

Universidade de Brasília – UnB

Faculdade UnB Gama - FGA

Engenharia Automotiva

**Operacionalização do Laboratório de Ensaio de
Motores da FGA: Comparação de Desempenho para
Misturas de Gasolina e Álcool**

Autores: Bruno de Miranda Oliveira

Fellype Levi de Alcântara Maranhão Rocha

Orientador: Prof. Dr. Fábio Cordeiro de Lisboa

Brasília - DF

2018



Monografia submetida ao curso de graduação em Engenharia Automotiva da Universidade de Brasília, como requisito parcial para obtenção do Título de Bacharel em Engenharia Automotiva

Universidade de Brasília – UnB

Faculdade UnB Gama – FGA

Orientador: Prof. Dr. Fábio Cordeiro de Lisboa

Brasília - DF

Rocha, Fellype Levi de Alcântara Maranhão.

Oliveira, Bruno de Miranda.

Operacionalização do Laboratório de Ensaio de Motores da
FGA: Comparação de Desempenho para Misturas de Gasolina e Álcool
Monografia (Graduação) – Universidade de Brasília –UnB
Faculdade UnB Gama - FGA, Brasília, 2018.

Orientação: Prof. Dr. Fábio Cordeiro de Lisboa

1.Motores CI 2.Mistura gasolina-etanol 3.Laboratório de
motores 4.Dinamômetro de Corrente Alternada.



Bruno de Miranda Oliveira

Fellype Levi de Alcântara Maranhão Rocha

Monografia submetida como requisito parcial para obtenção do Título de Bacharel em engenharia automotiva da Faculdade UnB Gama - FGA, da Universidade de Brasília, em (data da aprovação __/__/____) apresentada e aprovada pela banca examinadora abaixo assinada:

Prof. Dr. Fábio Cordeiro de Lisboa FGA/UnB

Orientador

Prof. Dr. Alessandro Borges de Sousa Oliveira

FGA/UnB

Membro Convidado

Prof. Dr. Saleh Barbosa Khalil FGA/UnB

Membro Convidado

Brasília, DF
2018

AGRADECIMENTOS

Agradecemos, primeiramente, a Deus, pois, sem ele, não seríamos capazes de chegar até aqui.

Agradeço minha família por estar junta nos momentos difíceis, gostaria de deixar este trabalho em memória ao meu avô Atalias, que Deus o tenha.

Quero agradecer de coração aos amigos de faculdade que tenho, Eduardo Millhouse, Eduardo Xavier Gaúcho, Edson Thiago, Danilo Tosta, Pedro Camargo, Pedro Zep, Mario Tired, Vinicius Siqueira, Caio Donatello e minha dupla de trabalho Bruno de Miranda, entre outros tantos, a vocês só tenho a agradecer. Gostaria também de agradecer a equipe de técnicos da faculdade como Jackson Paz, pela paciência e ensinamento e gostaria de deixar meus sinceros agradecimentos ao corpo docente do campus gama, principalmente pela paciência comigo.

Primeiramente eu agradeço a Deus, por ter chegado até aqui depois de uma longa caminhada em busca ao conhecimento. Agradeço principalmente meus pais, Denise e Renato que foram o meu suporte ao longo de toda a vida e com quem sempre pude contar e são minha fonte de inspiração.

Deixo também meu agradecimento ao meu irmão, Rafael que esteve ao meu lado e com quem sempre pode contar. Agradecimento aos meus tios que me apoiaram Ângela, Sebastião, Dinart Junior, Nizia, Marco, minha madrinha Terezinha. E ao meu padrinho Eduardo Vinagre que perdi ao longo dessa caminhada.

Dizem que os amigos são a família que escolhemos, não posso deixar de agradecê-los. Meus amigos sempre estiveram dispostos a me apoiar em todos os momentos. Obrigado pelo apoio e torcida, sem vocês eu não teria chegado até aqui. Meus companheiros de FGA: Allan Saliba, Bruno Doberstein, Celso Galeno, Daniel Juswiak, Edson Thiago. E aos meus amigos de fora do ambiente acadêmico que sempre estiveram pertos me apoiando, e distraíndo os momentos que mais precisava, Bruno Araújo, Marlo Diniz, Bia Diniz, Danilo Neiva, Paulo Rocha, Rodrigo Guedes, Vitor Silva, André Gianni e Pedro Gabriel.

“Seja você quem for, seja qual for a posição social que você tenha na vida, a mais alta ou a mais baixa, tenha sempre como meta muita força, muita determinação e sempre faça tudo com muito amor e com muita fé em Deus, que um dia você chega lá. De alguma maneira você chega lá.”

Ayrton Senna

RESUMO

Dada às condições dos equipamentos que se encontravam no início deste trabalho, no Laboratório LAMCI, a operacionalização dos equipamentos para o funcionamento da bancada dinamométrica para teste de motores, com viés experimental e de observação dos dados e características dos motores a combustão interna, é possível a partir do uso da FT300, para uma análise completa quanto a operabilidade dos motores a combustão interna, encontrados no Laboratório LAMCI. Na sequência será feita diferentes misturas de gasolina com etanol para testes experimentais visando analisar a potência o torque e o consumo específico de forma a observar o comportamento das misturas na bancada.

Palavras-chave: Motores CI, mistura gasolina-etanol, Parâmetros de funcionamento, Dinamometro de Corrente Alternada.

ABSTRACT

Given the condition of the equipment that was at the beginning on this work, at the LAMCI lab, the operability of the equipment for the correct functioning of the complete dynamometer bench for the test of motors, with experimental and data observation as the way of analyzing the data and characteristics of internal combustion engines, that is possible from the use of the FT300, for a complete analysis of the operability of internal combustion engines found in the LAMCI Laboratory In the sequence will be made different blends of gasoline with ethanol for experimental tests to analyze the power torque and specific consumption in order to observe the behavior of the blends in the workbench.

Keywords: SI Engines, Blend Ethanol Gasoline, Operating Parameters, Alternating Current Dynamometer.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Classificação quanto ao princípio de funcionamento. -----	20
Figura 2 – Geometria básica de um motor ciclo Otto. -----	23
Figura 3 – Ciclo teórico Otto -----	25
Figura 4 – Imagem exemplo de uma visão em corte do freio de um dinamômetro de corrente alternada. -----	31
Figura 5 - Dinamômetro Dynamite, modelo 200HP de 460 KW -----	41
Figura 6 - Módulo de injeção e ignição eletrônica programável com display OLED e controle de roda fônica e distribuidor. -----	43
Figura 7 - Peças auxiliares que formam por completo o sistema FuelTech ft300. --	45
Figura 8 - Imagem do controlador do dinamômetro da Dynamite-----	46
Figura 9 – Acoplamento personalizado e na parte interna pode ser observado o eixo do dinamômetro com a rosca para manutenção -----	47
Figura 10 - Imagem mais visível dos parafusos passantes que unem o acoplamento com o eixo do dinamômetro -----	47
Figura 11 -Motor Fiasa 1.0 L 8V encontrado no laboratório de motores FGA-----	48
Figura 12 - Imagens do semieixo de Kombi já acoplado ao volante do motor-----	49
Figura 13 A esquerda o etanol anidro e a direita a gasolina do tipo A-----	51
Figura 14 - Gerador da Toyama. -----	54
Figura 15 Misturas montadas em laboratório para o teste de densidade-----	56
Figura 16 testes utilizando a balança de precisão e o recipiente para obter a densidade das partes-----	57
Figura 17 - Visão da área externa-----	59
Figura 18 - Banco de resistores e o escape do motor -----	59
Figura 19 - Antiga posição do escapamento-----	60
Figura 20 - Nova saída do escapamento já com a posição paralela ao contêiner----	61
Figura 21 - Central de comando do módulo FuelTech FT300-----	62
Figura 22 - Módulos auxiliares da FuelTech FT300-----	62
Figura 23 - Encaixe entre semieixo de Kombi e acoplamento personalizado de dinamômetro-----	63
Figura 24 - Configuração de montagem para o teste das misturas. -----	64
Figura 25 - Potência aferida com as dadas linhas de erros-----	65
Figura 26 - Torque aferido com as dadas linhas de erros-----	66

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 -- Características do motor pelo agrupamento de cilindros -----	21
Tabela 2 – Propriedades dos combustíveis -----	38
Tabela 3 – Características do motor de bancada -----	48
Tabela 4 – Valores do ângulo das válvulas -----	48
Tabela 5 – Tratando a lógica de programa para uma mudança de misturas a partir da densidade, exemplificado para um peso inicial de 5 Kg -----	52
Tabela 6 – - Ficha Técnica com os dados mais importantes do TF1200Cx -----	54
Tabela 7 – Valores obtidos experimentalmente para a densidade -----	57
Tabela 8 -Desvio Padrão apurado das medições do multímetro e do alicate amperímetro -----	65
Tabela 9 - Relação do Consumo específica para cada mistura-----	67
Tabela 10 - Relação de dados aferidos para a Gasolina Pura -----	74
Tabela 11 - Relação de dados aferidos para a E10 -----	74
Tabela 12 - Relação de dados aferidos para a E20 -----	75
Tabela 13 - Relação de dados aferidos para a Gasolina de Posto -----	75
Tabela 14 - Relação de dados aferidos para a E55 -----	76
Tabela 15 - Relação de dados aferidos para a E75 -----	76
Tabela 16 - Relação de dados aferidos para a E85 -----	77

LISTA DE ACRÔNIMOS

a	Raio da arvore de manivelas
Acc	Area da camara de combustão
Ap	Area da coroa do pistão
$\left(\frac{A}{f}\right)$	Relação ar-combustivel
$\left(\frac{A}{f}\right)_{est}$	Relação ar-combustivel estequiométrico
B	Diâmetro do cilindro
Cv	Calor específico a volume constante
Ce	Consumo específico
Cp	Calor específico a pressão constante
Cp_{mi}	Coefficiente de variação da pressão media indicada
Vd	Volume da area de deslocamento do pistão
V	Volume de um cilindro
Vt	Volume total dos cilindros
Vc	Volume na camara de combustão
V_{med}	Velocidade média
Vp	Volume do pistão
Qt	Calor liberado
Q_{hv}	Conteudo do aquecimento da combustão
Qc	Calor fornecido pela combustão
Q_{pi}	Poder calorifico do combustivel
Qa	Calor aproveitado da queima
e_B	Eficiencia da bombagem
Tr	Relação de compressão

T	Torque
t	Numero de ciclos
T_o	Temperatura absoluta
P_e	Potência efetiva
p_{mi}	Pressão media indicada
p_{ma}	Pressão media de atrito
p_{me}	Pressão media efetiva
P_s	Pressão do ar seco
P_i	Potência indicada
P_{cr}	Potência Corrigida
P	Potência
p	Pressão no cilindro
S	Distancia entre pmi e pms
s	Distancia eixo a eixo, do eixo de manivelas
R_c	Relação entre o comprimento da biela e o raio da árvore de manivelas
r	Comprimento da biela
R	Constante universal dos gases
α	Fator de correção
θ	Angulo da arvore de manivelas
λ	Fator lambda
Φ	Inversamente proporcional ao fator lambda
η_f	Rendimento da combustão
η_m	Rendimento mecanico
η_t	Rendimento inerente
η_T	Rendimeto total

η_a	Rendimento relativo
x	Numero de tempos
z	Numero de cilindros
n	Rotações do motor
M_f	Quantidade de combustivel
M_a	Quantidade de ar admitido
m_f	Fluxo de massa
σ_{pmi}	Desvio padrão da pressão media indicada
W_i	Trabalho indicado
W_p	Trabalho de bombagem
W_e	Trabalho efetivo
W_t	Trabalho da produção da queima
ΔG	Energia livre de Gibbs
ΔH	Entalpia
ΔS	Entropia

SUMÁRIO

RESUMO.....	7
ABSTRACT.....	8
LISTA DE FIGURAS.....	9
LISTA DE TABELAS.....	10
LISTA DE ACRÔNIMOS	11
1. INTRODUÇÃO.....	17
1.1. OBJETIVO PRICIPAL.....	19
1.2. OBJETIVOS ESPECIFICOS	19
2. REFERENCIAL TEÓRICO	20
2.1. MOTORES A COMBUSTÃO INTERNA	20
2.2. CLASSIFICAÇÃO DOS MOTORES	21
2.4. RENDIMENTOS E EFICIÊNCIAS.....	24
2.5. FUNCIONAMENTO DE DINAMOMETROS.....	30
2.6. ACOPLAMENTOS.....	32
2.7. REFERENTE AO COMBUSTÍVEL.....	33
2.8.COMBUSTIVEIS.....	33
2.9.OCTANAGEM	35
2.10.EMISSÕES DE GASES DADOS PELA COMBUSTÃO	35
2.11. PROPRIEDADES FÍSICO-QUÍMICAS DOS COMBUSTÍVEIS GASOLINA E ETANOL	37
2.12. MISTURAS DE ETANOL E GASOLINA COMO COMBUSTÍVEIS EM MOTORES <i>OTTO</i>	39

3. MATERIAIS E MÉTODOS.....	41
3.1. DESCRIÇÃO DO LABORATÓRIO DE ANÁLISE DE MOTORES DE COMBUSTÃO INTERNA – LAMCI ..	41
3.1.1. BANCADA DINAMOMÉTRICA.....	41
3.1.2. SISTEMA DE AQUISIÇÃO DE DADOS	42
3.1.3. INJEÇÃO ELETRÔNICA PROGRAMÁVEL FUELTECH MODELO FT300.....	42
3.1.4. MODULO DE CONTROLE DO DINAMÔMETRO	45
3.1.5. ACOPLAMENTO DO DINAMÔMETRO	46
3.1.6. SISTEMA DE SUPORTE E MANUTENÇÃO DE MOTORES	48
3.1.7. EIXO PARA ACOPLAMENTO	49
3.2. COMBUSTÍVEIS	50
3.3. PROCEDIMENTO EXPERIMENTAL PARA O CONSUMO DE COMBUSTÍVEL	51
3.4. METODOLOGIAS PARA A OBTENÇÃO DAS MISTURAS.....	51
3.6. PROCEDIMENTO EXPERIMENTAL PARA O TESTE DAS MISTURAS EM UM GERADOR.....	54
4. RESULTADOS E DISCUSSÕES	56
4.1. EXPERIMENTO DE DENSIDADE DAS PARTES.....	56
4.2. ÁREA EXTERNA DO LAMCI	58
4.3. MODULO DE INJEÇÃO ELETRÔNICA PROGRAMÁVEL.....	61
4.4. DINAMOMETRO E LIGAÇÃO AO MOTOR.....	63
4.5. RESULTADOS DO EXPERIMENTO DAS MISTURAS NO GERADOR	64
5. CONCLUSÕES	68
5.1. TRABALHOS FUTUROS	68
6. REFERENCIAL BIBLIOGRÁFICO.....	70

7. ANEXOS	74
------------------------	-----------

1. INTRODUÇÃO

A evolução tecnológica leva a novos patamares de inovação quando tratado os motores de combustão interna (MCI), novos sistemas de injeção, materiais, sistemas de controles, entre outros. Isso tem possibilitado uma maior variação de motores no mercado variando sua eficiência e economia, uma ferramenta muito importante que proporciona essa evolução continua são os dinamômetros, fazendo com que os testes em bancada sejam indispensáveis ao futuro tecnológico dos motores, fazendo com que vários parâmetros sejam utilizados para mediar a qualidade dos testes em bancada, o que torna fatores como, aditivos, combustíveis, emissões, entre outros, serão verificados para melhorar desempenho. (Ferguson, 1986).

Impactos ao meio ambiente causados pelas emissões de veículos automotores é sem dúvida, um importante indicador para reduções dos efeitos de poluição em escala global. Neste contexto desenvolver e testar soluções que permitam melhor desempenho de motores de combustão interna (MCI), com menores emissões de poluentes, parece uma boa estratégia de ataque ao problema. Ao se integrar análise de desempenho baseados em parâmetros mensuráveis de um MCI aos índices de emissões promovidos por essa máquina, busca-se um instrumento eficiente de análise de otimização. Neste tcc são apresentadas ações para operacionalização da bancada de testes da FGA aplicando um caso específico de análise de desempenho de um motor do ciclo Otto quatro tempos operando com misturas de gasolina e etanol.

A gasolina é formada por diversos hidrocarbonetos com diferentes cadeias, e assim que sai da coluna de destilação possui uma resistência a detonação próxima a 65 octanas, o número de octanas é um método desenvolvido para avaliar a resistência a detonação de um determinado combustível. Por conta da baixa octanagem da gasolina pura tipo A, uma menor taxa de compressão afasta o risco de pré-detonação, porém o motor gera menos potência, devido a popularização dos motores a combustão interna a procura por maior desempenho e eficiência foi necessária novos métodos de elevação da octanagem do combustível, então em 1921 o engenheiro mecânico *Thomas Midgley* descobriu que a adição de 0,044% de chumbo tetraetila elevava a resistência a detonação para 76 octanas, com o passar dos anos a quantidade de chumbo tetraetila foi aumentando e isso possibilitou que

os motores tivessem taxas de compressão cada vez mais altas, porém a gasolina com chumbo era extremamente perigosa, por se tratar de um metal pesado que não sendo queimado por completo durante a combustão, contaminando a atmosfera com chumbo e infectando as pessoas através da respiração. (MELAINA, 2007)

Em 1931, passa a ser obrigatória a adição de álcool anidro à gasolina em 5%, como forma de substituir o chumbo tetraetila, mas essa porcentagem podia variar em função da disponibilidade do álcool durante a Segunda Guerra Mundial e, com a falta da gasolina, já que esta era importada. No ano de 1953 é criada a Petrobras, pelo presidente Getúlio Vargas. A nova empresa era responsável pelo monopólio da exploração do petróleo, tendo como objetivo tornar o país autossuficiente em petróleo. Vale lembrar que na mesma década tem-se a introdução da Indústria Automobilística no país. Na crise do petróleo em 1973, cuja principal causa foi o embargo dos países membros da Organização dos Países Exportadores de Petróleo (OPEP) e onde estes eram os maiores produtores de petróleo do mundo, fez com que o órgão elevasse o valor do barril do petróleo visando o maior lucro possível, passando de 1,9 dólares/barril em 1972 para 11,2 dólares/barril em 1974. Nessa época, o Brasil ainda importava 80% do petróleo que consumia. Este impacto foi muito grande para a economia brasileira e algo deveria ser feito para cessar a subordinação ao petróleo importado. (CRUZ *et al.*, 2015)

O presidente da época, Ernesto Geisel, tomou uma série de medidas na área dos combustíveis e, em 1975, foi criado o Programa Nacional do Álcool (Proálcool). Dessa maneira, o país torna-se um pioneiro na procura de formas alternativas e limpas de combustíveis renováveis e líder mundial na produção e uso de etanol. Com o fim do embargo, e consequente queda do barril de petróleo e problemas de abastecimento de etanol ao mercado consumidor, o programa entrou em declínio, vindo a encerrar em 1990. No entanto, para compensar esta queda, os índices de etanol anidro adicionado à gasolina foram elevando-se com o passar dos anos e, a partir de 16 de março de 2015, o percentual obrigatório de etanol anidro combustível à gasolina é de 27% para a gasolina comum e 25% para a gasolina *premium* (MAPA, 2015; CRUZ *et al.*, 2015).

1.1. OBJETIVO PRICIPAL

O principal objetivo do presente trabalho é a personalização dos instrumentos da bancada dinamométrica no Laboratório de Motores de Combustão, na Universidade de Brasília (UnB), no campus do Gama (FGA).

1.2. OBJETIVOS ESPECIFICOS

- Estudar a ABNT NBR ISO 1585:1996 que é código de ensaio de motores que trata a potência líquida efetiva
- Programar a parte experimental no laboratório de motores
- Medir desempenho do motor com diferentes misturas gasolina/etanol
- Medir o consumo específico de combustíveis para diferentes misturas de etanol e gasolina

2. REFERENCIAL TEÓRICO

Nesta seção serão apresentados os parâmetros e conceitos necessários para o desenvolvimento do presente trabalho e para o entendimento de alguns estudos encontrados na revisão bibliográfica.

2.1. MOTORES A COMBUSTÃO INTERNA

Este tópico visa introduzir o conceito de máquinas térmicas, que queimam mistura de combustível e comburente, liberando a energia química do combustível e transformando em trabalho mecânico, os chamados motores a combustão interna, difundido em várias utilizações, o mais conhecido é a locomoção de veículos, sejam eles avião, barco, caminhão, trem, etc. Apesar de terem passado por melhorias nas últimas décadas, devido a restrições cada vez mais rígidas com a emissão de poluentes, estes motores geram gases poluentes indesejáveis como subproduto de sua queima incompleta dos combustíveis. No trabalho apresentado o estudo se realizará sobre o motor de combustão interna do tipo volumétrico, alternativos.

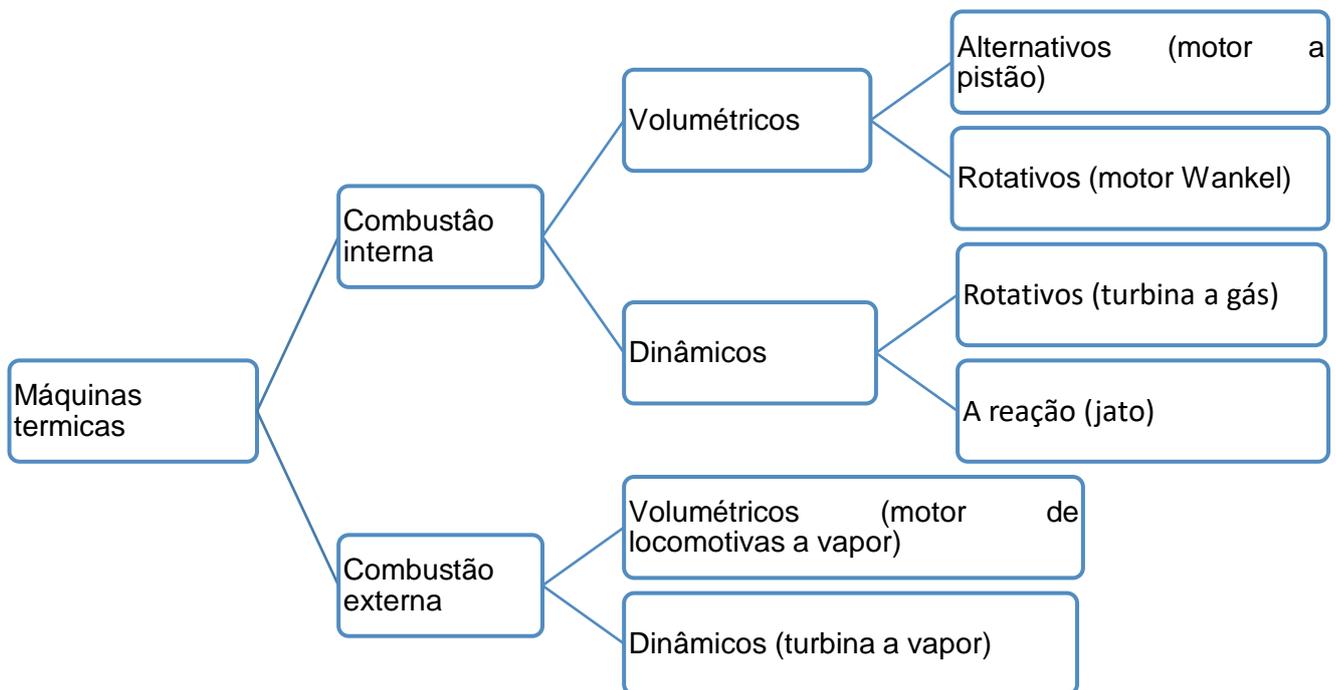


Figura 1- Classificação quanto ao princípio de funcionamento. Adaptado de Martins (2006)

Classificação quanto aos ciclos de operações e tipo de ignição, inicialmente o dado trabalho apresentará o conceito básico de ciclo teórico a pressão

constante ou Diesel, nesses motores, o pistão comprime somente o ar, até que o mesmo atinja uma temperatura alta o suficiente, para quando o pistão se aproximar do PMS, neste momento injeta-se o combustível que inflama espontaneamente com o oxigênio presente. E os motores a volume constante (OTTO), são motores onde a mistura ar-combustível é admitida ou formada no interior dos cilindros em motores com injeção direta de combustível (GDI) e inflamada por uma faísca ocorrida nos eletrodos das velas, porém este tipo de motores está sujeito a anomalias da combustão designadas como “*knock*” que limita o valor da taxa de compressão.

2.2. CLASSIFICAÇÃO DOS MOTORES

O motor de combustão interna deve possuir uma estrutura suficientemente rígida para suportar as elevadas pressões e velocidades a que está sujeito. Sua estrutura é constituída por três partes, cabeçote, bloco do motor e cárter. Estes motores podem possuir 1 cilindro (monocilíndricos) ou vários cilindros denominados, multicilíndricos, havendo vantagens e desvantagens para cada situação, conforme a tabela abaixo.

Tabela 1. – Características do motor pelo agrupamento de cilindros

Tipo	Vantagens	Desvantagens
Em linha	Baixo preço, simplicidade de construção e montagem.	Número de cilindros, limitado pelo comprimento.
Em V	Volume e comprimento reduzido	Custo elevado
Em W	Volume e comprimento muito reduzidos	Custo elevado
Em U	Volume e comprimento reduzidos	Custo elevado, perdas mecânicas.
Cilindro Opostos (boxer)	Baixo centro de gravidade, comprimento reduzido.	Custo elevado
Pistões Opostos	Usado em motores Diesel 2 tempos, elevado rendimento	Motor muito largo e muito pesado, custo elevado.
Em H	Compacidade, possibilidade de usar muitos cilindros.	Custo elevando, perdas mecânicas.
Em estrela ou radial	Comprimento reduzido, grande área frontal (para arrefecimento a ar)	Custo elevadíssimo

Fonte: Brunneti 2013.

Num motor a combustão o curso do cilindro pode ser maior ou menor que o diâmetro, mantendo o mesmo volume do cilindro. Sendo assim, a relação curso-diâmetro é muito importante para as características de um motor. (Martins, 2006)

- Motor quadrado: quando o diâmetro do pistão é igual ao curso ($D=C$), caracterizando motores com bom desempenho em todas as rotações.
- Motor Subquadrado: quando o diâmetro do pistão é menor que o curso ($D < C$), caracterizando motores apresenta torque e potência em baixas rotações.
- Motor Superquadrado: quando o diâmetro do pistão é maior que o curso ($D > C$), caracterizando motores de veículos esportivos com torque e potência em altas rotações.

O volume de um cilindro mostra uma relação que, dado o volume de deslocamento da câmara, o tamanho do curso percorrido pelo cilindro e o diâmetro do mesmo tem-se uma relação direta às perdas de calor recorrente na câmara. A geometria básica do motor demonstra o volume, sendo uma relação da função da posição do ângulo θ da árvore de manivelas. (PULKABREK, 1997)

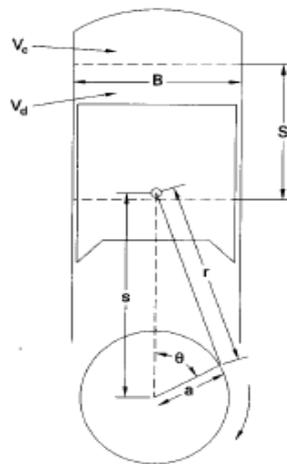


Figura 2 – Geometria básica de um motor ciclo Otto. Pulkabrek (1997)

A figura acima demonstra a geometria padrão de um motor ciclo Otto onde B é o diâmetro do cilindro, S é a distância entre os pontos mortos superior e inferior (também conhecido como comprimento de curso do pistão para um tempo de ciclo de operação), a é o raio da árvore de manivela, Vc é o volume da câmara de combustão, θ é o ângulo da árvore de manivelas, Vd é o volume da área de deslocamento pelo arraste do cilindro, r é o comprimento da biela, s é a distância

entre o centro do eixo da árvore de manivelas e o centro do pino principal do pistão como articulação da conexão destes. Assim, a partir da relação mostrada no parágrafo acima, encontra-se uma relação para o cálculo do volume efetivo da câmara de combustão, primeiramente tem-se que Tr é a relação de compressão, Rc é a relação entre comprimento da biela e o raio da árvore de manivelas, o volume do cilindro é dado por V , mostradas a seguir. (Heywood, 1988; Pulkabrek, 1997).

$$Tr = \frac{Vd + Vc}{Vc} \quad (1)$$

$$Rc = \frac{r}{a} \quad (2)$$

$$V = Vc + \left(\frac{\pi B^2}{4}\right)(r + a - s) \quad (3)$$

$$s = a \cos \theta + (r^2 - a^2 \sin^2 \theta)^{1/2} \quad (4)$$

Calculo referente à área de transferência de calor do cilindro variando com o ângulo da cambota, onde A_{cc} é a área da câmara de combustão e A_p é a área da coroa do pistão.

$$A = A_{cc} + A_p + \frac{\pi Br}{2} (a_{bc} + 1 - \cos \theta - \sqrt{a_{bc}^2 - \sin^2 \theta}) \quad (5)$$

Referente a velocidade instantânea do pistão em cada posição.

$$V_p = V_{med} \frac{\pi}{2} \sin \theta \left[1 + \frac{\cos \theta}{\sqrt{a_{bc}^2 - \sin^2 \theta}} \right] \quad (6)$$

Relação ar-combustível (A/F), os motores a combustão interna são limitados pela quantidade de ar admitido pelo motor (M_{ar}) que pode entrar em cada ciclo, volume ar é igual ao volume varrido pelo pistão, paralelamente a quantidade de combustível (M_f) que o motor admite também é limitada, pois existe uma relação entre as duas, que determinará se a queima será estequiométrica $\lambda = 1$, caso a quantidade de combustível for maior que o requerido, é chamado de mistura rica $\lambda <$

1, caso a quantidade de combustível fornecido for menor que o requerido é chamado de mistura pobre $\lambda > 1$. (Martins 2007).

$$\frac{A}{F} = \frac{M_{ar}}{M_f} \quad \text{Relação ar-combustível} \quad (7)$$

$$\phi = \frac{\left(\frac{A}{F}\right)_{est}}{\left(\frac{A}{F}\right)} \quad \text{Mistura rica} \quad (8)$$

$$\lambda = \frac{\left(\frac{A}{F}\right)}{\left(\frac{A}{F}\right)_{est}} \quad \text{Mistura pobre} \quad (9)$$

2.4. RENDIMENTOS E EFICIÊNCIAS

O calor liberado na combustão possui perdas necessárias de serem contabilizadas, pois durante a combustão na câmara, tem-se uma fração de percas pela fresta entre o pistão, o cilindro e os anéis, além de outra parte dada as percas por calor entre o cabeçote e o bloco de motor. Logo, com o calor liberado, considera-se não somente o calor realmente utilizado pelo sistema, mas também as percas relacionadas. Na fórmula de suas constantes são Qt (calor liberado), Cv é o calor específico a volume constante, Cp é o calor específico a pressão constante, R a constante universal dos gases, p é a pressão no cilindro e Vt é o volume total dos cilindros. (Taylor, 1985; Heywood, 1988).

$$\partial Qt = \left(\frac{Cv}{R}\right)VtdVt + \left(\frac{Cp}{R}\right)pdp \quad (10)$$

Aonde dp e dV são as derivadas parciais da pressão e do volume.

A efetividade da combustão, ou seja, a relação à quantidade de energia teoricamente fornecida pelo combustível na queima e o que realmente é fornecido, é dado por:

$$\eta_c = \frac{Qc}{m_f Q_{pi}} \quad (11)$$

Onde Q_c é o calor fornecido pela combustão, Q_{pi} é o poder calorífico do combustível. Parte desse calor liberado na combustão é perdida por transferência de calor com as paredes do cilindro e somente parte deste calor é aproveitada Q_a .

$$\eta_a = \frac{Q_a}{Q_c} \quad (12)$$

O rendimento teórico, de acordo com a segunda lei da termodinâmica, teoricamente existe uma relação do calor aproveitado da queima Q_a e o trabalho produzido por este W_t .

$$\eta_a = \frac{W_t}{Q_a} \quad (13)$$

Rendimento relativo às propriedades dos fluidos, no ciclo teórico considera-se que as propriedades dos fluidos (ar) não variam com a temperatura, porém tanto a propriedade do ar como dos gases gerados pela queima do combustível variam com a temperatura, diminuindo a eficiência do trabalho.

$$\eta_a = \frac{\text{trabalho considerando as propriedades reais dos fluidos}}{\text{trabalho do ciclo teórico}} = \frac{W_p}{W_i} \quad (14)$$

Rendimento inerente, motores a gasolina apresentam duas áreas em seu ciclo indicado, onde uma das áreas é negativa W_p (bombagem) 5-6-7-1-5 e outra o ciclo inerente W_i , (positivo) 1-2-3-4-1 conforme mostrado na figura.

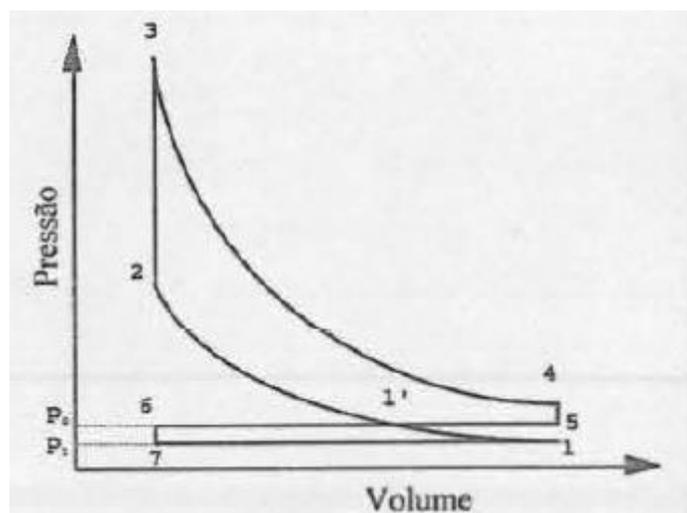


Figura 3 - ciclo teórico Otto. Martins 2006.

$$\eta_t = \frac{W_i}{W_p} \quad (15)$$

Eficiência de bombagem, as perdas aqui são importantes para os motores por ignição por centelha, onde a carga é controlada pela restrição da passagem de ar, fazendo com que o motor trabalhe com uma bomba de vácuo fornecendo para os cilindros uma mistura de baixa pressão.

$$e_B = 1 - \frac{\text{perdas de bombagem}}{\text{trbalho do ciclo inerente}} = \frac{W_i}{W_t} \quad (16)$$

Rendimento mecânico, num motor real as maiores perdas são causadas pelos atritos mecânicos e hidráulicos.

$$\eta_M = 1 - \frac{\text{perdas por atrito}}{\text{Trabalho do ciclo indicado}} = \frac{W_e}{W_i} \quad (17)$$

Rendimento total, o produto de todos os rendimentos citados, e a energia do combustível que é queimado.

$$\eta_T = \eta_c \cdot \eta_A \cdot \eta_a \cdot \eta_p \cdot \eta_i \cdot e_b \cdot \eta_m \quad (18)$$

Eficiência volumétrica como já mostrado, a cilindrada dos motores limita a quantidade de ar e combustível que pode entrar no motor a cada ciclo. Onde o volume de ar que entra a cada ciclo M_{ar} , e a cilindrada do motor.

$$\rho \cdot V_d \cdot N \quad \text{Cilindrada} \quad (19)$$

$$e_{vol} = \frac{M_{ar}}{\rho \cdot V_d \cdot N \cdot \frac{t}{2}} \quad \text{t numero de ciclos} \quad (20)$$

Consumo específico, para testes em motores, é mensurada como um fluxo de massa em um dado tempo, designado como mf (*mass flow*). De maneira mais eficiente de se obter o consumo específico Ce de um motor é mensurado o fluxo mássico por unidade de potência, assim tendo uma relação melhor elaborada das variáveis, além de ser uma forma determinante para se iniciar uma explicação sobre a eficiência na conversão do combustível. (Martins 2007).

$$Ce = \frac{mf}{Pe} \quad (21)$$

As unidades utilizadas em SI:

- $Ce = \text{g/kW} \cdot \text{h}$
- $mf = \text{g/h}$

- Pe = é potência efetiva kW

Eficiência na conversão de combustível, a energia do combustível, que é fornecida após a combustão deste na câmara é dada pela massa de combustível fornecida para um determinado ciclo na câmara de combustão e multiplicado em relação ao substancial aquecimento do combustível durante a ignição. Este valor de aquecimento da combustão é designado como Q_{hv} , que define o conteúdo energético da queima, mais conhecido como o poder calorífico do combustível, para se obter a eficiência dessa conversão térmica do combustível um teste de determinação é realizado. A massa do combustível é queimada junto com ar na câmara de combustão e a energia térmica criada na combustão é absorvida por um calorímetro. O valor mensurado neste calorímetro é dito como a eficiência na conversão do combustível dada como η_f , essa eficiência serve para quantificar-se de forma precisa a eficiência do motor, fazendo a diferenciação entre eficiência térmica e eficiência da combustão. (Heywood 1988).

$$\eta_f = \frac{1}{C_e * Q_{hv}} \quad (22)$$

O consumo específico é inversamente proporcional à eficiência na conversão para combustíveis hidro carbonados.

A potência efetiva (Pe) é a potência medida no eixo do motor, ou seja, no dinamômetro, um modo de calcular a potencia efetiva é dado pelo torque T em $N.m$, e n em rpm ou rad/s.

$$Pe = T. \omega = T. 2\pi. n \quad (23)$$

Outro modo de calcular a potência efetiva de um motor, é a partir da massa do combustível, desde que se conheça o rendimento total do motor.

$$Pe = \eta_t. mf. Q_{pi} \quad (24)$$

Potencia indicada é a taxa de transferência de trabalho do gás dentro do cilindro. Os valores indicados são usados para identificar o impacto da compressão, combustão e processos de expansão no desempenho do motor. A potência indicada representa a soma do trabalho útil do cilindro e o trabalho necessário para superar todas as perdas do motor. Potencia indicada Pi , no SI é dada pela equação (25), em

que t é o número de tempos do motor (motor ciclo Otto quatro tempos $x=4$), Wi é o trabalho, n é a rotação do motor e z é o número de cilindros do motor. (Brunetti 2013)

$$Pi = Wi \cdot \frac{n}{x} \cdot z \quad (25)$$

Fatores de correção para potência e eficiência volumétrica, a pressão, a temperatura e umidade afetam diretamente a potência dos motores, dessa maneira, fatores de correção devem ser utilizados para que se possam comparar os resultados de motores ensaiados em condições adversas.

Fatores de correção da potência efetiva dos motores ciclo Otto e ciclo Diesel são regulamentados pela Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) através da norma NBR ISO 1585.

A potência corrigida é dada pela equação (26), onde Pcr é a potência corrigida, α é o fator de correção e Pe é a potência efetiva.

$$Pcr = \alpha Pe \quad (26)$$

Para as condições atmosféricas de referência do ensaio, devem ser respeitados alguns limites para a temperatura de referência, de 288K (25°C), já a pressão do ar seco (pressão seca) é baseada em uma pressão total de 100KPa e à pressão de vapor de 1KPa.

$$288K \leq T \leq 308K$$

$$80KPa \leq Ps \leq 110KPa$$

Onde:

Ps = pressão de ar seco em [KPa], no local do ensaio.

To = temperatura absoluta em [K], na entrada do motor.

O fator α para motores de ciclo Otto é representado pela equação (27)

$$\alpha = \left(\frac{99}{Ps}\right)^{1,2} \left(\frac{To}{298}\right)^{0,6} \quad (27)$$

O fator α só é válido dentro do limite estabelecido pela equação (28), e impostas pelas relações estabelecidas na equação (27)

$$0,93 \leq \alpha \leq 1,07 \quad (28)$$

Se estes limites forem excedidos, o valor da potência corrigida deve ser informado em conjunto com as condições de temperatura e pressão do ensaio. (Martins 2006).

A pressão média indicada é a pressão aplicada sobre a cabeça do pistão de forma constante ao longo da fase de expansão do ciclo de funcionamento, pode-se obter um valor igual ao de todo o ciclo de funcionamento. A relação matemática que detalha isso é dada abaixo, aonde W_i é o trabalho indicado correspondente a área do ciclo termodinâmico desenhado pelo diagrama p-v e V_c novamente é o volume da câmara de combustão.

$$p_{mi} = \frac{W_i}{V_c} \quad (29)$$

Já para a relação necessária para o coeficiente da variação da pressão média indicada, tem-se uma necessidade do cálculo do erro associado, pois neste é dado como resultado de uma relação onde o coeficiente é mostrado abaixo. O $C_{p_{mi}}$ é o coeficiente de variação da pressão média indicada e o $\sigma_{p_{mi}}$ é o desvio padrão da pressão média indicada. Os cálculos dos erros associados ficarão no tópico métodos e materiais que, quando tratado dos valores dos parâmetros do trabalho, os erros associados serão mais abordados.

$$C_{p_{mi}} = \frac{\sigma_{p_{mi}}}{p_{mi}} * 100\% \quad (30)$$

Do mesmo modo, a pressão média de atrito (p_{ma}) é o quociente entre o trabalho necessário para vencer o atrito do motor. Um fator importante na comparação entre motores, é o trabalho realizado pelo volume do motor ou pressão média efetiva, p_{me} , com esta pressão é possível avaliar o motor que a cilindrada foi melhor aproveitada para produção de trabalho.

$$p_{me} = p_{mi} - p_{ma} \quad (30)$$

$$p_{me} = \frac{\pi \cdot T \cdot t}{V_d} \quad (31)$$

$$p_{me} = \frac{P_e}{V_d \cdot N} \cdot \frac{t}{2} \quad \text{Em termos de potência} \quad (32)$$

De forma a finalizar este tópico, tem-se a teoria sobre o avanço do ponto de centelha e como esse procedimento trabalha com os parâmetros de funcionamento do motor. O avanço da centelha mostra uma relação direta com a octanagem na câmara de combustão e com o *knock*, pré-detonação na câmara, podendo modificar a relação de potência e eficiência do motor, além de propiciar uma queima menos energética no pistão.

Aumentando o avanço da centelha, aumenta-se o tempo no qual as paredes do pistão estão expostas aos gases quentes dos ciclos de combustão. Isso leva a uma combustão da mistura ar-combustível mais distribuída e constante no sistema. Esse aspecto se dá por uma posição da centelha otimizada em relação ao ponto morto superior do seu cilindro, que leva ao torque máximo de produção, pelo ângulo da centelha e seu recuo em relação ao PMS. Tem-se, então, um menor torque e uma maior ocorrência de pré-detonação na câmara. Monta-se uma relação com torque e potência para o automóvel ou, de forma oposta, se trabalhado esse avanço, tem-se o viés da economia de combustível no veículo. (Taylor, 1985)

2.5. FUNCIONAMENTO DE DINAMOMETROS

Dinamômetros são aparelhos que visam medir o torque produzido pelo motor em teste em condições de operação. Ele funciona como um freio de forma a criar diferentes valores de carga o funcionamento do motor, a sua correta seleção é de suma importância aonde a escolha pelo modelo se dá pelo trabalho a ser realizado em um motor CI, 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 torçor resistente aplicado torna-se menor ou maior que o produzido pelo motor. (Brunneti, 2013; Martyr. A. & Plint. A, 2007).

Os dinamômetros são categorizados da seguinte forma:

- Hidráulicos;
- Correntes de Foucault ou parasita;
- Motores Elétricos (Divididos em corrente contínua ou corrente alternadas)

O dinamômetro usado neste trabalho, na figura 8, possui um motor elétrico de corrente alternada (CA), sendo este o dinamômetro mais indicado para trabalhos de pesquisa, já que, além de sensível, pode assumir configuração ativa, acionando o motor para estimar suas resistências passivas, que geram a denominada potência de atrito. Esse dinamômetro é uma máquina elétrica de corrente alternada que pode funcionar como motor ou gerador. O campo desse dinamômetro é de excitação independente que varia a alimentação de campo e rotor, conseguindo ampla variação de velocidades e de potências absorvidas. (Martyr. A. & Plint. A, 2007).

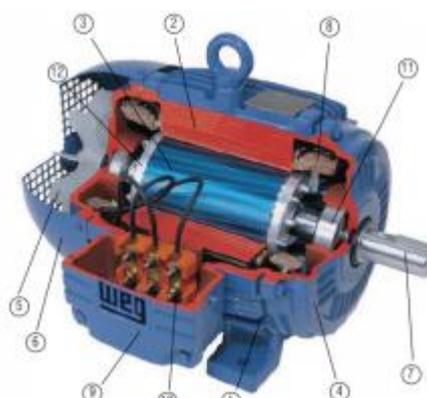


Figura 4 Imagem exemplo de uma visão em corte do motor de um dinamômetro de corrente alternada. Fonte: WEG

Já quando se trata de eixos, deve-se explicitar a seguinte parte.

Um eixo é um membro rotativo, geralmente de secção transversal circular, utilizado para transmitir potência ou movimento. Eles mantêm centralizado a rotação de um determinado conjunto, ou oscilação, de elementos como engrenagens polias, volantes, manivelas, rodas dentadas e similares, também controlando seus movimentos. O projeto da máquina determinará que certos elementos terão pelo menos sido parcialmente analisados e seus tamanhos e espaçamento, tentativamente determinados (Shigley *et al.*, 2008). Tendo assim os seguintes pontos centrais na análise de utilização e escolha correta para projeto:

- Deflexão e rigidez
- Deflexão flexional
- Deflexão torcional
- Inclinação em mancais e em elementos suportados do eixo
- Deflexão de cisalhamento decorrente de carregamento transversal de eixos curtos
- Tensão e Resistência

- Resistência estática
- Resistência de fadiga

2.6. ACOPLAMENTOS

A melhor abordagem é a que consiste em estudar os projetos existentes, como foi o caso deste trabalho, para aprender como problemas similares foram resolvidos e então, por combinação dos melhores destes, resolver seu próprio problema. Muitas situações de projeto de eixo incluem o problema da transmissão de torque de um elemento a outro nesse eixo. Elementos comuns de transferência de torque são os seguintes:

- Chavetas
- Parafusos de fixação
- Estrias
- Ajuste por pressão e contração
- Ajustes cônicos

Usualmente, acoplamentos de dinamômetros costumam ter alguma espécie de pré-molde aonde o método mais correto pode ser observado. Os mais comuns de serem encontrados no mercado são, a chaveta e ou pinos, sendo que estes são usados em eixos para segurar elementos rotantes, tais como engrenagens, polias ou outras rodas. As chavetas são utilizadas para habilitar a transmissão de torque do eixo ao elemento por este suportado. Os pinos são empregados para posicionamento axial e para a transferência de torque ou empuxo (força axial), ou para ambos.

Fundamentais para diversos processos industriais, os acoplamentos são aparelhos de conexão ou interação entre dois sistemas maquinários, eles podem ser utilizados para fins distintos, usualmente para, unir dois eixos, reduzir vibrações, absorver choques, não forçar rolamentos dos motores, transmitir torques, permitir a manutenção no eixo motriz ou no eixo movido individualmente. Normalmente, os acoplamentos são formados por duas flanges, ou seja, discos de metais onde são fixados os eixos. O espaço onde os eixos podem ser encaixados são chamados de cubo. Já os elementos que ligam os dois flanges podem integrar elementos de borracha, parafusos e pinos. (Shingley *et al.*,2008).

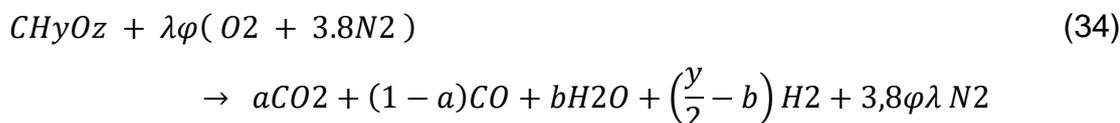
2.7. REFERENTE AO COMBUSTÍVEL

O entendimento necessário para que se saibam as características da reação de combustão da gasolina com o etanol são dadas pela cinética química, nela, muitos processos de combustão, as taxas das reações químicas, determinam a taxa de combustão. Neste sentido, os conceitos de cinética química são fundamentais ao estudo térmico nos ciclos dos motores, para verificar condições de autoignição da mistura ar-combustível em regiões e instantes não desejáveis durante a combustão.

De acordo com Turns (2013), essas reações trabalham em conjunto com a energia livre de Gibbs, neste conceito é trabalhado duas grandezas termodinâmicas, a variação de entalpia (ΔH) que é a energia a pressão constante e da entropia (ΔS) que é o grau de desordem do sistema, relacionado a temperatura. A energia livre de Gibbs relaciona estas grandezas de forma a interpretar a espontaneidade da reação. Formulada da seguinte forma.

$$\Delta G = \Delta H - T\Delta S \quad (33)$$

Com estes conceitos anteriores se tem a base para o entendimento e o cálculo da reação de combustão generalizada do combustível como.



2.8.COMBUSTIVEIS

Combustível é uma mistura de vários componentes e hidrocarbonetos com diferentes propriedades, como por exemplo, a sua temperatura de ebulição. Em se tratando de um componente que deverá ser vaporizado antes de ser queimada, a volatilidade é importante. Motores de ignição por centelha (ICE) geralmente queimam um combustível produzido a partir do petróleo bruto, gasolina ou produzidos de fontes renováveis, tal como o etanol. O combustível deve ser capaz de se submeter às altas pressões e temperaturas que envolvem o processo de combustão sem que a mistura exploda sozinha. Quando tal efeito acontece, cria-se uma combustão irregular denominada de “*knock*” ou também conhecida como pré-detonação. Consequentemente, os combustíveis devem ter uma alta resistência ao

“knock”, esta qualidade do combustível é medida pelo índice de octano ou IO. (MARTINS, 2006)

Gasolina é uma mistura de diversas naftas obtidas do processamento do petróleo. As propriedades destas misturas devem ser balanceadas de modo a dar um desempenho satisfatório em uma grande variedade de condições operacionais dos motores, possuindo hidrocarbonetos de 4 a 12 carbonos, sendo sua maioria entre 5 a 9 carbonos, a gasolina é um produto da destilação fracionada do petróleo bruto, contendo número hidrocarbonetos com temperatura de ebulição variando entre 25°C e 250°C. (BRUNETTI, 2013)

ANP (2011), em sua resolução, menciona que no Brasil, as gasolinas são classificadas como:

- Gasolina tipo A: isenta de álcool etílico anidro, sendo sua comercialização restrita somente entre refinador e distribuidor.
- Gasolina tipo C: a partir de 16 de março de 2015, o percentual obrigatório de etanol anidro combustível a gasolina é de 27% na gasolina comum, e 25% na gasolina *Premium*.

O etanol é uma substância pura, composta por um único tipo de molécula (C_2H_5OH). O etanol pode ser apresentado em duas formas: O Etanol Anidro (AEAC) contendo 0,4% de água, e o Etanol Hidratado (AEHC) com 4% de água em volume. Por ser um álcool, sua estrutura molecular mostra uma fração polar devido à radical hidroxila e uma fração não polar em sua cadeia de carbono. Isso explica porque o etanol pode ser dissolvido na gasolina (não polar) e na água (polar). O etanol é obtido a partir de fontes de açúcares, principalmente hexoses ou polissacarídeos, como a cana-de-açúcar, mandioca, milho, entre outros. O etanol (ou álcool etílico) apresenta duas funções principais de “*commodity chemical*” após a água, o álcool é o solvente mais comum. (MELO *et al*, 2011)

Segundo a resolução ANP N° 7, de 9.2.2011, o álcool etílico anidro combustível fica vedada a comercialização, tendo sua destinação ao distribuidor para ser misturado à gasolina tipo A, e o álcool etílico hidratado (AEHC) destinado a venda no posto revendedor.

2.9.OCTANAGEM

Na década de 1920, a detonação se tornou um importante parâmetro limitante dos motores ICE e várias tentativas de criar métodos de medição deste parâmetro foram feitas. Em 1928, o *Cooperative Fuel Research Committee*-CFRC criou um grupo de trabalho para desenvolver um método para avaliar a resistência à detonação de um combustível. O primeiro método padronizado de pesquisa foi o RON (*Research Octane Number*) e a determinação do número de octano neste motor com taxa de compressão variável foi obtido comparando-se os resultados do combustível a ser avaliado com mistura de isooctano e n-heptano. (BRUNETI, 2013)

- n-heptano: com baixa resistência à detonação, com zero de octanagem.
- 2,2,4-trimetilpentano, ou isooctano: com alta resistência a detonação, com 100 octanas.

A qualidade anti “*knock*” do combustível é medida pelo índice de octano IO. Para que se chegue a um valor, testa-se o combustível em dois experimentos diferentes: o método “Motor” ou MON e a rotação baixa, conhecido como RON. As temperaturas da mistura e os avanços da ignição não são iguais, já que os valores ROM e MON são diferentes, sendo os valores de RON geralmente superiores aos de MOM.

O índice de anti-detonacao (IO), também é um indicativo da qualidade de um combustível em resistir à detonação. (HEYWOOD, 1988)

$$IO = \frac{RON + MOM}{2} \quad (35)$$

Considerando os valores de RON e MON obtendo o IAD da gasolina e do etanol. (MARTINS, 2006)

2.10.EMISSIONES DE GASES DADOS PELA COMBUSTÃO

A emissão de um processo tem uma ocorrência comum durante o mesmo, de forma a classificarmos da seguinte forma (Carvalho e Lacava, 2003):

- Emissões atmosféricas: Aquelas na qual a queima do produto deixa o local do processo pelo ar.

Quanto maior o calor dos gases da combustão, maior a taxa de óxidos de nitrogênio (NO_x). O monóxido de carbono, que também é formado no processo de combustão, varia com a razão ar-combustível (λ), onde uma mistura rica (mais combustível do que ar) possui oxigênio insuficiente para queimar completamente todo o carbono no combustível para formar CO_2 , além de ter a emissão de CO aumentada. Para o caso da mistura pobre a ideia é reversa. (HEYWOOD, 1988)

No Brasil, esse aspecto é regularizado pelo Proconve (Programa de Controle de Poluição do Ar por Veículos Automotores), um programa do Conama (Conselho Nacional do Meio Ambiente) aberto em 1998 e atualizado em 2014.

O gás NO_x é dado pela junção dada pela soma do monóxido de nitrogênio com dióxido de nitrogênio obtém-se na queima NO_x ou óxido nítrico é a oxidação predominante de nitrogênio na combustão e quando jogado na atmosfera forma-se NO_2 , que ao ser lançado para a atmosfera uma fração de NO_x se mistura ao ar com SO_4 e forma H_2SO_4 , princípio químico no ar formador da chuva ácida.

Quando tratado o subproduto do CO com o resultado de combustão parcial ou incompleta se dá a criação de monóxido de carbono. Quando se tem uma combustão com mais combustível que ar, a formação de CO é inevitável, pois não se tem oxigênio suficiente para a criação completa da queima em CO_2 . Ocasionalmente por meio de um produto indesejável na criação, ele representa perda de eficiência e perda química. Independentemente do tipo de reação, ter monóxido de carbono como subproduto da queima é usual e a principal diferença está na proporção que ele se apresenta, o monóxido de carbono é um gás prejudicial à saúde humana e antigamente, devido à gasolina possuir chumbo tetraetila, essa proporção de monóxido de carbono na atmosfera era maior, causando problemas. (Carvalho e Lacava, 2003; TURNS, 2013)

Ao contrário do monóxido de carbono o CO_2 é um produto em maior proporção quando o processo da queima acontece numa mistura pobre, aonde se tem mais ar que combustível, o ar que não participa da reação devido a sua maior proporção na mistura, tem uma maior parcela de CO_2 como seu sub produto de queima.

Já os aldeídos são um subproduto da queima da mistura (mistura essa sendo gasolina misturada com etanol, a proporção de aldeídos pode variar em relação da

proporção gasolina-etanol da mistura), incompleta. (TAYLOR, 1985; Carvalho e Lacava, 2003; TURNS, 2013)

A queima parcial de combustível, durante a injeção, assim como metano e acetileno, sendo estes, hidrocarbonetos de menor peso molecular, mas de mesma base na sua função química, a emissão de CO e hidrocarbonetos não queimados possuem a mesma relação quando tratada à eficiência do motor, onde o controle de emissão de CO afeta de mesma maneira a emissão de hidrocarbonetos. (HEYWOOD, 1988; Carvalho e Lacava, 2003)

2.11. PROPRIEDADES FÍSICO-QUÍMICAS DOS COMBUSTÍVEIS GASOLINA E ETANOL

Rasskachikova *et al.* (2004), investigou que o uso do etanol como aditivo de aumento de octanas é promissor. Esses aditivos possuem um alto índice de octano, baixa volatilidade, formação mínima de carbono, além da melhora da queima do combustível, reduzindo a emissão de monóxido de carbono em 32,5% e de hidrocarbonetos em 14,5%.

Hollet *et al.* (2006) mostraram que, para a mesma razão de equivalência, as chamas do álcool são mais resistentes à extinção do que as chamas de n-heptano e iso-octano, a combustão do etanol é mais rápida e a temperatura da chama é menor em comparação com a gasolina. Esse resultado gera uma menor perda de calor para as paredes da câmara de combustão e maior eficiência térmica. A combustão do etanol gera um maior volume de produto e, assim, maiores pressões são alcançadas no cilindro.

Silva *et al.* (2005) avaliaram que a adição de etanol à gasolina reduziu a pressão de vapor *Reid* (teste *Reid*), o que causa problemas em partidas a frio.

Melo *et al.* (2011) testaram a influência da adição de diferentes misturas de etanol hidratado a gasolina comum, com 25% de etanol anidro, nas proporções de 30%, 50%, e 80% em um motor *flex* de ciclo Otto. O consumo específico de combustível aumentou com misturas de etanol levando a maiores emissões de CO₂. Em geral, as emissões de CO foram reduzidas com a adição de etanol devido ao maior teor de oxigênio do etanol.

A tabela a seguir trata os valores relativos as propriedades físico químicas dos do combustível.

Tabela 2 - Propriedades dos combustíveis

Propriedade do combustível	Gasolina	Etanol
Formula	C8H18	C2H5OH
Relação molar C/H	0,445	0,33
Peso Molecular (kg / kmol)	114,18	46,07
Calor Latente vap (KJ/kg)	~350	900
Relação estequiométrica A/F	14,6	9
Temperatura de ignição (°C)	~400	362
Temperatura da chama (°C)	1993	1924
Ponto de congelamento (°C)	-40	-114
P liquido (Kg/L)	0,72-0,78	0,79
Ponto de ebulição	27-225	78
Densidade (kg/m³)	765	785
PCI (MJ/kg)	44	26.8
PCI mistura (MJ/kg)	2.83	2.69

Fonte: Martins (2006) adaptado.

2.12. MISTURAS DE ETANOL E GASOLINA COMO COMBUSTÍVEIS EM MOTORES OTTO

Silva *et al.* (2005), avaliaram que a adição de etanol à gasolina levou ao aumento da octanagem da mistura. O uso de etanol levou à melhoria da queima no processo de combustão e à redução de monóxido de carbono, bem como dos níveis de compostos aromáticos, com a adição de etanol, até a porcentagem de 25% em volume

Em uma análise comparativa do desempenho de um motor ICE operado com a mistura gasolina etanol, Stan *et al.*(2001) observaram que as vantagens do uso do etanol à gasolina foram as reduções do consumo específico e a menor emissão de poluentes.

Ao desenvolver uma simulação para um motor movido a etanol e misturas etanol-gasolina, o consumo de combustível, temperatura de exaustão e emissões de escape dos combustíveis (contendo 78% de gasolina e 22% de etanol E22 ou com 15% de gasolina e 85% de etanol E85), Dai *et al.* (2003) descobriram que o uso do E85 aumenta a eficiência térmica do motor e o MEP. Enquanto isso, em comparação com o E22, também foi constatado que o E85 reduz os hidrocarbonetos de escape e o monóxido de carbono em diferentes proporções de equivalência.

Conforme Lisa *et al.*(2008), o uso de até 20% de etanol na mistura pode levar a reduções significativas nas emissões de CO. Outros dados apresentados mostram que o uso do E10 (90% gasolina e 10% etanol anidro) culmina na diminuição de 16% da emissão de CO, 9% na emissão de NMHC, 14% de NMOG, 108% de acetaldeído e 15% de benzeno. Nenhuma mudança significativa nas emissões de NOx, formaldeído, CO₂, CH₄, ou N₂O foi registrada. E, com uso do E85 (85% de gasolina 15% etanol anidro), os resultados relatados foram de redução de 45% nas emissões de NOx, 48% de NMHC, 77% 1,3 butadieno e 76% benzeno, aumento de 77% nas emissões de formaldeído e 2540% de acetaldeído.

Por meio de um estudo utilizando um motor 1.0l flexível e, ao mesmo tempo, avaliando o desempenho do motor utilizando etanol hidratado (ou gasolina comum com 22% de etanol anidro), COSTA *et al.*(2009) conseguiram chegar ao seguinte resultado: O uso de uma mistura composta por 78% de gasolina e 22% de etanol anidro, em velocidades abaixo de 3250 rpm, resultou em um torque 2,4% menor quando comparado com uma mistura composta de o etanol hidratado. Enquanto

para velocidades acima de 4000 rpm o uso de etanol hidratado resultou num torque e MEP maiores, além do aumento da potência em 3,7% em relação a mistura gasolina-etanol. Faz-se necessário registrar que o uso de etanol hidratado também proporcionou uma maior eficiência térmica do motor em toda faixa de rotação, chegando numa melhoria de até 14,1% na eficiência.

Yao *et al.*(2012) puderam testar a mistura gasolina-etanol em duas motocicletas de quatro tempos - uma com carburador e a outra com injeção eletrônica. Concluiu-se que o uso da mistura E15 pode ser aplicado com sucesso em motocicletas com carburador e injeção eletrônica sem nenhum ajuste no motor. A mistura ainda proporcionou reduções nas emissões de CO, alcanos, alcenos e grupos aromáticos. No entanto, a emissão de acetaldeído aumentou significativamente.

Matti *et al.* (2011) examinaram o efeito da adição do etanol à gasolina na formação de fuligem em chamas de difusão utilizando-se de misturas E0, E20, E50 e E85. As quatro misturas examinadas apresentaram semelhanças qualitativas na evolução do tamanho da fuligem com a altura da chama.

Com relação aos efeitos da taxa de compressão sobre o desempenho de um motor *flex fuel* (de taxa de compressão variando entre 10:1, 11:1 e 12:1) com utilização de gasolina tipo C e etanol, Costa e Sadré (2011), puderam afirmar que no desempenho do motor - com os dois combustíveis estudados - a taxa de compressão aumenta a MEP dentro do cilindro. Não obstante, o torque também aumentou, enquanto a taxa de compressão reduziu o consumo sob utilização de etanol.

3. MATERIAIS E MÉTODOS

Nesta secção se encontrará as peças centrais para o funcionamento e cumprimento dos objetivos propostos e assim como a metodologia envolvida em suas escolhas e respectivos motivos de uso.

3.1. Descrição do Laboratório de análise de motores de combustão interna – LAMCI

O laboratório de motores de combustão interna LAMCI, que está situado na FGA contêiner 4 e tem por finalidade o suporte às atividades de ensino pesquisa e extensão nas áreas de análise de motores de combustão interna. Atualmente está equipado com os seguintes equipamentos:

3.1.1. Bancada Dinamométrica

Os ensaios do motor serão realizados no Laboratório de Motores de Combustão, na Universidade de Brasília (UnB), no campus do Gama (FGA), utilizando um dinamômetro de corrente alternada da marca Dynamite, modelo 200HP de 460 KW.



Figura 5 - Dinamômetro Dynamite, modelo 200HP de 460 KW

3.1.2. Sistema de Aquisição de Dados

Para este tópico, tem-se a utilização do software Napro Eletrônica Digital. Esta versão do software tem uma base configurável de motores guardados num banco de dados e consegue avaliar em tempo real o funcionamento do motor de forma a se comunicar com a central eletrônica a ECU. Durante a utilização deste software alguns parâmetros ficam claros em tela. É dado o valor da medição e uma faixa de funcionamento ideal para o motor que lhe foi configurado e nele também se vê as avarias encontradas nos sensores e sistemas do motor, além de uma tela que diz o estado do sistema, pois tratando-se de análises em tempo real, avarias e problemas de funcionalidade podem aparecer, assim sendo o software dá avisos em tela dos acontecimentos mais relevantes durante o funcionamento de forma a se ter uma análise com menor chance de problemas.

3.1.3. Injeção Eletrônica Programável FuelTech Modelo FT300

A partir de bicos injetores, que são válvulas eletromagnéticas, o combustível flui para dentro da câmara de combustão em forma de pequenos *sprays* e se mistura no ar admitido pelo motor. O controle dessas válvulas é dado pela *ECU*, bem como a leitura de diversos sensores que informam as condições de uso de um motor e o controle da própria ignição na câmara, são os pontos principais de uma injeção eletrônica. A partir de um micro controlador embarcado no sistema, todas as medidas são tomadas e decisões são feitas pelo sistema quanto a quantidade de combustível a ser injetada bem como o tempo de injeção desta, sem deixar de mencionar o tempo de acionamento da faísca da ignição. Desenvolver sobre os módulos que controlam estes sub sistemas da *ECU*, pode proporcionar várias funcionalidades extras a injeção eletrônica do motor aqui citado neste trabalho, de forma mais resumida, é controlar eletronicamente o processo de combustão dentro de um motor. (Martins, 2006; Pulkabrek, 1997; Brunetti, 2013.)

Visto a necessidade de uma injeção eletrônica programável para futuros testes como diferentes tipos de misturas, e uma modularidade do laboratório, sendo possível assim receber outros motores sem a necessidade da *ECU* original do motor, vislumbramos a necessidade da compra de um modulo de injeção programável.

Abaixo se encontra os produtos utilizados para a montagem da FuelTech modelo ft300:



Figura 6 - Módulo de injeção e ignição eletrônica programável com display OLED e controle de roda fônica e distribuidor. Fonte: fueltech.com.br.

Este é o centro de controle da injeção do motor, com várias funcionalidades como:

- Display OLED de 16x2 caracteres;
- Controle de injeção e ignição por distribuidor ou roda fônica;
- 5 saídas de ignição para controlar sistemas trabalhando em centelha perdida ou bobinas individuais;
- Controle de marcha lenta por ponto de ignição ou solenoide simples;
- Proteção do motor por sinal de detonação;
- Sensor de pressão de óleo e combustível;
- Ajuste do tempo morto dos injetores para cálculo real da abertura dos injetores;

Este sendo o produto principal, ele precisa de algumas outras peças vendidas separadamente para a instalação de futuros motores no laboratório LAMCI com os detalhes necessários e exclusividade na forma que este trabalho irá analisar e associar dados da combustão para as dadas proporções de mistura de etanol anidro à gasolina citados anteriormente, as partes complementares do sistema estão descritas abaixo.

Peak and Hold, é um driver de injeção para o acionamento de injetores de baixa impedância, aonde o seu uso serve para:

- Aplicando-se a potência máxima durante a abertura do bico injetor consegue-se diminuir o tempo morto do mesmo, melhorando a

velocidade de resposta e garantindo uma linearidade de todo o conjunto de injetores.

- A limitação da corrente a um valor de um quarto da corrente de abertura é necessária para evitar que a bobina do injetor queime por excesso de potência, diminuindo o aquecimento do mesmo e prolongando sua vida útil.
- É um equipamento que possui um controle preciso de corrente e é projetado para não sofrer alterações do controle de corrente por variações de tensão da bateria, garantindo um controle preciso em qualquer situação ou anomalia do sistema elétrico do veículo.

SparkPro – 2, é responsável pela injeção por indução de alta energia, esta peça é necessária no dado trabalho por conta de que, o sistema de ignição de um motor é composto por um equipamento que controla o ponto de ignição e um módulo que é responsável pela energia da centelha, porém, sendo preciso e detalhado no mapeamento do ponto de ignição sem uma centelha potente e eficiente para que a combustão ocorra de forma correta e com a máxima potência possível. A *SparkPro - 2* é um módulo de ignição indutiva de alta energia

Ela permite arcos elétricos em altas tensões, aplicando até 400V no primário da bobina de ignição, o que representa 40.000V na vela de ignição (com uma bobina de 1:100), possibilitando uma maior abertura dos eletrodos em comparação a sistemas comuns de ignição (por exemplo, módulos de ignição de motores carburados). Este equipamento possui alta capacidade de corrente e pode trabalhar com bobinas de baixa impedância, possibilitando centelhas com maior energia e duração. A *SparkPro - 2* também é indicada em casos de problemas de interferências eletromagnéticas que causam falhas no sistema de controle de ignição, pois, é um sistema muito robusto com filtros de alta eficiência.

Já a *WB O2 nano* é responsável pelo monitoramento e acerto de motores à combustão, realizando o condicionamento e leitura da Sonda Lambda de Banda Larga, sendo esta sonda lambda o modelo Bosch LSU 4.2. Wideband, um dos pontos centrais pela escolha de uma sonda lambda de banda larga é exatamente o problema inicial citado que tornava necessário todas estas partes do modulo de injeção eletrônica programável, o problema da leitura da *ECU* para com misturas de

gasolina em altos teores de etanol anidro. Enquanto que as outras peças aqui são importantes visto o auxílio em diferentes frentes eletroeletrônicas para a central de controle.



Figura 7 Peças auxiliares que formam por completo o sistema FuelTech ft300. Fonte: Autores.

3.1.4. **Modulo de Controle do Dinamômetro**

Utilizando um servo freio automático de carga de alta vazão, para substituir o controle de carga manual padrão. Apenas pressionando os botões para definir um teste de rotação ou taxa de varredura e os algoritmos avançados do Dynamite e executam todo o teste. O computador do dinamômetro todos os dados automaticamente, para que o usuário não precise executar o teste até o final, o usuário pode adicionar um controle de aceleração eletrônico para automatizar os testes incorporados do DYNO-MAX ou para atualizar as capacidades de qualquer simulação que pode criar.

O modulo de controle foi instalado e colocado em operação pelo mestrando Leonardo Libanio, que também colocou em funcionamento a parte elétrica do dinamômetro com uma ligação estrela-triângulo, assim provável ter a utilização do dinamômetro, mas devido a problemas relacionados a tensão de alimentação, visto que o sistema necessita para o funcionamento correto



Figura 8 - Imagem do controlador do dinamômetro da Dynomite

3.1.5. Acoplamento do Dinamômetro

Após alguns dias verificando qual era o tipo de eixo do dinamômetro, foi descoberto que o eixo era paralelo e não possuía chaveta não era cônico dificultando assim a instalação do eixo que ligaria o motor ao dinamômetro, a primeira ideia foi fabricar um acoplamento paralelo e de interferência onde o furo do acoplamento é menor que o eixo do dinamômetro, porem a ideia foi descartada pois dificultaria manutenções futuras quando este acoplamento apresenta-se defeitos, podendo comprometer todo o dinamômetro. Em busca de alternativas para a resolução do problema, visitamos a oficina do Zezão no autódromo de Brasília, onde este possui grande experiência em instalação, e até mesmo fabricação de dinamômetros de bancada, como este que estamos instalando na Universidade de Brasília campus Gama. E após algumas conversas com o mestrando Leonardo Libânio, chegamos há um senso comum, que o acoplamento seria projetado, pois nenhuma alternativa do mercado nos atendia. Após o fechamento da ideia, levamos

o projeto para a oficina do Zezão, para que fosse usinada nas dimensões requeridas no projeto. O acoplamento seria feito de aço 1045, com 105mm de comprimento o suficiente para calçar todo o eixo do dinamômetro, e deveria possuir um diâmetro 120mm, para que tivéssemos área suficiente para fazer o furo de 56mm do eixo do dinamômetro e ainda tivéssemos área para o acoplamento do semieixo de Kombi.



Figura 9 - Acoplamento personalizado e na parte interna pode ser observado o eixo do dinamômetro com a rosca para manutenção Fonte: Autores.



Figura 10 - Imagem mais visível dos parafusos passantes que unem o acoplamento com o eixo do dinamômetro Fonte: Autores.

3.1.6. Sistema de Suporte e Manutenção de Motores

Atualmente se encontra um motor Fiasa 1.0 litros, 8 Válvulas á gasolina, ensaiada em dinamômetro são apresentadas na próxima tabela:

Tabela 3 Características do motor de bancada

Potência máxima – rotação (CV-rpm)	61 – 6000
Torque máximo – rotação (Nm – rpm)	81 – 3000
Cilindrada (cm³)	994
Número de cilindros	4 em linha
Número de válvulas por cilindro	2
Relação de compressão	9,35±0,5:1
Diâmetro dos cilindros (mm)	76
Curso do pistão (mm)	54,8
Sistema de Gerenciamento eletrônico	IAW IG7CS
Rotação de marcha lenta	850±50
Avanço inicial de Ignição de marcha lenta PMS	9°
Ordem de Ignição	1-3-4-2

Os ângulos de abertura e fechamento das válvulas de admissão e escape do motor Fiasa 1.0 8V são apresentados na próxima tabela. Os valores destes ângulos foram obtidos no manual de serviço do Fiat Palio.

Tabela 4 Valores do ângulo das válvulas

<i>Válvula</i>	<i>Abre</i>	<i>Fecha</i>
<i>Admissão</i>	PMS (9°)	PMI (29,5°)
<i>Escape</i>	PMI (38,5°)	PMS (0°)

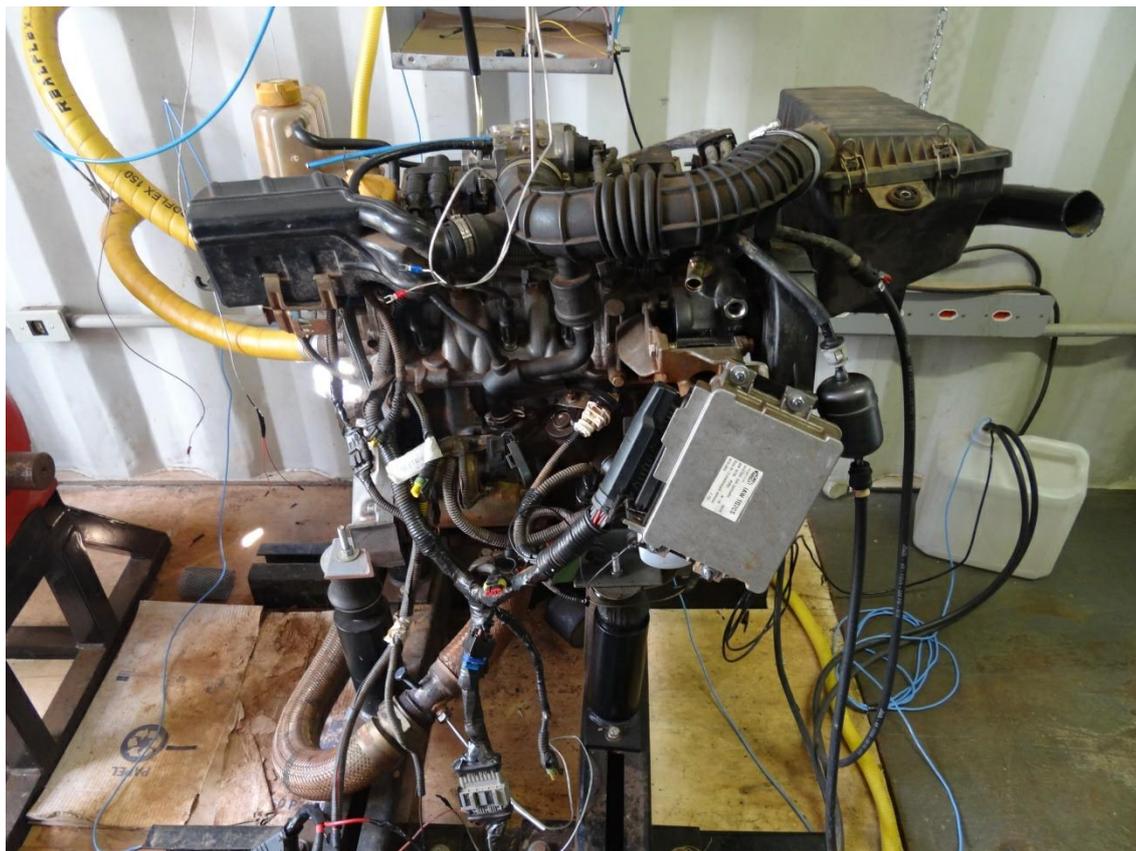


Figura 11 - Motor Fiasa 1.0 L 8V encontrado no laboratório de motores FGA

3.1.7. Eixo para Acoplamento

No caso do eixo utilizado para este determinado trabalho, a escolha foi feita a partir de um estabelecido uso automotivo, diante disso a preferência por um semieixo traseiro de uma Volkswagen Kombi 2012, esta escolha se dá pelo resistência de trabalho de um semieixo deste veículo, visto a admissão de cargas provocadas pelo uso diário neste e a durabilidade com o devido grau de liberdade deste eixo de forma a ser um candidato perfeito para um eixo de encaixe entre o volante do motor e o acoplamento do dinamômetro. Outra justificativa para a escolha, foi que após pesquisas, foi descoberto que este eixo já foi uma solução funcional para empresas e universidades que possuem uma bancada dinamométrica.



Figura 12- Imagens do semieixo de Kombi já acoplado ao volante do motor. Fonte: Autores.

3.2. Combustíveis

Serão utilizados combustíveis padrões de referência para o ajuste da eletrônica do motor. Dessa maneira, os testes utilizarão as misturas preparadas com gasolina tipo A (com adição de etanol anidro, nas proporções 0, 10, 20, 27, 55, 75, 85 por cento de etanol em densidade).

Os combustíveis foram obtidos com um pedido do Professor Fabio Lisboa para a doação dos combustíveis com o terminal de Brasília de distribuição da Petrobras.



Figura 13 A esquerda o etanol anidro e a direita a gasolina do tipo A

3.3. Procedimento Experimental para o Consumo de Combustível

O consumo é determinado, pela variação de peso do combustível na balança pelo tempo do teste. Primeiro coloca-se o recipiente vazio na balança e tarar a balança, colocando 500ml do combustível a ser analisado, e realizando o teste medindo o tempo do teste. Após o teste, tem-se os dados de tempo e variação de peso do combustível, sendo assim possível calcular o consumo, este método é atestado no uso da formula 2.21 e a unidade utilizada é $g/Kw \cdot h$, assim obtém-se o consumo específico do teste usando o gerador.

3.4. Metodologias para a Obtenção das Misturas

A mistura pode ser obtida por proporcionalmente volumétrico, aonde foi utilizado recipientes com a manuseio de pipetas e buretas para acertar as proporções de cada mistura e assim, cumprindo as proporções citadas no objetivo deste trabalho.

- E0 obtida com 0% de etanol anidro e 100% de Gasolina A.
- E10 obtida com 10% de etanol anidro e 90% de Gasolina A.
- E20 obtida com 20% de etanol anidro e 80% de Gasolina A.
- E27 obtida com 27% de etanol anidro e 73% de Gasolina A.
- E55 obtida com 55% de etanol anidro e 45% de Gasolina A.
- E75 obtida com 75% de etanol anidro e 25% de Gasolina A.

- E85 obtida com 85% de etanol anidro e 15% de Gasolina A.

Outra metodologia para os testes, é feita em tempo real a proporção em densidade das misturas, foi utilizada uma lógica no *Excel* para a interpretação a partir de um certo volume da mistura, para saber quanto deve ser adicionado em volume para a obtenção da próxima mistura, deve também ser pesado, pois é uma variável importante. (Por exemplo, o quanto deve ser adicionado para mudar a mistura de E27 para E55).

Tabela 5 Tratando a lógica de programa para uma mudança de misturas a partir da densidade, exemplificado para um peso inicial de 5 Kg.

			Mistura	Peso Inicial (kg)	Peso Final (kg)	VOLUME TOTAL (L)	Densidade Atual	VOLUME gasolina (L)	VOLUME Etanol (L)	Gasolina (%)	Etanol (%)	VOLUME a ser adicionado de etanol	Peso a ser adicionado de etanol	Próximo Peso
Densidade gasolina	0,713	kg/l	E0	5	4,20	5,89	0,713	5,89	0,00	100	0	0,65	0,51	4,71
Densidade etanol	0,783	kg/l	E10	4,71	4,40	6,11	0,720	5,50	0,61	90	10	0,76	0,60	5,00
			E20	5,00	4,20	5,78	0,727	4,62	1,16	80	20	0,55	0,43	4,63
			E27	4,63	3,50	4,78	0,732	3,49	1,29	73	27	2,98	2,33	5,83
			E55	5,83	4,30	5,72	0,752	2,57	3,15	45	55	4,58	3,58	7,88
			E75	7,88	6,10	7,97	0,766	1,99	5,98	25	75	5,31	4,16	10,26
			E85	10,26			0,773			15	85			

3.6. Procedimento Experimental para o Teste das Misturas em um Gerador

Foi utilizado um gerador para o teste das misturas, visto o problema criado com o motor de partida do Fiasa, junto com o problema de montagem da FT300 o que impossibilitava a retirada de dados para este teste, a solução foi dada pelo orientador Fábio Lisboa que optou pelo uso de um gerador para a validação do objetivo da análise das misturas, neste caso foi utilizado um gerador modelo TF1200Cx da marca Toyama.



Figura 14 - Gerador da Toyama. Fonte: Ficha técnica Toyama

Segue a ficha técnica com os dados de maior importância ao teste

Tabela 6 - Ficha Técnica com os dados mais importantes do TF1200Cx

Cilindradas	87 cc
Tensão de saída Nominal	110 V ou 220 V
Potência Nominal	1050 W
Potência Máxima	1200 W
Corrente Nominal	9,5 A / 4,8 A
Potência máx/Rotação (HP/rpm)	2,4/4000

Este gerador foi ligado a um módulo de carga, emprestado do laboratório de eletricidade da UnB FGA pelo técnico Josimar, o módulo funciona como uma bateria a ser ligada ao gerador e podermos trabalhar com a potência nominal do mesmo,

usando uma resistência modular que simula a ligação do gerador em uma rede de 220 Volts, neste caso o aparelho usado é o modulo resistivo, capacitivo e indutivo RCL3R para uso didático da empresa Ediban, com o auxílio do técnico Josimar, para o experimento visto que o módulo resistivo em série tinha uma limitação de 500 Watts o que poderia aquecer demais o módulo, a ligação foi feita de forma correta, acertando as ligações em série e em paralelo aonde fosse necessário para o acerto da voltagem em relação a potência nominal assim o manuseio torna-se seguro, na sequencia foi utilizado um alicate amperímetro colocado sobre o cabo na entrada da alimentação elétrica para obter a corrente que varia no gerador e foi usado um multímetro colocado na saída do modulo resistivo para obter a variação de voltagem que alimenta o gerador.

Para a parte de adquirir dados, já que o teste faz uso de um gerador e este aparelho tem como característica a rotação fixa, no caso deste equipamento, em 4000 rpm, o métodos de adquirir os dados utilizado para este experimento é anotar a cada 30 segundos o valor de tensão no multímetro da marca *icel appa* e o valor de corrente no alicate amperímetro também da marca *CAT II ET-3100*, assim possibilitando o cálculo do valor da potência elétrica dada abaixo e o torque é calculado a partir da formulação também dada abaixo.

$$P = i * U \quad (35)$$

$$P = 2 * \pi * n * \tau \quad (36)$$

Aonde i é a corrente dada em Amperes, U é a tensão dada em Volts, n é o número de rotações do gerador e τ é o torque dado na unidade de Kg*m*f.

4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Neste capítulo será discutido a forma como foi trabalhado os elementos do capítulo 3 com o auxílio da teoria descrita no capítulo 2 de forma sucinta e sequencial.

4.1. EXPERIMENTO DE DENSIDADE DAS PARTES

Primeiramente, a aquisição de 20L (vinte litros) de etanol anidro e 20L de gasolina tipo A, foi feita a partir de um pedido requisitado pelos autores deste trabalho junto com o orientador Fabio Lisboa, com o pedido de doação feito, foi feito o contato junto com o terminal de Brasília da Petrobras.

De início foi feito um teste para provar a densidade do etanol anidro e da gasolina tipo A, com o uso de uma pipeta e um recipiente de 25 ml (vinte cinco mililitros), foi feito o teste de densidade usando a formulação, densidade é igual a massa dividida pelo volume:

$$\rho = m/v \quad (33)$$

Com a formula acima temos um valor de densidade com unidade em gramas por mililitros (g/ml). Foi montado em laboratório as misturas para este teste, aonde foi usado frascos para armazenar as misturas com 200ml para cada mistura a ser analisada neste trabalho (Gasolina pura, E10, E20, aproximadamente E27 para analisar a mistura comum de posto de gasolina, E55, E75 e E85).



Figura 15 Misturas montadas em laboratório para o teste de densidade.

Os valores encontrados de densidade foram tabelados abaixo.

Tabela 7 - Valores obtidos experimentalmente para a densidade

Combustível	Densidade (g/ml)
Gasolina do tipo A	0,712
Etanol Anidro	0,783

Para chegar nos valores de tabela, foi usada uma balança de precisão e um recipiente com marcação para 25 ml, a partir da formulação 33 foi feito um cálculo com as devidas proporções para cada mistura a ser analisada no objetivo deste trabalho e feito a média das misturas para obter a densidade das partes separadas.

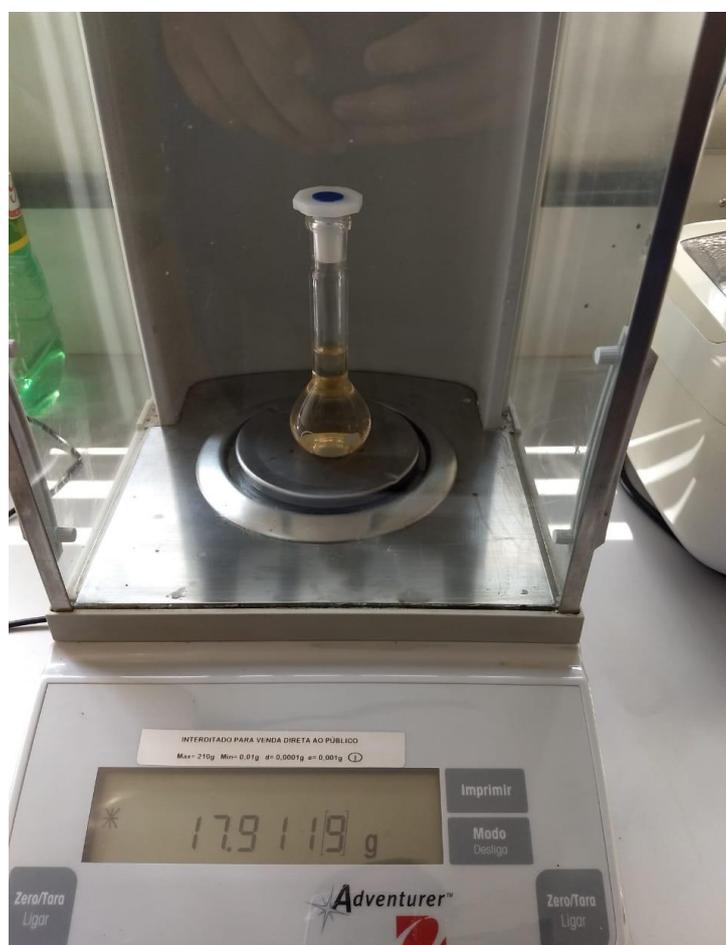


Figura 16 Testes utilizando a balança de precisão e o recipiente para obter a densidade das partes.

Com os testes até esse momento, foi visto a metodologia que será utilizada no teste no motor, já que será feito de forma seguida os testes no motor e devido a diferença de densidade da gasolina tipo A com o etanol anidro, a cada mudança de

proporção, com o dado volume da mistura do teste anterior, é feito novamente o cálculo da densidade pensando na próxima mistura, tem-se como obter a proporção correta com o volume sempre mudando e manter a densidade correta para cada mistura com o volume do momento do teste.

4.2. ÁREA EXTERNA DO LAMCI

A área externa foi feita com o intuito de realocar o banco de resistores de alta potência, visto que inicialmente este banco se encontrava dentro do laboratório de motores, o que poderia acarretar acidentes de grandes proporções, sendo que quando ligado o dinamômetro este banco era energizado e podia originar acidentes com o operador, outro problema levado em conta é dado por dissipar bastante calor durante funcionamento, podendo assim, se tornar um fator de erro na leitura de testes. Com este problema em vista, foi levado para o lado de fora, lá foi montada uma área fechada com proteção contra a chuva para evitar acidentes em dias de funcionamento com o clima menos propício.

Nesta área também se encontra o escapamento dos gases do motor, este foi necessário os serviços de um soldador para mudarmos a posição do escapamento, numa posição mais paralela ao laboratório e com a saída virada num posicionamento que não há chances dos gases voltarem para dentro do laboratório e se tornar mais uma variável em momentos de funcionamento da bancada.



Figura 17 - Visão da área externa fonte: Autores.



Figura 18 - Banco de resistores e o escape do motor. Fonte: autores.

O escapamento inicialmente estava numa posição que atrapalha o deslocamento dentro da área externa do laboratório que foi construída, pois estava atravessada conforme a foto abaixo.



Figura 19 - Antiga posição do escapamento

Visto o problema, foi procurada uma forma de reposicionar o escapamento de forma que ele ocupasse menos espaço e facilitasse o manuseio de equipamentos dentro da área externa do laboratório. Então entramos em contato com um mecânico especialista em escapamento e passamos o projeto e como teria que ser realizado a dobra desse escapamento para que ele pudesse ficar na lateral do laboratório liberando espaço na área coberta para colocação de equipamento com o banco de resistores, como no laboratório de motores vários tipos de motores serão testados, foi pensado num sistema de troca de escapamentos plug em play, onde poderíamos colocar escapamento com maior vazão ideais para futuros testes com motores turbo ou preparados, ou escapamentos com todo o sistema de supressor de ruídos como nos carros originais.



Figura 20 - Nova saída do escapamento já com a posição paralela ao contêiner

4.3. MÓDULO DE INJEÇÃO ELETRÔNICA PROGRAMÁVEL

Com os itens demonstrados no capítulo 3.9 foi feita a montagem do módulo da FT300 de forma a atender a necessidade de testes do laboratório, visto que com este aparelho, tem-se um alcance muito maior de programações e mapas de teste para o motor e para trabalhos futuros.



Figura 21 Central de comando do módulo FuelTech FT300



Figura 22 Módulos auxiliares da FuelTech FT300

4.4. DINAMOMETRO E LIGAÇÃO AO MOTOR

Inicialmente, o volante do motor estava acoplado a um eixo cardan que se julgava apropriado para ser acoplado entre o motor e o dinamômetro, o que se tornou um problema visto que se tinha um grau de desalinhamento entre o motor e o dinamômetro e as características do berço que eles estavam dispostos, não ajudavam a retirar esse desalinhamento, como discutido nos capítulos 3.1.5 e 3.1.7, a configuração correta do encaixe está correto e seguidamente foi testado a qualidade do funcionamento do conjunto conectado, não foi aferido problemas durante os testes de funcionamento do conjunto, assim podendo classificar o conjunto como satisfatório para este trabalho.



Figura 23 - Encaixe entre semieixo de Kombi e acoplamento personalizado de dinamômetro

Mesmo assim, deve ser citado um problema solucionado durante a montagem do sistema. Inicialmente os parafusos que encaixavam o acoplamento eram parafusos M6 com a cabeça para chave Allen, como visto na literatura de Shingley *et al.* (2008), o correto seria utilizar parafusos com a cabeça sextavada, devido a maior carga que pode ser dado no parafuso com a peça que o acopla, sendo assim, foi

visto que com pouco tempo de testes, o volante do motor começou a se desacoplar, o que podia acarretar acidentes graves, sendo assim, foi feita a troca por parafusos M6 com a cabeça sextavada e grau de resistência 8.8 enegrecidos a tempera.

4.5. Resultados do Experimento das Misturas no Gerador

Este capítulo visa demonstrar os resultados obtidos com a metodologia experimental descrita no tópico 3.6, temos a seguinte configuração do sistema para o dado teste.



Figura 24 - Configuração de montagem para o teste das misturas. Fonte: Autores.

Antes de iniciar-se a discussão do resultado, deve ser citado e explicado a medição e interpretação dos erros de aferição e ruídos que possam acontecer no conjunto, inicialmente têm-se os erros de grau de medição que são dados na tela pelo aparelho e devem ser considerados pois, todos os aparelhos de instrumentação de medição possuem um erro de medição associados a eles.

Para uma melhor comparação das 6 misturas de combustíveis (a gasolina pura não é uma mistura), utilizou-se da estatística para analisar os dados e qualificar

os devidos experimentos referentes aos ensaios, geralmente, a variação dos dados experimentais é expressa por duas formas de dispersão, o erro-padrão da média, a variância (S²) ou desvio padrão (S). (Rugiero & Lopes, 2005)

$$S = \sqrt{\left(\frac{\sum Xi - \bar{X}}{n - 1}\right)} \quad (37)$$

Solução de potência, tensão e corrente para gasolina pura

Com a dada necessidade de se obter os erros associados a medição, a tabela a seguir faz a análise de erros usando o desvio padrão com os dados erros subsequentes da metodologia usada neste experimento, encontram-se tabelados abaixo

Tabela 8 - Desvio Padrão apurado das medições do multímetro e do alicate amperímetro

	G. Pura	E10	E20	G. Posto	E55	E75	E85
Potência (Watts)	16,36984	12,29537	10,12412	10,80423	14,63386	22,02549	12,90609
Torque (Kgmf)	0,042307	0,029961	0,022471	0,024553	0,025949	0,034731	0,164716

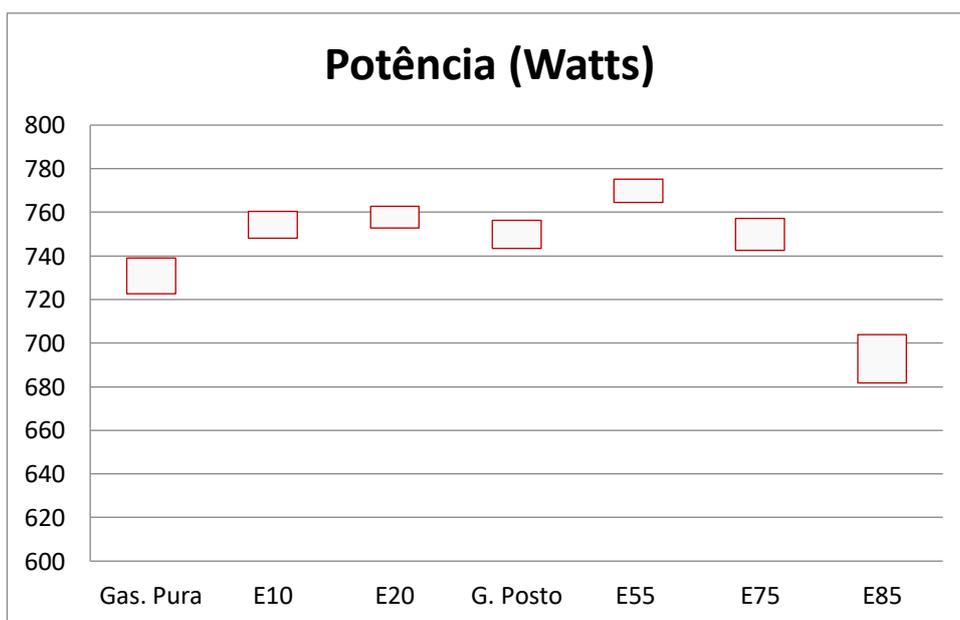


Figura 25 Potência aferida com as dadas linhas de erros

De acordo com o gráfico apresentado na figura 26, observou-se que a potência teve um certo aumento até a proporção da solução E55 que apresentou a maior potência das misturas, o que está de acordo com outros trabalhos conforme o trabalho de Castro, 2014 que também utilizou um método parecido para aferir os dados em um gerador usando um motor ciclo otto, foi comparado os dados que foi tabelado para a potência como visto na figura 27 e na sequencia o torque como foi feito na figura 28.

A potência gerada pela solução E75 começou a decair pois o gerador não era capaz de ajustar o ponto do motor, como um veículo faz através de sua injeção eletrônica.

Com o teste da solução E85 o gerador começou a apresentar falhas no funcionamento, perdendo bastante potência, pois como a mistura não estava mais estequiométrica o motor ficou mais fraco, apesar de uma maior octanagem o motor não era capaz de ajustar a injeção de combustível para que houvesse um ganho de potência.

Após os testes com misturas o gerador foi colocado para funcionar com gasolina de posto para que regularizasse o funcionamento, pois este apresentava muitas falhas após o teste com E85.

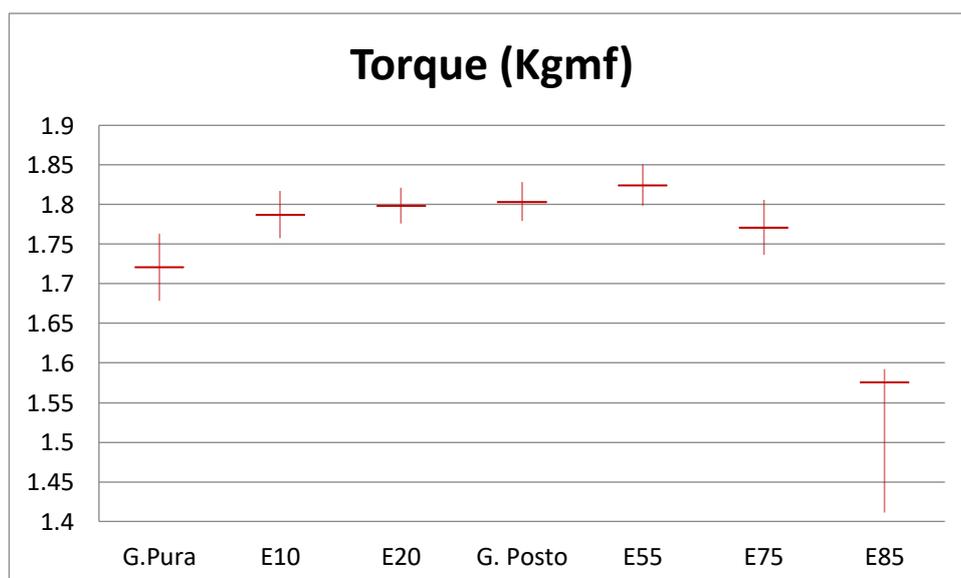


Figura 26 Torque aferido com as dadas linhas de erros

Como discutido no capítulo 3.6 e a formulação 21 apresentada no capítulo de revisão bibliográfica, é tabelado a baixo o valor de consumo específico para cada mistura.

Tabela 9 - Relação do Consumo específica para cada mistura.

	G. Pura	E10	E20	G. Posto	E55	E75	E85
Ce (g/kW*h)	769,677	784,976	754,912	705,208	684,71	781,633	816,403

Um comportamento de alta importância que foi analisado foi o consumo específico do gerador, ilustrado na tabela 3, que apresentou melhora no consumo até a solução E55 depois começou a decair conforme aumentava a proporção de etanol.

O motor teve um consumo específico de 684,71 g/kW*h utilizando solução E55 foi que apresentou o melhor consumo específico, e 816,403 g/kW*h com E85. O aumento de consumo já era esperado pelo fato do etanol possuir menor poder calorífico inferior conforme apresentado na tabela 2. Ou seja, para liberar a mesma quantidade de energia que a gasolina, o etanol necessita de maior quantidade de massa para gerar a mesma quantidade de energia que gasolina, o que resulta num maior consumo específico conforme é apresentado na tabela 9.

O mesmo resultado foi alcançado pelo trabalho de Melo (2012) e Castro, (2014), onde houve um maior consumo específico para o combustível com maior porcentagem de etanol na mistura.

Encontra-se em anexo os resultados aferidos dos aparelhos, alicate amperímetro e multímetro para cada mistura, utilizando a metodologia de aferir a cada 30 segundos os valores nos aparelhos citados de forma a obter uma variação de valores para um tempo total de 5 minutos.

5. CONCLUSÕES

Foi concluída a proposta de personalização e operação dos componentes que formam a bancada dinamométrica, foi testado o funcionamento das partes aqui descritas e houve o funcionamento correto, mas pela falta de tempo, não foi possível a configuração para a leitura de torque e potência para a operação correta por completa.

Para os testes das misturas de gasolina e etanol, o experimento foi satisfatório e trouxe os resultados esperados para torque, potência e consumo específico

5.1. Trabalhos Futuros

Um problema que ficou muito agravado neste trabalho foi a falta de capital para investir em peças e equipamentos dentro do laboratório, este capítulo visa citar alguns equipamentos e ou sistemas que seria de suma importância serem obtidos para o funcionamento mais dentro da norma possível do laboratório de motores.

O primeiro problema é com a proteção do eixo dinamômetro como pode ser visto na figura 22, o semieixo não possui uma proteção á quebras, tanto necessário para a segurança do operador e de demais membros que se encontra no laboratório, este problema pode ser resolvido como a figura de exemplo abaixo, mas neste trabalho devido a falta de verbas para os materiais impossibilitou este mecanismo de segurança.

Também houve a falta do vidro de proteção, que separa o operador do funcionamento da bancada, foi pensado o uso de uma proteção de acrílico, pois diferente do vidro, este não corre o risco de estilhaço caso aconteça a solta de alguma peça da bancada e vá em direção ao operador.

Um pensamento futuro seria a criação de uma passagem de conexão entre o lado do operador e a bancada do dinamômetro, atualmente são dois locais distintos que somente tem-se a entrada via locais diferentes.

Um dos principais problemas futuros é o entendimento por completo de como comunicar o dinamômetro de bancada com o software e o modulo de controle, foi pensado como solução o contato com a assistência técnica da Dynamite afim de

sanar dúvidas sobre o funcionamento, visto que a assistência técnica não tem no Brasil, isso tornou muito longo e caro a comunicação com a assistência técnica americana, fazendo com que o problema se estendesse após o término deste trabalho.

6. REFERENCIAL BIBLIOGRÁFICO

1. Agência nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis. Produção e fornecimento de biocombustíveis. 2016. Disponível em: <http://www.anp.gov.br/wwwanp/producao-de-biocombustiveis#>. Acesso em: 15/4/18.
2. AMORIM, Henrique V. et al. *Ethanol production in a petroleum dependent world: the Brazilian experience*. *Sugar J*, v. 67, p. 11-14, 2005.
3. Associação Nacional dos Fabricantes de Veículos Automotores. Anuário da Indústria Automotiva Brasileira. 2017. Disponível em: http://www.automotivebusiness.com.br/abinteligencia/pdf/Anuario_Anfa_vea_2017.pdf. Acesso em: 15/4/18.
4. Atkins, P. Princípios de Química. Bookman. 2002.
5. Blair, G. Design and Simulation of Four-Stroke Engines. SAE. 1999.
6. BRASIL. ANP ANP Nº 7, DE 9.2.2011. Dispõe que considerando a Lei nº 11.097, de 13 de janeiro de 2005, que define os Biocombustíveis como os combustíveis derivados de biomassa renovável para, dentre outras utilizações, uso em motores a combustão interna; Considerando o percentual obrigatório de adição do álcool etílico anidro combustível ou etanol anidro combustível à gasolina; Considerando a Resolução ANP nº 9, de 1º de abril de 2009, que amplia a nomenclatura do álcool etílico combustível para álcool etílico combustível ou etanol combustível.
7. BRASIL. Conversão da Medida Provisória nº 647, de 28 de Maio de 2014. Dispõe sobre a adição obrigatória de biodiesel ao óleo diesel comercializado com o consumidor final; altera as Leis nos 9.478, de 6 de agosto de 1997, e 8.723, de 28 de outubro de 1993; revoga dispositivos da Lei no 11.097, de 13 de janeiro de 2005; e dá outras providências. Diário Oficial da União, Brasília, DF, 24 set. 2014. Seção 1, p. 13033.
8. Brunetti, F. Motores de Combustão Interna. Volume 1. Blucher. 2013

9. Carvalho, J; Lacava, P. Emissões em Processos de Combustão. Volume Único. Unesp. 2003.
10. CEVIZ, M. A.; YÜKSEL, F. Effects of ethanol–unleaded gasoline blends on cyclic variability and emissions in an SI engine. *Applied Thermal Engineering*, v. 25, n. 5-6, p. 917-925, 2005.
11. Conama. Programa de Controle de Poluição do Ar por Veículos Automotores: Proconve
<http://www.mma.gov.br/estruturas/163/ arquivos/proconve_163.pdf>
Acesso em: 20/5/18.
12. COSTA, Rodrigo C.; SODRÉ, José R. Hydrous ethanol vs. gasoline-ethanol blend: Engine performance and emissions. *Fuel*, v. 89, n. 2, p. 287-293, 2010.
13. Cruz et al. Universidades e empresas: 40 anos de ciência e tecnologia para o etanol brasileiro. Blucher, Fapesp. Volume único. p1-225. 2015
14. DAI, Wen et al. Engine cycle simulation of ethanol and gasoline blends. *SAE Technical Paper*, 2003.
15. *DYNOMite Owner's Manual. Land & Sea. 2012.*
16. Graham, Lisa A.; Belisle, Sheri L.; BAAS, Cara-Lynn. Emissions from light duty gasoline vehicles operating on low blend ethanol gasoline and E85. *Atmospheric Environment*, v. 42, n. 19, p. 4498-4516, 2008.
17. Heywood, J. *Internal Combustion Engine Fundamentals*. MacGrawhill. 1988.
18. HOLLEY, A. T. et al. Extinction of premixed flames of practical liquid fuels: Experiments and simulations. *Combustion and Flame*, v. 144, n. 3, p. 448-460, 2006.
19. MARICQ, M. Matti. Soot formation in ethanol/gasoline fuel blend diffusion flames. *Combustion and Flame*, v. 159, n. 1, p. 170-180, 2012.
20. Martins, J. *Motores de Combustão Interna*. 2 ed. Minho. Publindustria. 2006.
21. Melaina, M. *Turn of the century refueling: A review of innovations in early gasoline refueling methods and analogies for hydrogen*, p1-8. 2007.

22. NBR ISO 1585. Veículos Rodoviários – Código de Ensaio de Motores – Potencia Liquida Efetiva 1996.
23. Portaria MAPA Nº 75 DE 05/03/2015. Fixa, o percentual obrigatório de adição de etanol anidro combustível à gasolina. Disponível em: <https://www.legisweb.com.br/legislacao/?id=281775>. Acesso em: 14/4/18.
24. *PowerFlex® 700H Adjustable Frequency AC Drive / PowerFlex® 700S High Performance AC Drive. Installation Manual*. Rockwell Automaton. 2006.
25. Pulkrabek, W. *Engineering Fundamentals of the Internal Combustion Engine*. Volume único. Prentice Hall. 1997.
26. RASSKAZCHIKOVA, T. V.; KAPUSTIN, V. M.; KARPOV, S. A. Ethanol as high-octane additive to automotive gasolines. production and use in russia and abroad. *Chemistry and Technology of Fuels and Oils*, v. 40, n. 4, p. 203-210, 2004.
27. Taylor, C. *The Internal Combustion Engine in Theory and Practice*. Ed.2 . MIT. 1985.
28. Turns, S. *Introdução a Combustão Conceitos e Aplicações*. Ed.3. MacGrawhill. 2013
29. YAO, Yung-Chen; TSAI, Jiun-Horng; WANG, I.-Ting. Emissions of gaseous pollutant from motorcycle powered by ethanol-gasoline blend. *Applied energy*, v. 102, p. 93-100, 2013.
30. *Introdução ao gerenciamento eletrônico dos motores de combustão interna ciclo Otto*. 2016. Cynthia Tamires da Silva Disponível em: <https://www.embarcados.com.br/motores-de-combustao-interna-ciclo-otto/> . Acesso em: 24/6/18.
31. Shigley, Joseph; Mischke, Charles; Budynas, Richard. *Projeto de Engenharia Mecânica*. Sétima Edição. Editora Bookman. 2008.
32. Manual da peça *Peak and Hold* da *FuelTech*. Disponível em: <<https://cdn.shopify.com/s/files/1/1414/6340/files/Peak-and-Hold-Manual.pdf?3005764524500874580>> Acesso em: 11/11/18.

33. Manual da peça *SparkPro-2* da *FuelTech*. Disponível em:
[https://cdn.shopify.com/s/files/1/0013/0698/4500/files/Manual_SparkP
RO_V22_Trilingue_v.pdf?12128947176423296468](https://cdn.shopify.com/s/files/1/0013/0698/4500/files/Manual_SparkP
RO_V22_Trilingue_v.pdf?12128947176423296468)
Acesso em: 11/11/18.
34. Manual da injeção eletrônica programável ft300 da *FuelTech*.
Disponível em:
[https://cdn.shopify.com/s/files/1/0013/0698/4500/files/Manual_SparkP
RO_V22_Trilingue_v.pdf?12128947176423296468](https://cdn.shopify.com/s/files/1/0013/0698/4500/files/Manual_SparkP
RO_V22_Trilingue_v.pdf?12128947176423296468)
Acesso em: 11/11/18.
35. Martyr. A. & Plint. M; *Engine Testing*. Editora *Butterworth-Heinemman*.
2007.
36. HAICAL, Rafael da Cruz. Desenvolvimento de um sistema de controle
de dinamômetro para testes de motores de combustão interna. 2009.
37. CEZAR, Gustavo Vianna. Desenvolvimento de uma bancada de testes
para motores a combustão interna. 2012. Tese de Doutorado.
Dissertação. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica,
Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro.
38. Manual do *smart diffuse reflectance*. Disponível em:
<https://static.thermoscientific.com/images/D13148~.pdf>
Acesso em: 11/11/18.
39. Ferguson.C.R. *Internal Combustion Engines – Applied
Thermosciences* 1986. New York. Ed. Jhon Wiley and Sons.
40. Ficha técnica do gerador Toyama. Disponível em:
<http://www.toyama.com.br/arquivos/produtos/1467658533.pdf>.
Acesso em 28/11/2018.
41. Ruggiero, Márcia A. Gomes; Lopes, Vera Lúcia Da Rocha. *Cálculo
Numérico: Aspectos Teóricos E Computacionais*. 2. Ed. São Paulo:
Pearson Education, 2005.
42. CASTRO, Thais Santos. *Análise do desempenho de um gerador
elétrico de pequeno porte acionado a motor de combustão a quatro
tempos*. 2014.

7. ANEXOS

Tabela 10 - Relação de dados aferidos para a Gasolina Pura

Amostra	Tensão [V]	Corrente [A]	Potência [W]	Torque [Kgf \cdot m]	Tempo [s]
1	191	3,81	727,71	1,7372	30
2	189,9	3,82	725,418	1,7318	60
3	190,3	3,84	730,752	1,7445	90
4	189,3	3,83	725,019	1,7308	120
5	183,1	3,81	697,611	1,6654	150
6	189,8	3,81	723,138	1,7218	180
7	190	3,82	725,8	1,7281	210
8	189,9	3,8	721,62	1,7427	240
9	189,7	3,81	722,757	1,719	270
10	190	3,82	725,8	1,689	300

Tabela 11 - Relação de dados aferidos para a E10

Amostra	Tensão [V]	Corrente [A]	Potência [W]	Torque [Kgf \cdot m]	Tempo [s]
1	194,8	3,89	757,772	1,809	30
2	193,9	3,86	748,454	1,7868	60
3	193,3	3,87	747,296	1,7858	90
4	193,6	3,86	745,745	1,784	120
5	193,7	3,85	749,226	1,7803	150
6	194,1	3,86	753,489	1,7898	180
7	194,7	3,87	753,489	1,8059	210
8	193,89	3,86	748,415	1,782	240
9	193,7	3,84	743,808	1,7849	270
10	192,8	3,84	740,352	1,7674	300

Tabela 12 - Relação de dados aferidos para a E20

Amostra	Tensão [V]	Corrente [A]	Potência [W]	Torque [Kgf·m]	Tempo [s]
1	195,7	3,86	755,4	1,8033	30
2	196	3,86	756,56	1,8061	60
3	195,6	3,85	753,06	1,7977	90
4	194,6	3,87	753,1	1,7978	120
5	194,7	3,88	755,44	1,8034	150
6	194,3	3,87	751,94	1,795	180
7	194,8	3,86	751,93	1,795	210
8	194	3,87	750,78	1,7923	240
9	194,8	3,86	751,93	1,795	270
10	194,2	3,85	747,67	1,7988	300

Tabela 13 Relação de dados aferidos para a Gasolina de Posto

Amostra	Tensão [V]	Corrente [A]	Potência [W]	Torque [Kgf·m]	Tempo [s]
1	193,8	3,865	749,037	1,808	30
2	193,1	3,855	744,4	1,809	60
3	193,2	3,88	749,616	1,812	90
4	192,55	3,865	744,205	1,799	120
5	189,75	3,845	729,588	1,805	150
6	192,75	3,855	743,051	1,807	180
7	193,2	3,85	744,786	1,789	210
8	193,1	3,85	743,435	1,8	240
9	192,3	3,855	741,3165	1,805	270
10	192,75	3,86	744,015	1,803	300

Tabela 14 Relação de dados aferidos para a E55

Amostra	Tensão [V]	Corrente [A]	Potência [W]	Torque [Kgf·m]	Tempo [s]
1	196,6	3,92	770,672	1,839	30
2	196,3	3,89	763,607	1,8229	60
3	196,1	3,92	768,712	1,8351	90
4	195,8	3,90	763,62	1,823	120
5	196,4	3,88	762,032	1,819	150
6	195,7	3,9	763,23	1,822	180
7	196,4	3,89	763,996	1,8239	210
8	196,3	3,9	765,57	1,8276	240
9	194,9	3,9	760,11	1,8146	270
10	195,5	3,9	762,45	1,8183	300

Tabela 15 Relação de dados aferidos para a E75

Amostra	Tensão [V]	Corrente [A]	Potência [W]	Torque [Kgf·m]	Tempo [s]
1	193,6	3,82	739,552	1,7655	30
2	191,1	3,84	733,824	1,7518	60
3	195	3,86	752,7	1,7969	90
4	193,4	3,83	740,722	1,7683	120
5	194,7	3,85	749,595	1,7895	150
6	192,7	3,86	743,822	1,7757	180
7	194,1	3,84	745,344	1,7793	210
8	192,2	3,79	728,438	1,739	240
9	194,1	3,84	745,344	1,7793	270
10	193,7	3,85	745,745	1,7688	300

Tabela 16 Relação de dados aferidos para a E85

Amostra	Tensão [V]	Corrente [A]	Potência [W]	Torque [Kgf \cdot m]	Tempo [s]
1	184,5	3,67	677,115	1,164	30
2	178,2	3,7	659,352	1,574	60
3	182,4	3,73	680,352	1,6242	90
4	186,3	3,59	668,817	1,5848	120
5	184,4	3,6	663,84	1,5966	150
6	189	3,72	703,08	1,6784	180
7	188,2	3,67	690,694	1,6489	210
8	189,6	3,69	699,624	1,6702	240
9	187,4	3,62	678,388	1,6195	270
10	188,1	3,7	695,97	1,5995	300