objetivo apresentar de forma detalhada o processo de concepção e desenvolvimento da bancada dinamométrica, contemplando a descrição dos componentes selecionados e a justificativa técnica para cada escolha. O projeto foi estruturado a partir da análise dos requisitos operacionais do motor a ser ensaiado, bem como das restrições impostas pelas condições de uso, segurança e viabilidade técnica e financeira.

3.1. Motores GX 120/160 Honda

Nesta seção são apresentados os principais parâmetros dos motores GX 120 (esquerda) e GX 160 (direita), respectivamente, que fundamentaram as decisões de projeto, tais como:

- Potência máxima de acordo a SAE J1349: 2,6 kW e 3,6 kW a 3600 rpm;
- Torque máximo de acordo a SAE J1349: 7,3 N.m e 10,3 N.m a 2500 rpm.

A análise desses requisitos, Figura 5, foi determinante para a definição do tipo de dinamômetro a ser utilizado, bem como para a especificação dos demais componentes da bancada. A definição de escolha do motor a ser utilizado, também levou em consideração a disponibilidade do motor na unidade de ensino, visto que o modelo GX 120 já estava reservado/destinado a outro trabalho acadêmico, o modelo GX 160 foi o adotado para o andamento do projeto.

Figura 5 - Motores Honda GX 120/160



Fonte: autor.

3.2. Estrutura de suporte da bancada

A estrutura da bancada foi projetada para garantir rigidez, estabilidade e segurança durante os ensaios. Foram considerados aspectos como:

- Resistência mecânica dos materiais;
- Absorção de vibrações;
- Ergonomia e facilidade de acesso aos componentes;
- Dimensões compatíveis com o espaço físico do laboratório.

A estrutura foi concebida para sustentar o motor Honda GX, o sistema de freio hidráulico, o sensor de rotação, os elementos de transmissão, além de possibilitar a integração de outros dispositivos futuramente. Para assegurar praticidade no manuseio e no transporte interno no laboratório, foram instalados rodízios na estrutura. Com base nos fundamentos estudados em Resistência dos Materiais, definiu-se o aço SAE 1020 como material exclusivo da construção. A escolha desse aço justificou-se por seu equilíbrio entre custo e desempenho, bem como pela boa soldabilidade e forjabilidade, características que explicaram sua ampla aplicação na indústria automotiva em engrenagens, eixos e elementos estruturais. O projeto contemplou ainda dispositivos de fixação ajustáveis, permitindo a realização de testes com diferentes modelos de motores.

3.3. Sistema de transmissão

O sistema de transmissão teve como função conectar o eixo do motor ao dinamômetro. Sua concepção considerou o alinhamento entre eixos, a utilização de acoplamentos flexíveis ou rígidos de acordo com a necessidade, a redução de esforços indesejados que pudessem comprometer o funcionamento do motor ou do dinamômetro, além de aspectos relacionados à facilidade de montagem e manutenção.

Nesse contexto, o eixo do dinamômetro desempenhou papel fundamental, pois foi responsável por transmitir o movimento gerado pelo motor, recebido pela engrenagem motora, aos instrumentos conectados, como a bomba hidráulica e a haste do sensor de rotação. Para seu dimensionamento, analisaram-se as condições que estaria submetido, incluindo pontos de rolamento, apoios, carregamentos cíclicos e o material empregado. Foram conduzidas simulações para identificar a configuração ideal, considerando-se também a distância entre apoios, o diâmetro da coroa e a seleção do material.

A escolha do material baseou-se em recomendações da literatura (MELCONIAN, 2009), levando em conta os diferentes tipos de carregamento. Avaliaram-se aços carbono, como o SAE 1020 e 1045, e o aço-liga SAE 4340, composto por cromo-níquel-molibdênio, que apresentou maior temperabilidade, resistência à fratura e desempenho em fadiga. Para garantir a segurança operacional dos estudantes que utilizariam o equipamento, foi adotado um fator de segurança igual a 7, de acordo a Equação 4 (MELCONIAN, 2009).

$$S = \frac{\sigma_{esc}}{\sigma_{aplicada}} \quad (4)$$

Onde:

S = fator de segurança (admissional);

σ_{esc} = tensão de escoamento (MPa);

$\sigma_{aplicada}$ = tensão aplicada (MPa).

Os cálculos realizados (Equações 5, 6, 7 e 8), fundamentados nas disciplinas estudadas e em dados de referência, indicaram que o aço SAE 1020 exigiria um eixo de maior diâmetro, enquanto o aço SAE 4340 possibilitou a redução dessa dimensão devido às suas melhores propriedades mecânicas. Quanto ao momento transmitido pela engrenagem, verificou-se que, como a relação era de 1:1, o torque máximo fornecido pelo motor pôde ser considerado diretamente como o momento atuante no eixo, desconsiderando-se as perdas por dissipação nas correntes (MELCONIAN, 2009).

$$M = M_m * i_t \quad (5)$$

Onde:

M = torque resultante no eixo de saída (N.m);

M_m = torque fornecido pelo motor (N.m);

i_t = relação de transmissão (admissional).

Sabendo o valor de torque resultante na saída do eixo, podemos encontrar a força tangencial exercida na engrenagem (MELCONIAN, 2009):

$$F_t = \frac{2 * M_m}{D_e} \quad (6)$$

Onde:

F_t = força tangencial (N);

D_e = diâmetro primitivo da engrenagem (m).

Com o valor obtido da equação anterior, definimos o momento fletor no eixo, com base na distância de fixação da engrenagem, como podemos ver em (MELCONIAN, 2009):

$$M_f = F_t * d_{ap} \quad (7)$$

Onde:

M_f = momento fletor (N.m);

d_{ap} = alavanca/braço (m).

Com base nos valores encontrados nas equações acima e com base nas propriedades mecânicas dos aços citados Tabela 1, definimos o diâmetro do eixo na Equação 7 (MELCONIAN, 2009).

Tabela 1 - Propriedades mecânicas do aço

Material	Resistência a tração (MPa)	Limite de escoamento (MPa)
SAE 1020	420	350
SAE 1045	565	310
SAE 4340	745	470

Fonte: adaptado de Melconian, 2009.

$$d = \sqrt[3]{\frac{32 * M_f}{\pi * [(10^6 * \sigma_{esc})/S]}} \quad (8)$$

Onde:

D = diâmetro do eixo (mm);

π = constante matemática;

σ_{esc} = tensão de escoamento do material (N/mm²);

S = fator de segurança (admissional).

Após o estudo de mercado, definiu-se a utilização do aço SAE 1020 em razão da facilidade de aquisição, bem como do baixo custo associado à compra e à usinagem do material. Para os cálculos de dimensionamento do eixo, considerou-se um sistema biapoiado em dois rolamentos, submetido ao torque transmitido pela corrente proveniente do motor, além da resistência adicional gerada pela bomba hidráulica durante a rotação.

3.4. Instrumentação e aquisição de dados

A confiabilidade dos ensaios depende diretamente da instrumentação empregada. Foram selecionados sensores e equipamentos de medição para monitorar variáveis como:

- Torque;
- Rotação.

3.4.1. Raspberry Pi

O *Raspberry Pi* foi selecionado como unidade de processamento em razão de sua maior capacidade de processamento, compatibilidade com diferentes sistemas operacionais baseados em Linux, suporte a múltiplas linguagens de programação (como *Python* e C++), além da facilidade de integração com diversos sensores e módulos eletrônicos. Sua adoção possibilitou a leitura, o tratamento e o envio das informações coletadas pelos quatro sensores empregados no projeto.

3.4.2. Célula de carga

Para a definição da célula de carga, Figura 6, calculou-se a força máxima, Equação 9 (MELCONIAN, 2009), a partir dos parâmetros do motor, que apresentou torque de 10,3 N.m a 2500 RPM e considerando a alavanca de 250 mm, obteve-se valor máximo de aproximadamente 2600 N. Embora o dimensionamento recomendasse a célula de 300 kg, foi adquirido o modelo de 40 kg por razões econômicas e de compatibilidade com o *Raspberry Pi*. Como o sensor necessitava de amplificação do sinal, integrou-se ao sistema o módulo HX711.

$$F_{m\acute{a}x} = M_m * d_{ap} \quad (9)$$

Onde:

$F_{m\acute{a}x}$ = força máxima (N);

M_m = torque fornecido pelo motor (N.m);

d_{ap} = alavanca/braço (m).

Figura 6 - Célula de carga



Fonte: autor.

3.4.3. Sensor de rotação

O sensor de rotação empregado foi do tipo tico, Figura 7, baseado na contagem por interrupção de feixe infravermelho. Essa configuração garantiu maior confiabilidade e precisão em relação aos modelos de roda fnica ou de aproximação, além de apresentar baixo peso e maior facilidade de integração com o *Raspberry Pi*.

Figura 7 - Sensor de rotação



Fonte: autor.

4. PROCESSO DE CONFECÇÃO E MONTAGEM

Concluídas as etapas de elaboração do projeto da bancada, execução das simulações de elementos finitos e aquisição dos materiais, iniciou-se o processo de montagem. Este capítulo teve por objetivo apresentar o processo construtivo, contemplando desde os critérios de seleção dos materiais até sua efetiva compra.

4.1. Bancada estrutural

A estrutura metálica foi confeccionada utilizando cantoneiras de aço carbono. Inicialmente, as cantoneiras foram marcadas conforme as dimensões previstas no projeto e submetidas ao processo de corte em serra de bancada, garantindo precisão nos ângulos e nos comprimentos necessários para a montagem. Esse procedimento é ilustrado na Figura 8, que apresenta o alinhamento do material após o corte.

Figura 8 - Estrutura pré-montada



Fonte: autor.

Após o preparo das peças, procedeu-se à etapa de montagem e união dos elementos por meio do processo de soldagem MIG/MAG (*Metal Inert Gas*, Gás Inerte ao Metal e *Metal Active Gas*, Gás Ativo ao Metal, respectivamente), selecionado pela disponibilidade na instituição de ensino, além da eficiência e qualidade do cordão de solda. Com auxílio de gabaritos e esquadros metálicos, as cantoneiras foram posicionadas de modo a assegurar o correto fechamento

geométrico da estrutura, conforme Figura 9. A soldagem foi conduzida de forma alternada entre os lados da estrutura, a fim de minimizar distorções térmicas e garantir uniformidade.

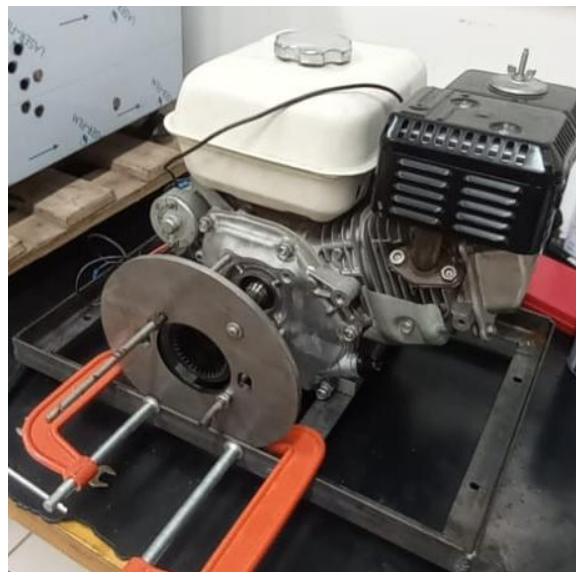
Figura 9 - Estrutura soldada



Fonte: autor.

Além disso, foi realizada a soldagem do centralizador do motor à estrutura metálica, Figura 10.

Figura 10 - Centralizador do conjunto motriz



Fonte: autor.

Esse teve como objetivo assegurar o correto posicionamento e alinhamento do conjunto motriz, contribuindo para o funcionamento adequado do equipamento e evitando vibrações ou

desalinhamentos futuros durante a operação. Ao término do processo, realizou-se uma verificação dimensional e visual dos cordões aplicados, confirmando a integridade estrutural e o alinhamento adequado do conjunto metálico.

4.2. Componentes eletrônicos

A montagem dos componentes eletrônicos empregados no dinamômetro hidráulico foi realizada de forma sistemática, assegurando a correta integração entre os dispositivos e a precisão das medições. O microcontrolador utilizado foi o *Raspberry Pi*, ao qual foram conectados a célula de carga e o sensor de rotação. A célula de carga foi acoplada por meio de um condicionador de sinais apropriado, garantindo a leitura confiável da força gerada durante o ensaio. Já o sensor de rotação foi instalado junto ao eixo do motor, permitindo a aquisição contínua da velocidade angular.

Os componentes foram organizados em uma estrutura protegida, com cabeamento identificado e roteado conforme boas práticas de instrumentação, assegurando redução de interferências eletromagnéticas e facilidade de manutenção. Essa configuração permite que o conjunto eletrônico execute, de maneira integrada, a coleta, o processamento e o armazenamento dos dados necessários para o funcionamento e a análise dos resultados do dinamômetro.

4.3. Alinhamento e calibração

O processo de alinhamento e calibração do dinamômetro, apresentou alguns desafios que demandaram ajustes sucessivos. O alinhamento entre o eixo do motor e o sistema de frenagem hidráulica exigiu correções precisas para evitar vibrações, reduzir perdas mecânicas e assegurar a uniformidade na transmissão de torque.

A calibração dos instrumentos também demandou atenção. A célula de carga apresentou sensibilidade a pequenas variações de posicionamento, tornando necessária a verificação rigorosa de sua fixação e referência de medição. Da mesma forma, o sensor de rotação precisou ser ajustado quanto à distância e ao enquadramento com o alvo rotativo, garantindo leituras estáveis da velocidade angular. Esses procedimentos permitiram alcançar o funcionamento adequado do sistema, com medições mais confiáveis e repetíveis.

4.4. Sistema de refrigeração

Com a utilização de uma bomba hidráulica, o fluido refrigerante em um circuito fechado precisa ser arrefecido. A carga aplicada ao motor é controlada de acordo a aceleração manual que ajusta a restrição ao fluxo do óleo, aumentando a pressão e, conseqüentemente, a resistência ao movimento. Essa energia dissipada é transformada em calor no fluido, elevando sua temperatura durante o funcionamento contínuo. Por isso, é essencial implementar um sistema de refrigeração capaz de manter o fluido dentro da faixa térmica recomendada pelo fabricante.

A opção adotada para refrigeração, foi a inclusão de um trocador de calor e um reservatório para onde o fluido possa retornar e continuar no ciclo de refrigeração, Figura 11.

Figura 11 - Sistema de refrigeração



Fonte: autor.

4.5. Procedimento de teste

Para possibilitar a análise comparativa entre os ensaios realizados, estabeleceu-se um procedimento padronizado a ser seguido antes, durante e após os testes. A criação dessa rotina operacional teve como objetivo assegurar a repetitividade das medições, a integridade dos dados coletados pelo *Raspberry Pi* e a confiabilidade das condições de funcionamento do dinamômetro de Prony. O procedimento definido encontra-se descrito a seguir.

Antes do início de cada ensaio, deve-se verificar o alinhamento do acoplamento de engrenagem entre o eixo de saída do motor Honda GX 160 e o sistema de frenagem do dinamômetro. Em seguida, procede-se à conferência da fixação estrutural, garantindo que os parafusos de ajuste do mecanismo de frenagem estejam torquados. Após essa etapa, ao energizar o *Raspberry Pi*, é obrigatória a confirmação de que a célula de carga e o sensor de rotação estejam realizando leituras coerentes, estáveis e dentro dos limites esperados de operação.

Com a partida do motor, a aceleração deve ser conduzida de maneira progressiva e contínua até atingir o limite operacional de rotação do Honda GX 160. Durante o ensaio, é necessário observar possíveis vibrações no conjunto do dinamômetro, bem como qualquer comportamento anômalo nos dados adquiridos pelos sensores. Após a conclusão de cada teste, recomenda-se um intervalo mínimo de 30 minutos antes da repetição do procedimento, garantindo a dissipação térmica e a estabilização dos componentes mecânicos e eletrônicos.

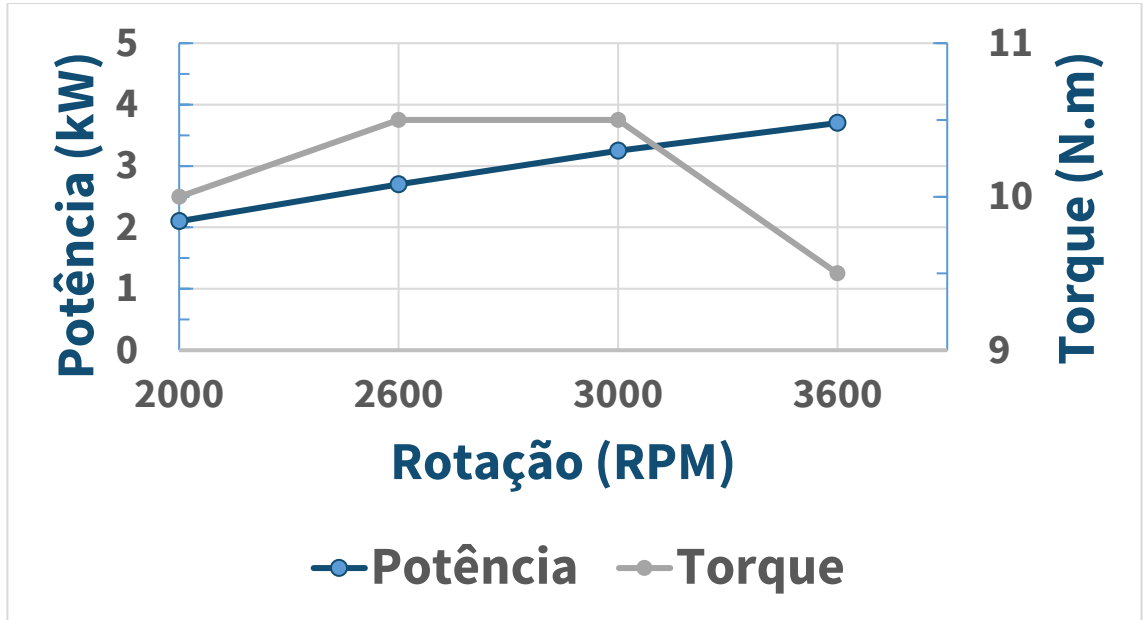
Foram conduzidos ao todo cinco ensaios utilizando o motor Honda GX 160 em diferentes condições de ajuste de mistura, variando-se a regulagem do carburador para avaliar seu impacto no torque e no desempenho geral. Durante os testes, observou-se que a bancada permaneceu estável, sem vibrações significativas, em função da utilização de elementos amortecedores na fixação do motor e às rodas de borracha instaladas na estrutura de apoio.

O processo de aceleração foi realizado manualmente, demandando operação contínua do acelerador. Essa característica permitiu observar variações bruscas na força medida pela célula de carga sempre que o operador alterava sua aplicação de força. Em consequência, foram identificados picos e quedas instantâneas tanto de torque quanto de rotação, reflexo direto da oscilação na aceleração aplicada. Para garantir fidelidade aos dados, os valores máximos e mínimos discrepantes foram descartados durante o tratamento dos resultados, considerando apenas os pontos estabilizados.

Além disso, devido à aceleração gradativa e relativamente lenta, diversas leituras foram obtidas para a mesma rotação. Dessa forma, optou-se pela realização da média dos valores de

torque referentes a cada faixa de rotação, permitindo a construção de curvas mais representativas para torque e potência do motor Honda GX 160, as quais são apresentadas posteriormente, Figura 12.

Figura 12 - Curvas características GX 160



Fonte: adaptado de HONDA,2025.

5. MATERIAIS E CUSTOS

Com o objetivo de viabilizar o desenvolvimento da bancada dinamométrica, foram registrados todos os recibos referentes à aquisição dos componentes e aos ajustes necessários para a montagem final. Esse levantamento permitiu organizar de forma ordenada os gastos envolvidos no projeto, garantindo maior controle financeiro e facilitando a documentação dos materiais utilizados. Entre os itens adquiridos, incluem-se componentes eletrônicos, elementos estruturais e componentes de fixação, fundamentais para a construção e funcionalidade da bancada.

Cabe destacar que parte dos materiais empregados não precisou ser adquirida, pois foi cedida pela instituição de ensino, por parceiros externos ou por integrantes do próprio grupo de trabalho. Essa colaboração contribuiu significativamente para a redução dos custos totais, além de agilizar a execução do projeto, uma vez que alguns itens eram de difícil obtenção ou apresentavam alto valor comercial. A integração desses recursos ao processo reforça a importância do apoio institucional e colaborativo no desenvolvimento de projetos acadêmicos e experimentais.

A Tabela 2 apresenta de forma organizada todos os materiais utilizados no projeto, distinguindo os itens adquiridos daqueles cedidos por colaboradores. Essa sistematização possibilita uma visualização objetiva dos recursos empregados, permitindo avaliar o impacto financeiro real do projeto e facilitar planejamentos técnicos e orçamentários em futuras aplicações.

Tabela 2 - Materiais e custo

Descrição	Qtde	Valor Unitário	Valor Total
Motor Honda GX 160	1	R\$ 2125,89	R\$ 0,00
Cantoneira Abas Iguais ASTM A36 1.1/2"x1/8"x6000	6	R\$ 69,00	R\$ 414,00
Chapa Aço Carbono SAE 1008 1,2x250x350	1	R\$ 31,12	R\$ 0,00
Coxim Escapamento Grande Ford Corcel	4	R\$ 11,90	R\$ 47,60
Rodízio Schioppa GLAE 210 BP – SM	4	R\$ 15,25	R\$ 61,00
Célula de Carga Bloco Pe130.30 M6 Ip66 40kg	1	R\$ 47,00	R\$ 47,00
Raspberry PI Pico	1	R\$ 37,90	R\$ 37,90
Botoeira Liga/Desliga	2	R\$ 24,28	R\$ 0,00
Parafuso Cab. Sext. M8x50 + Arruela + Porca Sext.	4	R\$ 2,30	R\$ 9,20
Total			R\$ 616,70

Fonte: elaborado pelo autor.

6. CONCLUSÃO

A construção da bancada didática para dinamômetro hidráulico atingiu plenamente seus objetivos, proporcionando uma plataforma robusta e eficiente para o estudo prático de motores de combustão interna. O projeto permitiu a integração de conceitos teóricos com a aplicação experimental, favorecendo o aprendizado dos estudantes e a geração de dados relevantes para otimização de desempenho. A escolha criteriosa dos materiais, componentes eletrônicos e metodologia de testes garantiu segurança, precisão e confiabilidade nos resultados obtidos. Além disso, a colaboração institucional e o uso de recursos compartilhados foram fundamentais para a viabilização do projeto, demonstrando a importância do trabalho em equipe e do apoio acadêmico. Em suma, a bancada desenvolvida representa uma significativa contribuição para o ensino e pesquisa em mecânica automotiva, estimulando a inovação e o desenvolvimento tecnológico no ambiente universitário.

7. MELHORIAS FUTURAS

Durante a análise do projeto do dinamômetro hidráulico, foram identificadas oportunidades de aprimoramento que visam aumentar a estabilidade, a ergonomia e o valor didático do equipamento. As principais melhorias propostas são:

- ✓ Reposicionamento dos rodízios para melhor centro de gravidade da bancada

A atual disposição dos rodízios pode comprometer a estabilidade do conjunto durante o transporte ou operação. Recomenda-se reposicioná-los de forma estratégica, considerando o centro de massa da estrutura, para garantir maior equilíbrio e segurança, reduzindo riscos de tombamento.

- ✓ Reposicionamento da haste de sustentação do reservatório hidráulico

A haste que sustenta o reservatório deve ser realocada para uma posição que facilitar o acesso para partida do motor. Essa alteração contribui para maior acessibilidade do sistema e melhor ergonomia na manipulação da bancada.

- ✓ Aplicação de eletrônica para uso didático

A integração de sensores e sistemas eletrônicos permitirá que o dinamômetro funcione como ferramenta de apoio ao ensino. A instalação de sensores de torque, rotação e temperatura, associados a um microcontrolador com interface gráfica, possibilitará a coleta e visualização de dados em tempo real. Essa melhoria transforma o equipamento em um recurso pedagógico, permitindo aos estudantes compreender conceitos de potência, eficiência e comportamento térmico de forma prática.

Essas melhorias não apenas aumentam a funcionalidade e segurança do dinamômetro, mas também ampliam seu potencial como recurso educacional, alinhando o projeto às necessidades de ensino técnico e universitário.

REFERÊNCIAS

BOSCH. *Manual de Tecnologia Automotiva*. 8ª ed. São Paulo: Blücher, 2014;

BRUNETTI, Franco. *Motores de combustão interna*. Vol.1, 2ª ed. São Paulo: Blücher, 2018;

CALLISTER Jr, William D. *Ciência e Engenharia de Materiais: Uma Introdução*. 5ª ed. Rio de Janeiro: LTC, 2002;

FILHO, Avelino A. *Elementos Finitos – A Base da Tecnologia CAE*. 1ª ed. São Paulo: Érica, 2005;

FILHO, Avelino A. *Elementos Finitos – A Base da Tecnologia CAE – Análise Não Linear*. 1ª ed. São Paulo: Érica, 2012;

FRANCHI, Claiton M. *Acionamentos Elétricos*. São Paulo: Érica, 2008;

HONDA. “*Motores GX 120/160/200*”. Disponível em: <https://engines.honda.com/models/model-detail/mid-gx#PerformanceCurves>. Acesso em 28 mai. 2025;

MELCONIAN, Sarkis. *Elementos de máquinas*. 9ª ed. São Paulo: Érica, 2009;

MORRIS, Alan S. *Measurement & Instrumentation Principles*. 3ª ed. Elsevier, 2001. ISBN: 0 7506 5081 8;

SAE BRASIL. *Regulamento Administrativo e Técnico Baja SAE Brasil*, RATBSB - Emenda 5, Agosto de 2023.

APÊNDICE A – DESENHO TÉCNICO

