

**CENTRO PAULA SOUZA**

**FATEC SANTO ANDRÉ**

**Tecnologia em Mecânica Automobilística**

**João Victor Golino Vital**

**Rafael Leite Dias**

**Pedro Henrique Domingos da Silva**

**ANÁLISE MOTORES DE COMBUSTÃO INTERNA *FLEX FUEL*:**

**Estudo comparativo de desempenho entre Etanol e Gasolina**

**Santo André**

**2022**

**João Victor Golino Vital**

**Rafael Leite Dias**

**Pedro Henrique Domingos da Silva**

**ANÁLISE MOTORES DE COMBUSTÃO INTERNA *FLEX FUEL*:**

**Estudo comparativo de desempenho entre Etanol e Gasolina**

Trabalho de Conclusão de Curso entregue  
à Faculdade de Tecnologia Santo André,  
como requisito para obtenção do título de  
Tecnólogo em Mecânica Automobilística.

Orientador: Prof.<sup>o</sup> Marco Aurélio Fróes

**Santo André**

**2022**

V836a

Vital, João Victor Golino

Análise motores de combustão interna Flex Fuel: estudo comparativo de desempenho entre etanol e gasolina / João Victor Golino Vital, Rafael Leite Dias, Pedro Henrique Domingos da Silva. - Santo André, 2022. – 119f: il.

Trabalho de Conclusão de Curso – FATEC Santo André.  
Curso de Tecnologia em Mecânica Automobilística, 2022.

Orientador: Prof.º Marco Aurélio Fróes

1. Mecânica. 2. Motores de combustão interna. 3. Motor Flex. 4. Veículo. 5. Estudo. 6. Tecnologia. 7. Redução de emissões. 8. Desenvolvimento. 9. Etanol. 10. Gasolina. 11. Desempenho. I. Dias, Rafael Leite. II. Silva, Pedro Henrique Domingos da. III. Análise motores de combustão interna Flex Fuel: estudo comparativo de desempenho entre etanol e gasolina.

## LISTA DE PRESENÇA

Santo André, 10 de dezembro de 2022.

LISTA DE PRESENÇA REFERENTE À APRESENTAÇÃO DO  
TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO COM O TEMA:  
“ANÁLISE MOTORES DE COMBUSTÃO INTERNA FLEX FUEL: Estudo comparativo de  
desempenho entre Etanol e Gasolina” DOS  
ALUNOS DO 6º SEMESTRE DESTA U.E.

## BANCA

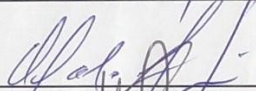
PRESIDENTE:

PROFº MARCO AURÉLIO FRÓES

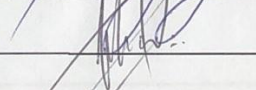


MEMBROS:

PROF. ORLANDO DE SALVO JUNIOR

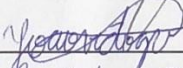


PROF. FERNANDO GARUP DALBO

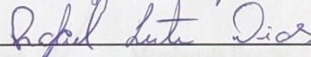


ALUNO:

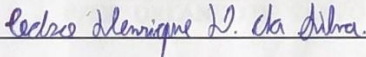
JOÃO VICTOR GOLINO VITAL



RAFAEL LEITE DIAS



PEDRO HENRIQUE DOMINGOS DA SILVA



Dedicamos este trabalho aos  
nossos familiares, que nos apoiaram  
ao longo de todo o curso.

## **AGRADECIMENTOS**

Gostaríamos de agradecer a nossos familiares, amigos, professores e todos aqueles que de forma direta ou indireta contribuíram para a conclusão deste trabalho e também pela contribuição ao decorrer do curso, agradecemos a toda instituição pela presteza e esforço para manutenção da qualidade do curso mesmo nesse período pandêmico que foi tão difícil para todos nós.

Com destaque especial para nosso professor orientador Marco Aurélio Fróes, familiares e amigos que nos ajudaram a completar esta etapa importante em nossas vidas.

*“Só se pode alcançar um grande êxito  
quando nos mantemos fiéis a nós  
mesmos.”*

Friedrich Nietzsche

## RESUMO

Neste trabalho faremos um estudo aprofundado sobre os Motores de Combustão Interna *Flex Fuel*, para entender o contexto vamos iniciar este projeto de pesquisa, abordando o histórico e fundamentos dos motores de combustão interna, o uso de etanol como combustível alternativo ao longo do tempo, devido as mais diversas crises vivenciadas pela humanidade como guerras, escassez do petróleo e seus derivados, econômicas e a contemporânea que é o enorme esforço para redução das emissões de carbono, demonstrando seu desenvolvimento até o estágio atual. Conhecida sua história em seguida foi feita uma revisão bibliográfica buscando entender seus componentes e sua lógica de funcionamento para o desenvolvimento do ponto chave de nossa pesquisa, pois observamos junto ao nosso professor orientador que havia uma vantagem do etanol em relação a gasolina relacionado ao torque e potência, mesmo o etanol tendo um poder calorífico menor, sendo assim neste projeto buscamos respostas se há vantagem no uso de cada um e o porquê, a partir de testes concebidos na Praça Técnica da FATEC Santo André. Por último apontamos nossas conclusões dos experimentos com base em todo o trabalho realizado.

**Palavra-chave:** Motor *Flex*. Eficiência. Etanol. Gasolina.



## ABSTRACT

In this work we will do an in-depth study on Flex Fuel Internal Combustion Engines, to understand the context we will start this research project, addressing the history and fundamentals of internal combustion engines, the use of ethanol as an alternative fuel over time due to the most diverse crises experienced by humanity such as wars, scarcity of oil and its derivatives, economic and the most current, which is the enormous effort to reduce carbon emissions, demonstrating its development to the current stage. Once its history was known, then a bibliographic review was carried out in order to understand its components and its operating logic for the development of the key point of our research, as we observed with our supervisor that there was an advantage of ethanol over gasoline related to torque and potency, even though ethanol has a lower calorific value, so in this project we seek answers if there is an advantage in the use of each one and why, from tests designed in the Technical Square of FATEC Santo André. Finally, we point out our conclusions from the experiments based on all the work carried out.

**Keywords:** Flex Engine. Efficiency. Ethanol. Gasoline.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Média de Preço da Gasolina no Brasil .....	20
Figura 2 – Site de cálculo do combustível FEBRABAN .....	21
Figura 3 – Ficha Técnica Fiat ARGO 1.0 Firefly 2022 .....	22
Figura 4 – Exemplo Didático Cabeçote motor .....	28
Figura 5 – Exemplo Didático Sistema de Comando de Válvulas .....	29
Figura 6 – Exemplo Bloco do Motor .....	30
Figura 7 – Exemplo Didático Pistão .....	31
Figura 8 – Exemplo Didático Biela .....	31
Figura 9 – Exemplo Didático Árvore de Manivelas .....	32
Figura 10 – Motor de ignição por faísca .....	33
Figura 11 – Nomenclatura das posições do pistão .....	33
Figura 12 – Os quatro tempos do Motor Flex .....	34
Figura 13 – Os quatro tempos do Motor Flex de quatro cilindros .....	35
Figura 14 – Análise de Instabilidade de funcionamento pelo Consumo.....	36
Figura 15 – Quantidade de componentes poluentes em relação ao coeficiente $\lambda$ ....	37
Figura 16 – Exemplificação da Taxa de Compressão .....	38
Figura 17 – Exemplificação do sistema de Injeção.....	40
Figura 18 – Exemplo de Carburador Elementar .....	41
Figura 19 – Posicionamento Injetor em sistema de injeção indireta .....	43
Figura 20 – Posicionamento Injeção direta .....	43
Figura 21 – Modelo Taurus Flex (1996) .....	46
Figura 22 – Exemplificação Sensor de Etanol.....	48
Figura 23 – Exemplificação de um sensor de Oxigênio.....	48
Figura 24 – Esquema de Componentes para Partida a Frio com tanque auxiliar .....	50
Figura 25 – Componentes para Partida a frios sem tanque auxiliar .....	51

Figura 26 – Aplicação veicular Sistema Mahle de Partida a frio .....	51
Figura 27 – Demonstração ilustrativa do Refino de Petróleo .....	56
Figura 28 – Sequência de Processo para obtenção do Álcool .....	63
Figura 29 – Cadeia Produtiva do Etanol.....	64
Figura 30 – Estrutura dos Álcoois Etanol & Metanol .....	65
Figura 31 – Software DynoTech 720i .....	78
Figura 32 – DynoTech 720i FATEC Santo André .....	79
Figura 33 – Conector OBD II Gol 1.6 G5 Flex .....	80
Figura 34 – Software PC-SCAN 3000 .....	82
Figura 35 – Ilustração funcionamento Termômetro Infravermelho.....	83
Figura 36 – Gol G5 1.6 FATEC Santo André .....	83
Figura 37 – Check-List Dinamômetro .....	85
Figura 38 – Instrumentação Manômetro entrada de combustível .....	86
Figura 39 – Tela de Calibração Software Dinamômetro .....	87
Figura 40 – Função “Prueba” software Dinamômetro.....	88
Figura 41 – Software Dinamômetro (Dados: Temperatura do Ar / Temperatura do Motor / Regime de Carga).....	89
Figura 42 – Software dinamômetro (Dados: Torque Motor; Potência Motor; Potência Perdida) .....	89
Figura 43 – Software dinamômetro (Dado: Distância de aceleração) .....	90
Figura 44 – Lousa contendo a anotação com todos os testes com um determinado combustível (exemplo Teste 1: Gasolina / Etanol) .....	91
Figura 45 – Comparativo Potência de Laudo .....	95
Figura 46 – Comparativo Torque de Laudo.....	95
Figura 47 – Curvas Regimes de Carga testes 1,2 e 3 .....	98
Figura 48 – Influência da densidade do Ar no desempenho com Etanol e Gasolina .....	100

Figura 49 – Fórmulas Moleculares Etanol e Gasolina .....	102
Figura 50 – Demonstrativo FIAT 147 (1979) .....	105
Figura 51 – Torque e Potência (Teste 0103) .....	113
Figura 52 – Torque e Potência (Teste 0104) .....	114
Figura 53 – Torque e Potência (Teste 0105) .....	114
Figura 54 – Torque e Potência (Teste 0204) .....	115
Figura 55 – Torque e Potência (Teste 0205) .....	116
Figura 56 – Torque e Potência (Teste 0206) .....	116
Figura 57 – Torque e Potência (Teste 0304) .....	117
Figura 58 – Torque e Potência (Teste 0305) .....	117
Figura 59 – Torque e Potência (Teste 0306) .....	118

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Propriedades Físico-químicas Gasolina .....	58
Tabela 2 – Propriedades Físico-químicas Etanol/Metanol.....	66
Tabela 3 – Especificações Mecânicas Gol G5 1.6 Flex.....	84
Tabela 4 – Propriedades dos combustíveis para motores Ciclo - Otto .....	101

## LISTA DE QUADROS

Quadro 1 – Instalação de equipamentos e componentes auxiliares.....	71
Quadro 2 – Condições de regulagem.....	72
Quadro 3 – Laudo Teste 1 (Gasolina + Etanol) .....	93
Quadro 4 – Laudo Teste 2 (Etanol) .....	93
Quadro 5 – Laudo Teste 3 (Gasolina) .....	94
Quadro 6 – Regime de Carga Teste 01 ( Gasolina + Etanol; Estequiometria 10,1:1) .....	96
Quadro 7 – Regime de Carga Teste 2 (Etanol; Estequiometria: 9,1:1).....	97
Quadro 8 – Regime de Carga Teste 3 (Gasolina Estequiometria: 13,2:1) .....	97
Quadro 9 – Diferenças na combustão Gasolina e Etanol .....	99

## LISTA DE EQUAÇÕES

Equação 1 – Volume unitário por cilindro .....	38
Equação 2 – Volume unitário total.....	38
Equação 3 – Taxa de Compressão .....	38
Equação 4 – Potência de Referência .....	75
Equação 5 – Fator de correção para motores de ignição por centelha sobrealimentados e aspirado. ....	76
Equação 6 – Torque calculado no dinamômetro .....	77
Equação 7 – Potência calculada para dinamômetro .....	77
Equação 8 – Calibração de ensaio dos pneus .....	86
Equação 9 – Parâmetros de Laudo .....	92

## LISTA DE ABREVIATURAS, SIGLAS SÍMBOLOS

*A/F – (Air / Fuel)*

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas

ANP – Agência Nacional do Petróleo, Gás e Biocombustíveis

ASTM – *American Association for Testings and Materials*

CB – Comitês Brasileiros

CETESB – Companhia Ambiental do Estado de São Paulo

CETTRAN – Conselho Estadual de Trânsito

CONAMA – Conselho Nacional de Meio Ambiente

*CSS – (Cold Start System)*

DETRAN – Departamento Estadual de Trânsito

*DFI – Direct Fuel Injection*

*ECU – Eletronic Control Unit*

EECM – A Estação Experimental de Combustíveis e Minérios

EPI – Equipamento de Proteção Individual

FEBRABAN – Federação Brasileira de Bancos

GLP – Gás Liquefeito de Petróleo

GM – General Motors

IAA – Instituto do Açúcar e do Alcool

IPEA – Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada

*LHV – Low Temperature Value*

*LTC – Lower Temperature Combustion*

*MAF – Mass Air Flow*

*MON – Motor Octane Number*

*MW – Molecular Weight*

NBR – Norma Brasileira

ONS – Órgãos de Normatização Setorial

OPEP – Organização dos Países Exportadores de Petróleo

PFI – *Por Fuel Injection*

PMI – Ponto Morto Inferior

PMS – Ponto Morto Superior

PTC – *Positive Temperature Coefficient*

SNA – Sociedade Nacional da Agricultura

TEL – Tetraetila

RON – *Research Octane Number*

USB – *Universal Serial Bus*

$\lambda$  – Lambda



## SUMÁRIO

<b>1.</b>	<b>INTRODUÇÃO .....</b>	<b>19</b>
1.1	Objetivo .....	20
1.2	Motivação .....	22
1.3	Estrutura do trabalho .....	23
<b>2</b>	<b>REVISÃO DA LITERATURA .....</b>	<b>24</b>
2.1	Motor Ciclo Otto .....	24
2.2	Etanol no Brasil .....	25
2.3	Histórico do Motores Flex .....	26
2.4	Componentes .....	27
2.5	Funcionamento .....	33
2.6	Mistura Ar/Combustível .....	35
2.7	Taxa de Compressão .....	37
2.8	Conceitos de Detonação e Octanagem .....	39
2.9	Sistema de Injeção .....	40
2.9.1	Controle Mecânico .....	41
2.9.2	Controle Eletrônico .....	42
2.9.3	Injeção Direta .....	43
<b>3</b>	<b>COMPREENSÃO ESPECÍFICO TECNOLOGIA FLEX.....</b>	<b>45</b>
3.1	Características e modificações de um veículo Flex Fuel .....	45
3.1.1	Materiais.....	46
3.1.2	Reconhecimento de Combustível e aprendizagem do Motor .....	47
3.1.3	Sistemas de partida a frio .....	49
3.2	Gasolina .....	52
3.2.1	Origem e desenvolvimento .....	52

3.2.2	Método de Obtenção .....	53
3.2.3	Propriedades Físico-químicas .....	58
3.3	Etanol.....	60
3.3.1	Origem e desenvolvimento .....	61
3.3.2	Método de Obtenção .....	62
3.3.3	Propriedades Físico-químicas .....	65
<b>4</b>	<b>TESTES PRÁTICOS .....</b>	<b>68</b>
4.1	Normas de ensaio (padrões e procedimentos) .....	68
4.1.1	Objetivo da norma e definição de potência líquida .....	68
4.1.2	Equipamentos e componentes auxiliares e suas regulagens.....	70
4.1.3	Condições de Ensaio.....	73
4.1.4	Fatores de Correção e condições atmosféricas.....	74
4.2	Equipamentos .....	76
4.2.1	Dinamômetro de inércia .....	77
4.2.2	Scanner Automotivo .....	80
4.2.3	Termômetro Infravermelho .....	82
4.3	Materiais.....	83
4.4	Realização dos testes .....	85
4.5	Processo utilizado .....	87
4.6	Resultados .....	91
4.6.1	Tabelas de Laudo testes 1, 2 e 3 .....	92
4.6.2	Curvas de Regime de Carga .....	95
4.6.3	Explicação diferença de Torque e Potência.....	98
4.6.4	Diferença de consumo entre ambos combustíveis .....	100
<b>5</b>	<b>CONCLUSÃO.....</b>	<b>103</b>
5.1	Propostas para trabalhos futuros.....	104

<b>6</b>	<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....</b>	<b>106</b>
	<b>APÊNDICE A – Gráficos de Torque e Potência com repetibilidade registrados no Dinamômetro (Mistura Gasolina e Etanol; Estequiometria = 13,2:1).....</b>	<b>113</b>
	<b>APÊNDICE B – Gráficos de Torque e Potência com repetibilidade registrados no Dinamômetro (Etanol; Estequiometria = 9,1:1) .....</b>	<b>115</b>
	<b>APÊNDICE C – Gráficos de Torque e Potência com repetibilidade registrados no Dinamômetro (Gasolina; Estequiometria = 10,1:1) .....</b>	<b>117</b>

## 1. INTRODUÇÃO

Os motores objetos de nosso estudo são uma invenção que com certeza representaram um passo inimaginável na história da humanidade, em que foi conquistado a partir do simples aproveitamento do vapor da água como novo meio de produzir trabalho, substituindo o uso da força animal que era a principal fonte de energia predominante até então. Tecnologia essa a qual vem se reinventando ao longo dos anos e se tornando cada vez mais eficiente e necessária em nosso dia a dia.

Mesmo tendo a consciência de que os motores vão muito além da simples utilização no transporte, impossível tocar no assunto sem recordar-se dos carros, entre outros tantos meios de mobilidade presentes no cotidiano, segundo dados da Companhia Ambiental do Estado de São Paulo (CETESB, 2019) a frota motorizada no Estado de São Paulo, é de aproximadamente 15,4 milhões de veículos, sendo 10,4 milhões de automóveis, 1,9 milhões de comerciais leves, 560 mil ônibus e caminhões e 2,5 milhões de motocicletas.

No fim das contas um de nossos grandes trunfos se tornou também nosso pior pesadelo, pois com essa nova demanda de veículos surge também uma dependência não planejada, os combustíveis. Algo que o mundo sentiu na década de 1970 com a crise do petróleo, fazendo com que fossem tomadas novas posturas e desenvolvimento de novas soluções.

Os Motores *Flex Fuel* não eram necessariamente uma novidade, sendo já explorada por Henry Ford no século passado, porém sua viabilidade ao redor do mundo não era tão valiosa pela baixa oferta de etanol, entretanto no Brasil por nosso sólido plantio de cana nos torna uma grande potência nesse biocombustível.

Com essa busca por inovações essa ideia retoma força no país, marcando em 2003 seu renascimento comercial com o modelo Gol 1.6 da Volkswagen, trazendo o conceito da utilização de dois combustíveis (Etanol e Gasolina) em um mesmo motor, e partir de então se popularizando e espalhando por outras marcas e modelos.

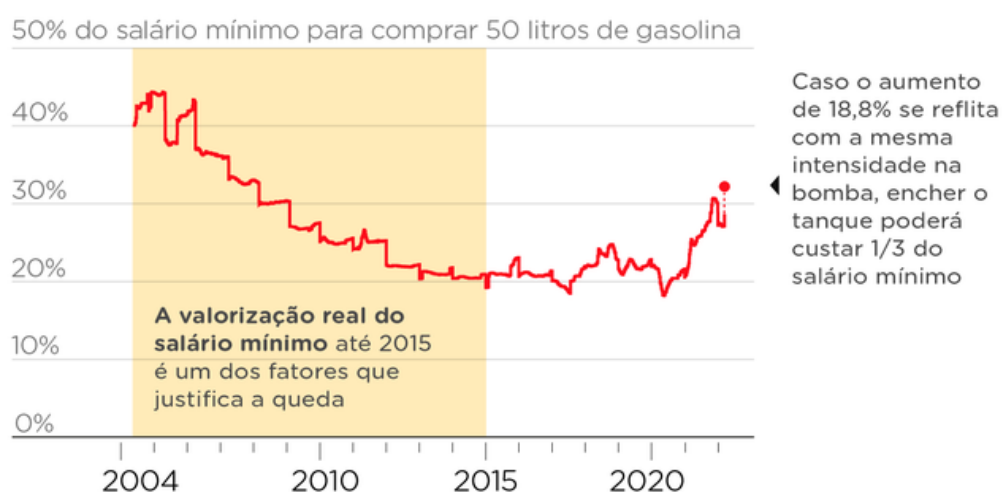
Porém mesmo com os 19 anos acumulados de experiência, o assunto ainda parece enigmático principalmente para o público geral que não é atuante na área, criando-se diversos mitos em torno de seu funcionamento, ao final deste trabalho

acadêmico esperamos que muitas dessas dúvidas sejam esclarecidas e nossos leitores possam compreender mais o tema.

## 1.1 Objetivo

Como podemos ver atualmente, o aumento dos preços nos combustíveis reforça a dúvida aos donos de carros *Flex* sobre qual combustível deve escolher, como podemos observar na Figura 1 segundo dados do Jornal NEXO (2022) retirado da Agência Nacional do Petróleo, Gás e Biocombustíveis (ANP) e Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada (IPEA), o preço da gasolina vem se distanciando cada vez mais do salário mínimo, o que fez com que não só os proprietários citados acima mas o mercado ao todo se mexesse, com os próprios veículos *Flex* e outras tecnologias como híbridos e elétricos que também tem consideráveis ganhos ambientais.

Figura 1 – Média de Preço da Gasolina no Brasil (18/03/2022)



Fonte: Jornal NEXO (2022)

Além das novas tecnologias foram criadas ferramentas, de fácil acesso que auxiliam na hora do abastecimento, como o site da Federação Brasileira de Bancos

(FEBRABAN) que calcula a partir dos preços atuais de cada combustível qual o mais vantajoso indicado na Figura 2.

Figura 2 – Site de cálculo do combustível FEBRABAN (28/05/2022)



Qual a melhor opção?

Álcool (preço por litro)  
R\$ 4,99

Gasolina (preço por litro)  
R\$ 6,59

Calcular

Vale mais a pena usar Gasolina!

Fonte: FEBRABAN (2022)

Na procura por dados técnicos percebe-se que embora o consumo do etanol seja maior que o da gasolina devido a diferença do poder calorífico entre os combustíveis, o torque e potência do motor com este combustível superam os números de seu concorrente, a gasolina, ou seja, o etanol se apresenta como mais eficiente que a gasolina na transformação da energia calorífica em trabalho e movimento. Como podemos observar na Figura 3 apresentando a ficha técnica do Argo 1.0 da Fiat disponível no site ICarros.

Figura 3 – Ficha Técnica Fiat ARGO 1.0 *Firefly* 2022

Ficha técnica Fiat Argo 1.0 Firefly (Flex) 2022

Argo 1.0 Alterar versão

Mecânica

Motorização	1.0	
Combustível	Álcool	Gasolina
Potência (cv)	77	72
Torque (kgf.m)	10,9	10,4
Velocidade Máxima (km/h)	162	157
Tempo 0-100 (s)	13,4	N/D
Consumo cidade (km/l)	9,9	14,2
Consumo estrada (km/l)	10,7	15,1
Câmbio	manual de 5 marchas	
Tração	dianteira	
Direção	elétrica	
Suspensão dianteira	Suspensão tipo McPherson e dianteira com barra estabilizadora, roda tipo independente e molas helicoidal.	
Suspensão traseira	Suspensão tipo eixo de torção, roda tipo semi-independente e molas helicoidal.	
Freios	Dois freios à disco.	

FONTE: ICarros (2022)

Diante deste fato, visamos em nosso trabalho um estudo técnico do funcionamento dos Motores *Flex Fuel* e seus componentes, buscando assim entender qual o motivo dessas diferenças de performance entre ambos os combustíveis, por meio de testes em dinamômetro de chassi e pesquisa.

## 1.2 Motivação

Desde o início do ano letivo já estávamos em busca de um tema que nos identificássemos e que fosse preferencialmente alguma pesquisa científica, porém embora tenhamos conseguido diversos temas interessantes nenhum deles havia encaixado, seja por inviabilidade, ou por não haver um consenso.

Então nosso professor orientador Marco Aurélio Fróes que já havia sugerido alguns outros temas, nos trouxe essa problemática na divergência dos parâmetros de torque, potência e consumo e propôs um estudo de sua causa.

E após análise do grupo decidimos dar seguimento nesse projeto, motivados pela nossa falta de conhecimento geral no assunto, então despertando nosso

interesse como uma oportunidade de aprender mais, somado também a curiosidade de querermos entender o porquê desse fenômeno que nos pareceu tão estranho num primeiro momento.

### **1.3 Estrutura do trabalho**

Neste primeiro Capítulo estamos tratando nossas considerações iniciais de importante entendimento para continuidade do trabalho, apresentando sucintamente o que desejamos com sua produção e a razão pela qual embarcamos nesse projeto.

No segundo capítulo iremos conhecer um pouco mais sobre os Motores *Flex Fuel* que serão nossos principais objetos de estudo, assim entendendo um pouco mais de sua história e desenvolvimento, aprender mais sobre seus componentes e compreendendo sua lógica de funcionamento, itens de vital importância para a evolução da pesquisa

Com a compreensão dos motores, iremos neste terceiro capítulo dar foco no estudo dos combustíveis (Etanol & Gasolina), verificando diversos de seus aspectos.

Entendido com o que estamos lidando no quarto capítulo iremos atrás de evidências que nos indiquem o que está realmente acontecendo a partir de testes, onde apresentaremos nosso equipamento, metodologia e resultados.

E por último com base em toda bagagem adquirida ao longo do desenvolvimento do trabalho e nas evidências colhidas, apoiados por nosso professor orientador, iremos dar nosso veredito final sobre a conclusão que chegamos do caso.



## 2 REVISÃO DA LITERATURA

Neste Capítulo iremos abordar toda história que deu origem a esta tecnologia tão maravilhosa e útil que são os carros “*Flex-Fluel*”, em nosso país se tornaram vitais com as altas nos preços da gasolina e nossa alta produção de Etanol, pensando nisto nos subcapítulos a seguir, vamos acompanhar a origem e toda trajetória evolutiva até o estado da arte atual deste tipo de motor abordado como tema principal de nossa pesquisa acadêmica.

### 2.1 Motor Ciclo Otto

Segundo Varella (2006) o motor de ignição por faísca de quatro tempos foi baseado nos princípios de funcionamento apresentados por Beau de Rochas em 1862, porém sua aplicação prática se deve aos aperfeiçoamentos feitos por Nikolaus August Otto em 1876 (Por isso a denominação de “Motor ciclo Otto”.) que foram demonstrados em seus protótipos como a fórmula que possibilitou a mistura ar-combustível em um cilindro, melhorando sua eficiência e produção de menos ruído em comparação com os modelos dos concorrentes.

No experimento de OTTO pistão foi movido manualmente até onde pode resultando na compressão da mistura ar-combustível no cilindro. Com isso, a ignição foi ligada e ocorreu a combustão seguida de rápidas rotações no volante do motor, concluindo que:

1. A mistura Ar/Combustível fosse admitida no primeiro movimento, em que ocorre o recuo do pistão;

2. A mistura Ar/Combustível seja comprimida no segundo movimento;

3. No terceiro movimento, a expansão (combustão), cria a força útil.

4. No quarto movimento (volta do pistão) ocorre a descarga: liberação e expulsão dos resíduos da combustão. Otto se associou com o engenheiro Eugen Logen e fundou a N. A. OTTO & CIA, primeira fábrica de motores de combustão do mundo.

## 2.2 Etanol no Brasil

Conforme Dunham; Bomtempo e Fleck (2011) podemos dizer que a primeira iniciativa de divulgação do álcool no Brasil deu-se pela Sociedade Nacional da Agricultura (SNA), em outubro de 1903, foi realizada a Exposição Internacional de Aparelhos de Álcool e, paralelamente, o Congresso Internacional de Álcool, com o objetivo de apresentar propostas para ampliar o uso do produto na matriz energética, destacando sua utilização em veículos automotores.

Segundo Estudo de Marcolin (2008) a Estação Experimental de Combustíveis e Minérios (EECM) foi a pioneira na utilização de álcool motores, sendo este um Ford, que percorreu 230 quilômetros no Rio de Janeiro com álcool etílico hidratado 70% (30% de água) em 1925. A Unidade Industrial Serra Grande Alagoas lançou dois anos depois seu primeiro combustível nacional (álcool-motor), movimento na qual foi pioneira, considerando que suas concorrentes estavam somente adaptadas a produção de açúcar.

Por conta da dependência do petróleo importado e de seus derivados e motivado pela crise petrolífera de 1973 ocasionada pelo embargo de países membros da Organização dos Países Exportadores de Petróleo (OPEP) a venda de petróleo, o governo brasileiro lançou um programa, no âmbito do Instituto do Açúcar e do Álcool (IAA), para substituir, em parte, o uso de combustível fóssil na frota de automóveis e comerciais leves. Esse programa ficou conhecido como Proálcool, lançado em 1975 sendo considerado único no mundo dada a sua abrangência. Para alcançar esse objetivo, o governo tinha várias alternativas de matéria-prima para a produção do etanol, como sorgo, batata-doce, eucalipto, arroz, babaçu e mandioca. (Marcolin, 2008)

Seguindo o raciocínio de Shikida (1998), podemos dividir o programa em três fases distintas:

a) expansão moderada, que vai de seu início em 1975 a 1979, com investimento por parte do governo de 75%.

b) expansão acelerada, de 1980 a 1985, no qual o governo era responsável por 56% dos investimentos.

c) desaceleração e crise, de 1986 a 1995, com redução para 39% de participação do capital estatal.

E então chegamos à atualidade, onde a partir da virada do milênio a busca por alternativas verdes passou a ser foco de muitos países originando diversos acordos como o Acordo de Paris (COP 3), Rota 2030, Protocolo de Kyoto entre outros, portanto o álcool passou a ser vantajoso novamente no Brasil, com seu uso direto como combustível e indireto aplicado sobre uma porcentagem de 27% da gasolina comum. E hoje, o Etanol é também visto como uma alternativa para países subdesenvolvidos que não possuem estrutura para migração imediata da matriz energética abaixarem sua taxa de poluição.

### **2.3 Histórico do Motores Flex**

A visão dos fundadores para a indústria automobilística moderna, como Henry Ford e Charles Kettering, da General Motors, era que os carros funcionariam com etanol. A visão foi vítima da Lei Seca, da invenção da gasolina com chumbo e da descoberta e desenvolvimento de gigantescos campos de petróleo no Oriente Médio.

O álcool começou a ser usado como combustível há cerca de 100 anos atrás. Em 1914, Henry Ford fez uso do álcool em um Ford e em 1925 fez uma previsão que foi divulgada no The New York Times: o álcool seria o “combustível do futuro” (Marcolin, 2008).

Alguns fatores como a crise de 1929 e a Segunda Guerra Mundial, impulsionaram a produção do etanol no Brasil com caráter emergencial e temporário, mas tais estímulos foram importantes para que, diante de um conjunto de fatores externos, o País lançasse um programa de substituição do petróleo importado.

Os aromáticos fornecem octanagem, que é uma maneira de dizer que ajudam a prevenir detonação prematura de combustível, um problema que os motoristas de hoje em dia não estão familiarizados. Quase um século atrás, a detonação, conhecida popularmente como detonação do motor, foi a ruína de motoristas e engenheiros. Um motor batendo faz um ruído metálico que sinalizava que o motor estava perdendo

potência. Subir morros e transportar cargas tornou-se difícil ou impossível, as batidas persistentes podem destruir o motor.

O problema da detonação foi resolvido pela General Motors nos anos que se seguiram à Primeira Guerra Mundial, Charles Kettering, que chefiava as operações de pesquisa da *General Motors* (GM), e a estrela da pesquisa de Kettering, Thomas Midgley, lideraram um esforço de pesquisa para encontrar um composto barato que resolvesse o problema da detonação: o Benzeno. O resultado foi um sucesso espetacular e lucrativo por um tempo. O que é menos conhecido é que, mesmo naquela época, havia alternativas sérias ao composto vencedor. O etanol poderia fornecer octano, como faz hoje. Esforços para obter etanol de vários tipos de vegetação eram bem conhecidos. E o benzeno, um hidrocarboneto aromático, também poderia aumentar o octano.

Mas tanto o etanol quanto o benzeno eram alternativas caras, Kettering, Midgley e Henry Ford, então proprietário da maior empresa automobilística do mundo, estavam fortemente interessados no uso do álcool como combustível, sozinho ou combinado com gasolina. E já pensando em um passo futuro projetou o Modelo T apresentado em 1908, para funcionar tanto com gasolina quanto etanol, ou seja, o primeiro modelo automotivo *Flex*. (Marcolin, 2008)

Há boas evidências de que tanto Kettering quanto Midgley pensavam que o álcool, a longo prazo, se tornaria o substituto para combustíveis derivados de petróleo. Mas na época, a gasolina era barata e abundante, como seria nas décadas seguintes.

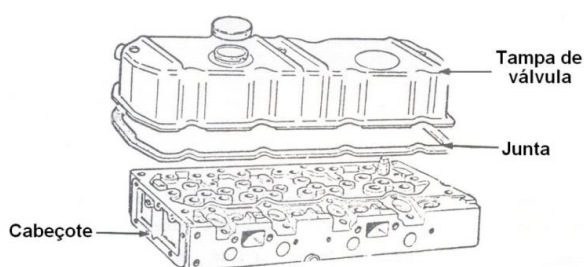
## 2.4 Componentes

Conhecemos um pouco sobre a história dos motores de combustão interna e entendemos que seu trabalho é gerado a partir da interação de diversos componentes fixos e móveis, então antes de conhecermos seu funcionamento vamos conhecer alguns desses componentes que cumprem um importante papel em seu funcionamento, segundo o material didático da Prof.<sup>a</sup> Maria Laura Gomes da Silva Luz da Universidade Federal de Pelotas (2013) e também segundo Bosch (2005).

## Cabeçote

Seu papel dentro do motor é fechar a parte superior atuando como um tampão, vedando câmara de combustão para concentração e melhor eficiência da queima e produção de trabalho, composto por uma tampa de válvulas, uma junta de vedação e o cabeçote produzido do mesmo material do bloco, conforme Figura 4 (Luz, 2013).

Figura 4 – Exemplo Didático Cabeçote motor

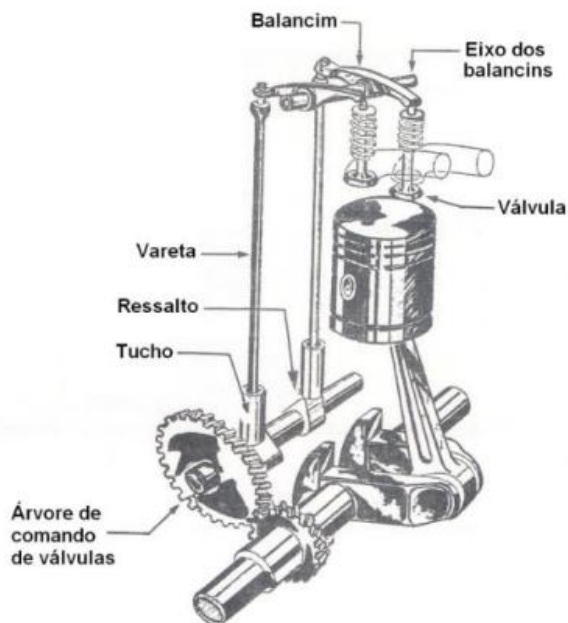


Fonte: Luz (2013)

## Válvulas

Existem dois tipos de válvulas: de admissão e de escape, acionadas por um sistema de comando que obtém o movimento a partir da árvore de manivelas por meio da transmissão de correias e engrenagens, o eixo de comando de válvulas liga-se por uma vareta ao eixo dos balancins, que por sua vez acionará as válvulas. A abertura e o fechamento das válvulas são derivados do movimento do pistão e com o ponto de injeção, possibilitando o perfeito funcionamento do motor. As engrenagens da distribuição podem ter uma relação de 1:2, o que significa que cada rotação da árvore de manivelas corresponde a meia rotação da árvore de comando de válvulas, conforme Figura 5 (Luz, 2013).

Figura 5 – Exemplo Didático Sistema de Comando de Válvulas



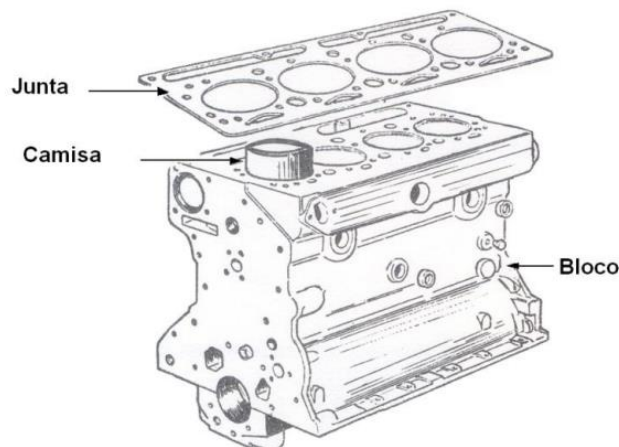
Fonte: Luz (2013)

### **Bloco do Motor**

É o maior componente presente no motor, tem como principal função a proteção e sustentação dos componentes móveis, são normalmente fabricados de ferro fundido, podendo ser adicionados outros elementos com objetivo de melhorar suas propriedades (Luz, 2013).

Os blocos em sua maioria contêm cilindros removíveis ou fixos denominados camisas que alojam os cilindros onde ocorrerá a combustão podendo ser úmida ou seca, se houver o contato com o líquido de arrefecimento, conforme Figura 6.

*Figura 6 – Exemplo Bloco do Motor*



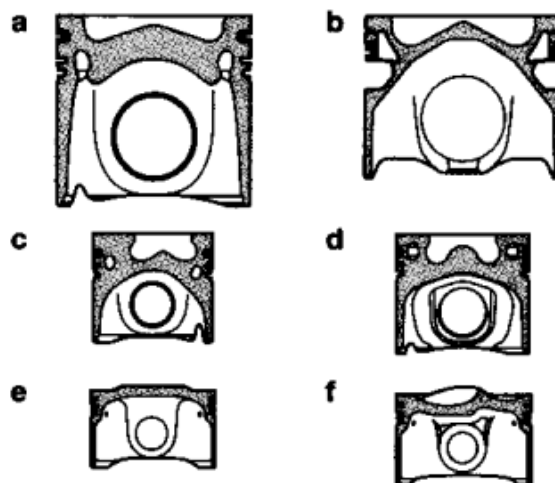
Fonte: Luz (2013)

### **Pistão (Embolo)**

De acordo com Bosch (2005) os pistões desempenham diversas funções no motor dentre elas, a transmissão de força de combustão, apoiam a força normal aplicada contra as paredes do cilindro, transportada para a barra de ligação, vedam a câmara de combustão da árvore de manivelas e por último absorvem calor para transferência ao sistema de arrefecimento. Os materiais mais usados em sua fabricação são ferro fundido cinza e alumínio.

Na Figura 7 podemos observar diversos modelos de pistões adequados a diversas situações: a) Pistão de alumínio para motor Diesel de veículo comercial ; b) Pistão de aço forjado para veículo comercial; c) Pistão de alumínio para motor Diesel de veículo de passeio com suporte de anel e canal de arrefecimento ; d) Pistão de alumínio para motor a Diesel de veículo de passeio com suporte de anel arrefecido ; e) Pistão de alumínio para carro de passeio com motor de injeção multiponto ; f) Pistão de alumínio de carro de passeio para motor com ignição por centelha.

Figura 7 – Exemplo Didático Pistão

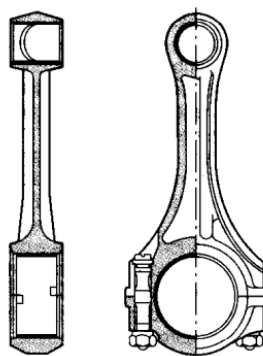


Fonte: Bosch (2005)

## Biela

É o componente do motor que cuja função, é a junção entre pistão e árvore de manivelas, submetida a compressão de tração e esforços de flexão, seu comprimento é dado pelo curso do pistão e raio do contrapeso. Já sua conexão na árvore é através de um componente antifricção denominada bronzina feita de aço podendo conter ou não aplicações de tratamento superficial, conforme Figura 8 (Bosch, 2005).

Figura 8 – Exemplo Didático Biela



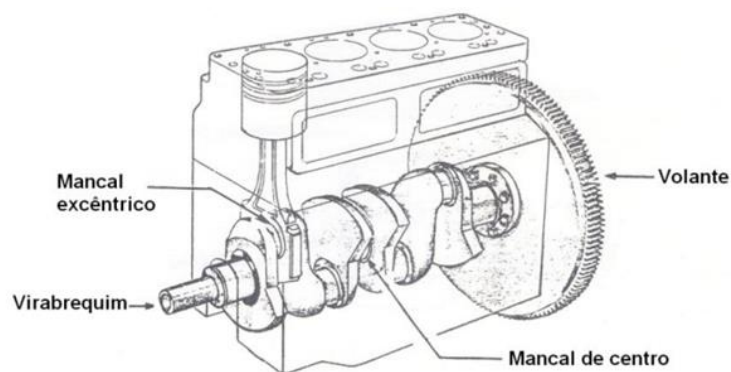
Fonte: Bosch (2005)



## Árvore de Manivelas

A árvore de manivelas em conjunto com a biela cumpre o papel de transformação do movimento linear em movimento rotativo, fabricada a partir de aço forjado ou fundido, possui em seu corpo dois tipos de mancais excêntricos que sustentam as bielas e mancais de centro que sustentam a árvore junto ao bloco, conforme Figura 9 (Luz, 2013).

Figura 9 – Exemplo Didático Árvore de Manivelas



Fonte: Luz (2013)

## Volante

Uma massa de aço fundido cuja função é o acúmulo de energia cinética, proporcionando na transição da árvore de manivelas para o eixo de transmissão uma velocidade angular uniforme, absorvendo energia de trabalho de cada pistão e liberando quando os quatro pistões não estão em seu período potente, exemplificado na Figura 9 (Luz, 2013).

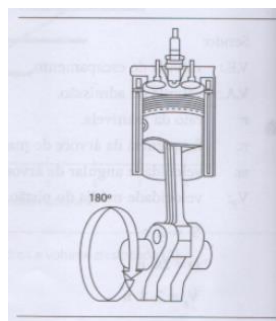
## Cárter

Normalmente fabricado por estampagem em uma chapa de aço, possui as funções tanto de fechamento inferior do bloco do motor quanto armazenamento do óleo lubrificante utilizado (Luz, 2013).

## 2.5 Funcionamento

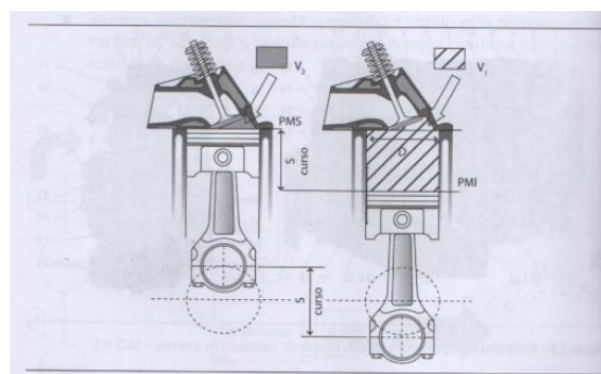
O motor de combustão interna é composto por peças fixas e móveis que transformam a energia química do combustível em calor que será transformado em energia mecânica, nos Motores Flex é utilizado a ignição por faísca em que consiste numa mistura estequiométrica (ideal) de ar-combustível na qual ao ser injetada diretamente na câmara de combustão é inflamada por uma faísca entre os eletrodos de uma vela, gerando a combustão cuja pressão movimenta o pistão ou o êmbolo que em conjunto com o tempo dos outros cilindros, promove uma movimentação de vaivém entre o ponto morto superior (PMS) até o ponto morto inferior (PMI) exemplificada na Figura 10, já na Figura 11 temos disposto algumas nomenclaturas de possíveis posicionamentos do pistão (Brunetti, 2013).

Figura 10 – Motor de ignição por faísca



Fonte: Brunetti (2013)

Figura 11 – Nomenclatura das posições do pistão



Fonte: Brunetti (2013)

Em motores de quatro tempos cada pistão percorre quatro cursos que correspondem a duas voltas da manivela do motor para que ocorra um ciclo sendo estes cursos (Brunetti, 2013):

**Admissão:** Deslocamento do pistão do PMS ao PMI gerando uma sucção que causa um fluxo de gases a preencherem o cilindro com a mistura ar-combustível.

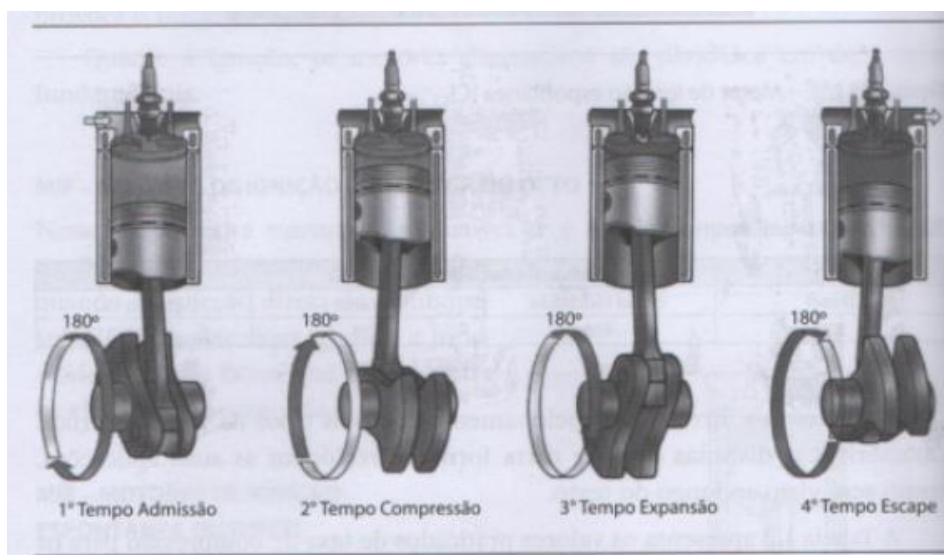
**Compressão:** A válvula de admissão é fechada e o pistão é deslocado do PMI ao PMS, comprimindo a mistura.

**Combustão/Expansão:** Ocorre a faísca que inflama a mistura de ar-combustível e gera sua ignição, iniciando uma combustão que provoca um grande aumento de pressão afim de “empurrar” o pistão para o PMI. Este processo é o que realiza o trabalho útil do motor.

**Escape:** Com a abertura da válvula de escapamento, o pistão se desloca do PMI ao PMS, despejando os gases queimados para fora da câmara de combustão, finalizando os ciclos.

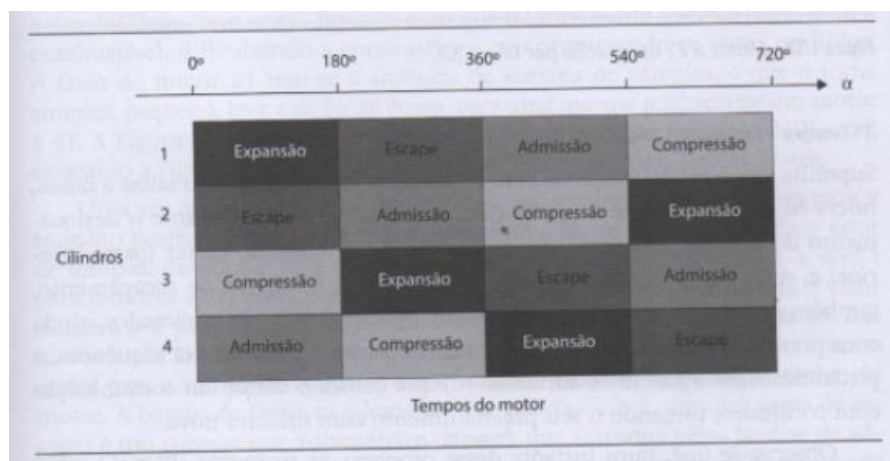
Na Figuras 12 temos a ilustração de todas as etapas simultâneas em cada cilindro em um determinado ponto de funcionamento, enquanto na Figura 13 temos a ilustração deste quatros tempo em forma de tabela observando o processo de combustão completo nos quatro cilindros.

Figura 12 – Os quatro tempos do Motor Flex



Fonte: Brunetti (2013)

Figura 13 – Os quatro tempos do Motor Flex de quatro cilindros



Fonte: Brunetti (2013)

## 2.6 Mistura Ar/Combustível

Um tema crucial quando falamos de Motores de Combustão Interna, em comparação ao nosso corpo podemos dizer que a Mistura Ar/Combustível ou Mistura *Air/Fuel* (A/F) representa para o motor como o sangue para nós, sendo a fonte principal de energia para geração de movimento. Em ambos para um bom funcionamento é necessária uma distribuição de oxigênio com o combustível em questão (para nós os nutrientes e para o carro a Gasolina, Etanol etc.) adaptando essas proporções ao esforço exigido.

Conforme Bosch (2005), uma estequiometria ideal de gasolina pura está em torno de 14,7:1, ou seja, para 1kg de Gasolina e necessário mais 14,7 kg de Massa de Ar para que ocorra uma combustão ideal, essa relação influencia diretamente no cálculo de consumo específico, além de causar impacto no funcionamento de sistemas de tratamento dos gases de escape, que se dá através de um catalisador de três vias capaz de reduzir 98% dos componentes tóxicos presentes no produto da combustão.

Como comentado acima, não é possível manter a combustão ideal o tempo todo de funcionamento do motor, já que o mesmo deve adaptar essa proporção de acordo com o regime exigido em cada situação, para determinar essa correlação temos o coeficiente  $\lambda$  (Lambda), que expressa a massa de ar admitida em relação a

demanda de ar para uma queima estequiométrica. A leitura e interpretação dos números obtidos ocorre da seguinte maneira:

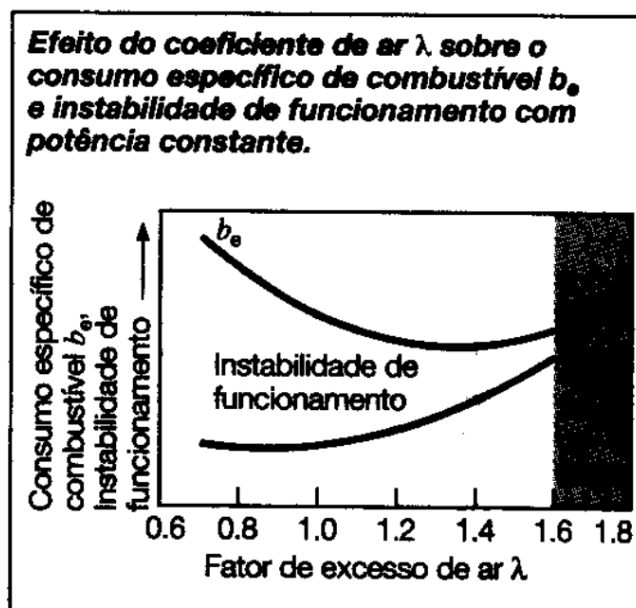
$\lambda = 1$ : Representa uma relação estequiométrica da massa de Ar admitida

$\lambda < 1$ : Representa uma massa de Ar admitida inferior a necessária para uma queima ideal, caracterizando uma mistura rica (maior quantidade de combustível injetado na câmara de combustão).

$\lambda > 1$ : Representa uma massa de Ar admitida superior a necessária para uma queima ideal, caracterizando uma mistura pobre (menor quantidade de combustível injetado na câmara de combustão).

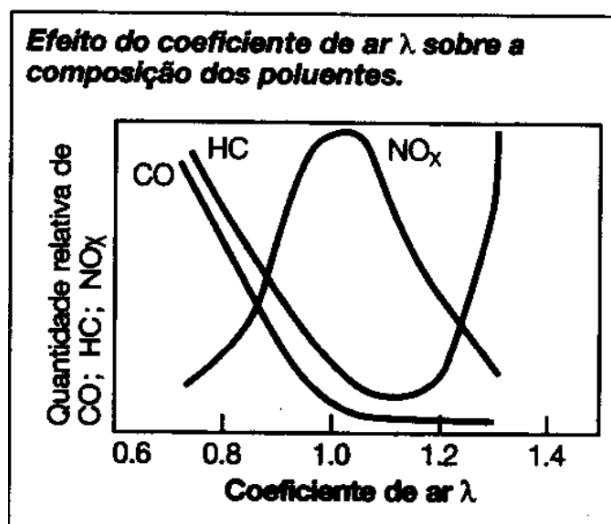
Na Figura 14, podemos observar um gráfico que nos mostra a instabilidade de funcionamento do motor, quando correlacionado a massa de mistura com uma potência constante. Enquanto isso na Figura 15 podemos observar a relação de gases poluentes emitidos, de acordo com a quantidade de combustível consumida, quanto maior a quantidade de ar presente menor o número de poluentes. (Bosch, 2005)

Figura 14 – Análise de Instabilidade de funcionamento pelo Consumo



Fonte: Bosch (2005)

Figura 15 – Quantidade de componentes poluentes em relação ao coeficiente  $\lambda$



Fonte: Bosch (2005)

## 2.7 Taxa de Compressão

Segundo Brunetti (2013) a taxa de compressão é um valor adimensional dado pelo volume unitário total do cilindro (Cilindro + Câmara de Combustão) sobre o Volume Morto (Câmara de Combustão), ilustrada na Figura 16, a partir dele temos o número de vezes que a mistura carburante será comprimida em relação ao seu volume admitido original, quanto maior a compressão maior a eficiência da combustão. As fórmulas utilizadas para esse cálculo estão contidas nas equações 1,2 e 3:

VU = Volume Unitário (cm<sup>3</sup>)

VJC = Volume da Junta do Cabeçote (cm<sup>3</sup>)

VUT = Volume Unitário Total (cm<sup>3</sup>)

r = Raio do Cilindro (cm)

VCC = Volume da Câmara de Compressão (cm<sup>3</sup>)

L = Comprimento da Biela (cm)

Equação 1 – Volume unitário por cilindro

$$VU = (\pi * r^2 * L) \quad (1)$$

Fonte – Fróes (2021)

Equação 2 – Volume unitário total

$$VUT = VU + VCC + VJC \quad (2)$$

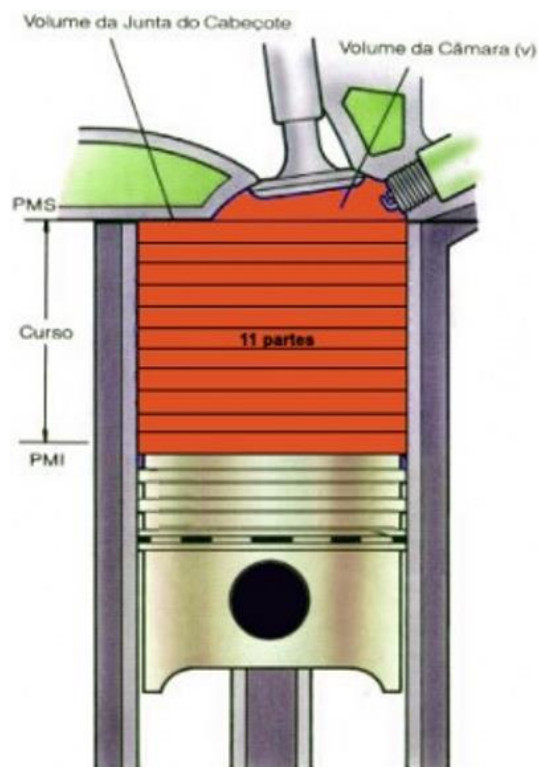
Fonte – Fróes (2021)

Equação 3 – Taxa de Compressão

$$\text{Taxa de Compressão} = \frac{VU+VCC+VJC}{VCC} \quad (3)$$

Fonte – Fróes (2021)

Figura 16 – Exemplificação da Taxa de Compressão



Fonte – Fróes (2021)

Segundo Fernandes (2012) vale ressaltar que o Motor *Flex* tem uma regulação intermediária para queima de ambos os combustíveis, possuem apenas um tanque contendo a mistura gasolina/etanol, com o mesmo sistema de alimentação dos demais carros. Os bicos injetores utilizados são os mesmos do carro a álcool, que são 30% maiores e possuem mais vazão. Em geral, a gasolina trabalha com uma compressão de 9:1, enquanto o etanol em 12:1. Portanto para atender ambos os combustíveis os carros bicompostíveis usam uma taxa intermediária, ao redor de 11:1.

Somente após a queima dos gases, estes são analisados pela sonda lambda (sensor de oxigênio que fica no escapamento) e consecutivamente o módulo de controle do motor leva de dois a quatro milissegundos para correção do ponto de ignição e a injeção, de acordo com o combustível identificado.

## **2.8 Conceitos de Detonação e Octanagem**

Detonação é o nome do fenômeno da autoignição da mistura não queimada, ou seja, antes da passagem da frente de chama. Quando acontece, há uma liberação extremamente rápida de grande parte da energia química contida na mistura não queimada, ocasionando em pressões locais muito altas e propagação de ondas de pressão de amplitude substancial através da câmara de combustão, conforme Heywood (1988).

Entre os diversos motivos para um mau funcionamento de um motor de combustão interna, a detonação se destaca como um importante fator de perda de potência e durabilidade do motor. A detonação não só restringe a eficiência do motor, uma vez que limita a taxa de compressão, mas também a máxima pressão média efetiva indicada.

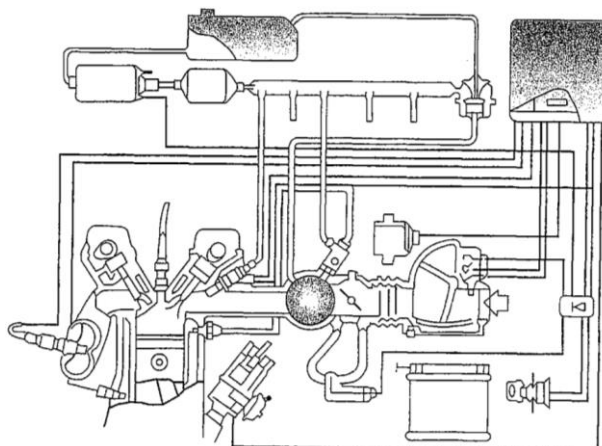
O índice de octano, ou octanagem, é uma medida da capacidade do combustível de resistir à detonação espontânea. Esforços para obter etanol de vários tipos de vegetação eram bem conhecidos. E o benzeno, um hidrocarboneto aromático, também poderia aumentar o octano (Heywood, 1998).



## 2.9 Sistema de Injeção

Com este sistema o principal objetivo é o estabelecimento e entrega da mistura ar-combustível mais adequada ao regime de carga solicitado pelo motor, em busca da maior atomização possível para atingir uma boa eficiência da combustão. Seus principais componentes envolvidos no processo são o corpo de borboleta, coletor de admissão, tubo distribuidor também chamado de *Fuel Rail* e as válvulas injetoras, ilustrado na Figura 17.

Figura 17 – Exemplificação do sistema de Injeção



Fonte: Brunetti (2013)

De forma simplificada o processo inicia-se no coletor de admissão que distribui o ar admitido de forma igualitária a todos os cilindros do motor, com dispersão inferior a 5%. Os coletores atuais são construídos em poliamida de forma a reduzir custos, perda de carga, e transferência de calor do "vão" do motor para o ar de admissão. Logo após temos o corpo de borboleta ligado diretamente ao pedal de aceleração, que vai ditar o regime de carga do motor. (Brunetti, 2013)

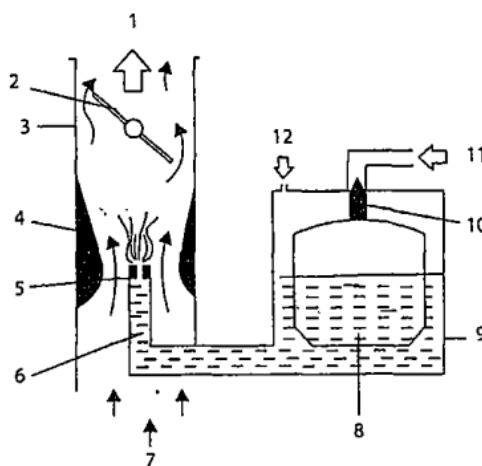
Já no tubo distribuidor ocorre o armazenamento e distribuição do combustível às válvulas injetoras. A quantidade de combustível armazenada é maior que a quantidade necessária ao funcionamento do motor, de forma a evitar oscilações de pressão junto às válvulas injetoras, garantindo pressão igual de combustível para todas as válvulas injetoras direcionado a mistura atomizada para câmara, que somada a faísca gerada pelas velas de ignição dão origem de combustão.

### 2.9.1 Controle Mecânico

O carburador elementar foi utilizado durante anos como ferramenta básica para estabelecer a relação combustível-ar, promovendo a dosagem da quantidade de combustível desejada, para certa vazão de ar admitida no motor, sendo que atualmente encontra-se obsoleto substituído pelos sistemas eletrônicos, ilustrado na Figura 18.

Conforme Brunetti (2013), um carburador elementar é composto de um reservatório denominado cuba (9), no qual o nível do combustível é mantido aproximadamente constante por uma boia (8) que através de urna válvula de agulha (10) regula a entrada de combustível enviado por uma bomba (11). A vazão de ar é regulada pela perda de carga estabelecida por uma borboleta aceleradora (2), à qual tem acesso o operador, por meio do acelerador. O ar passa por um Venturi (difusor – 4) que na garganta aumenta a velocidade do fluxo, causando depressão e a consequente sucção do combustível da cuba (5). A vazão do combustível, para uma dada sucção, pode ser dimensionada por uma perda de carga maior ou menor. Esta é estabelecida em função do tamanho do *Gicleur* (orifício calibrado – 5) utilizado. Ao aumentar a vazão de ar pelo Venturi (abrindo a borboleta ou aumentando a rotação pela menor carga no eixo do motor), a velocidade na garganta aumenta, com consequente aumento da depressão e, portanto, da sucção do combustível, mantendo uma relação combustível-ar aproximadamente constante, ilustrado na Figura 18.

Figura 18 – Exemplo de Carburador Elementar



Fonte: Brunetti (2013)

De forma análoga ao carburador elementar, uma vez fixada a rotação (n) e a posição da borboleta aceleradora (a), o sistema de injeção proporcionará a variação da massa de combustível admitida para se atingir a relação ar-combustível desejada.

### 2.9.2 Controle Eletrônico

Segundo Brunetti (2013) os requisitos cada vez mais exigentes para as emissões dos gases de escape, fazendo com que se busquem métodos cada vez mais aperfeiçoados e independentes de recursos humanos, para a alimentação de combustível dos motores. Para essa finalidade, utiliza-se o sistema de injeção eletrônica.

A injeção eletrônica de combustível para motores do ciclo Otto é um desenvolvimento antigo que saiu de modelos puramente mecânicos, para sistemas atuais que se valem do desenvolvimento e da redução de custos pelos quais passou a eletrônica. A melhor dosagem do combustível em cada condição de uso do motor é um dos responsáveis pelos menores níveis de emissões de poluentes.

Os primeiros sistemas de injeção eletrônica aplicados no Brasil foram os sistemas analógicos. Esses sistemas são *Port Fuel Injection* (PFI) multiponto, analógicos, com injeção *Full Group*. O controle do sensor de oxigênio (sonda lambda) é feito em malha aberta e o sistema é dedicado a um único combustível. A medição da massa de ar é feita por meio do sensor de palheta e não há diagnose embarcada.

Os sistemas digitais foram aplicados num segundo momento da injeção. A eletrônica digital permite a utilização de estratégias de controle de motor mais complexas e eficazes. O controle do sensor de oxigênio (sonda lambda) é feito em malha fechada e o sistema é flexível a misturas de combustível. A medição da massa de ar é feita por meio do sensor de vazão mássica *Mass Air Flow* (MAF) ou por meio do sensor de pressão do coletor e há diagnose embarcada (Brunetti, 2013).

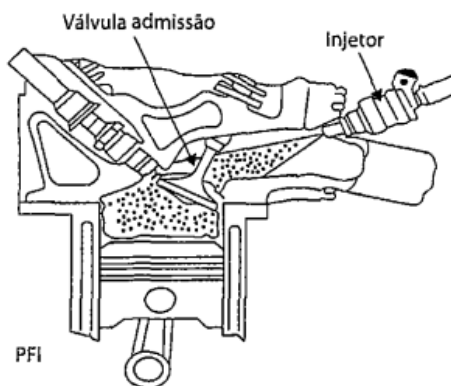
Outra grande vantagem da injeção eletrônica digital sobre a analógica é a flexibilidade de se alterar os parâmetros de controle da lógica, dados de calibração. Esses dados ficam armazenados na memória do microprocessador ao passo que em sistemas analógicos os parâmetros de controle eram definidos por componentes físicos. Ou seja, os módulos digitais permitem sua aplicação em diversos motores,

bastando alterar dados de software, o que contribuiu significativamente para a redução do custo do componente.

### 2.9.3 Injeção Direta

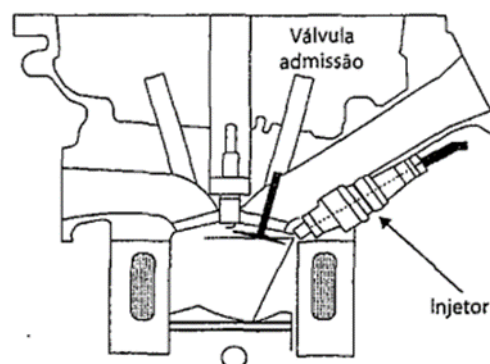
A proposta da injeção direta nasceu nos motores ciclo Diesel e este conceito vem sendo aplicado também nos motores ciclo Otto nas duas últimas décadas, seu princípio está no posicionamento da válvula injetora, que na forma indireta estava no coletor de admissão e no novo modelo está direcionado diretamente a câmara de combustão, ilustrados nas Figuras 19 e 20.

Figura 19 – Posicionamento Injetor em sistema de injeção indireta



Fonte: Brunetti (2013)

Figura 20 – Posicionamento Injeção direta



Fonte: Brunetti (2013)

A consequente modulação do torque pela quantidade de combustível é um pouco mais complexa, o controle da frente de chama requer mistura próxima da estequiométrica, ao menos próximo aos eletrodos da vela de ignição, onde se faz necessária a adoção da injeção de combustível diretamente no interior da câmara de combustão (Brunetti, 2013).

A elevação da taxa de compressão no ciclo Otto para maior eficiência térmica impacta na resistência à detonação do combustível. A adoção da injeção direta permite mais de uma injeção de combustível no mesmo ciclo de combustão o que implica em menor temperatura no interior da câmara de combustão e consequente maior resistência à detonação, permitindo-se assim a adoção de taxa de compressão mais elevada e eficiente.

Além da maior eficiência térmica, a injeção direta de combustível (DFI) também possibilita outras vantagens se comparada aos sistemas de injeção indireta de combustível (PFI). O controle de mistura ar-combustível é mais preciso pelo fato de não haver deposição de combustível nas paredes do coletor de admissão ou nos dutos do cabeçote. Sabe-se que a formação deste filme de combustível nas paredes do coletor de admissão e cabeçote depende da temperatura de operação do motor, sendo uma variável bastante influente na formação de mistura ar-combustível, demandando assim relativo esforço de desenvolvimento.

### 3 COMPREENDIMENTO ESPECÍFICO TECNOLOGIA FLEX

Até o presente momento em nosso trabalho conhecemos um pouco da história dos motores Ciclo Otto passando por seus componentes e entendendo seu funcionamento. Embora muito do que foi desenvolvido da tecnologia *Flex Fuel* tenha como base o funcionamento de um motor de ciclo Otto, há algumas modificações únicas que tornam possível sua utilização, e este é o nosso objetivo neste capítulo, apresentar características e componentes que tornam esta solução viável e também uma breve história, obtenção e característica físico-químicas do Etanol e da Gasolina, através desse conhecimento reuniremos o máximo de informações para nos auxiliarem na análise gráfica que será feita nos próximos capítulos.

#### 3.1 Características e modificações de um veículo *Flex Fuel*

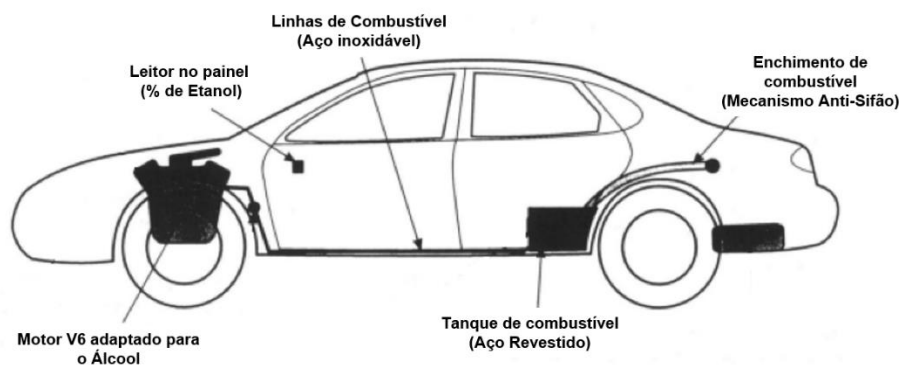
Devido as características corrosivas do etanol, alguns dos componentes e materiais do veículo precisam de modificações, como os metais usados em sistemas convencionais como por exemplo o alumínio, cobre, magnésio, zinco e latão, sendo esta a primeira barreira rompida no desenvolvimento desta inovação. Normalmente é necessário que seja aplicado revestimento especial e camadas de proteção, como revestimento de níquel, para superar o problema de corrosão. (*Cowart et al, 1995*)

O uso do etanol também prejudica os componentes de feitos de borracha, provocando inchaço e enfraquecimento de mangueiras. Sendo assim, é necessário utilizar materiais compatíveis com o etanol, como borrachas altamente fluoradas ou utilizar o nylon, que pode ser usado se escolhido corretamente.

O problema do material é um dos três desafios que entendemos como principais na adaptação de sistemas para o uso de ambos os combustíveis, outros dois problemas são, a partida a frio de Etanol dificultada pela baixa vaporização e maior temperatura de combustão, e outro fator importante a ser levado em consideração é o estudo de software para efetuar a aprendizagem constante da *Electronic Control Unit* (ECU) em como se comportar com diferentes porções dos combustíveis em sua mistura carburante.

Atualmente os veículos podem ser alimentados a etanol sem que tenham os típicos problemas gerados pelas características do etanol, podendo ser convertidos mesmo veículos que originalmente eram alimentados a gasolina. E não só para eventuais adaptações bem como a produção original de fábrica vamos conhecer algumas das alterações que diferenciam um veículo monocombustível para um bicomcombustível (*Flex-Fuel*), na Figura 20 temos uma exemplificação do modelo Taurus 1996 com algumas destas mudanças.

Figura 21 – Modelo Taurus Flex (1996)



Fonte: Adaptado de Cowart *et al.* (1995)

### 3.1.1 Materiais

De acordo com Cowart *et al.* (1995), uma das grandes problemáticas no desenvolvimento da tecnologia *Flex Fuel* é sem dúvida a escolha dos materiais, que serão utilizados no projeto, e isso se deve a alta corrosividade ligada a presença de água no etanol, logo todas as partes em contato com o combustível ou o vapor do mesmo devem ser analisadas, visando uma maior durabilidade dos componentes, é importante que cada sistema seja testado de acordo com as piores condições, incluindo possíveis impurezas encontradas no dia a dia.

Materiais utilizados nas linhas de combustível, para suportar as condições Flex são feitos de aço revestido ou resina de sulfeto de polifenileno preenchida com vidro, ambas opções têm se mostrado eficazes.

Os anéis comumente utilizados nos sistemas de combustível com a função de vedação, atuam na maior parte do tempo sobre alta temperatura e pressão e somada o risco de corrosão não apresentaram uma boa compatibilidade fabricado com o material previsto em projetos comuns, a solução encontrada foi a utilização de Fluoro-elastômeros com alta concentração de Fluorina. (Coward *et al*, 1995)

No sistema de injeção seu material deve suportar o uso do etanol e projetado para que suporte uma maior vazão para compensar a menor densidade de energia do etanol. Partes elétricas que possuam contato direto/ indireto com o combustível devem prever as propriedades de alta corrosividade e condutividade que o álcool possui.

### **3.1.2 Reconhecimento de Combustível e aprendizagem do Motor**

Nos veículos Flex Fuel, podem e, atuam comumente com diversas concentrações de ambos os combustíveis, e o que possibilita esta constante troca entre álcool e gasolina é o aprendizado do motor realizado inúmeras vezes pela ECU durante a rodagem do veículo. Dentro da etapa de identificação do combustível duas gerações de sensores são utilizadas, sendo um deles a sonda lambda e o outro é o sensor de Etanol, porém poucos veículos utilizam esta tecnologia.

Conforme notas de aula de Ribolla (2021), o sensor de Etanol visualizado na Figura 22, verifica o teor de etanol na mistura e a temperatura do combustível como um todo antes de ser entregue ao motor. Essa medição é realizada através da medição da condutividade do combustível, pois o Etanol, mesmo com uma presença mínima de água, ainda assim aumenta sua condutividade consideravelmente em relação a gasolina, e ao analisar esta propriedade precisamente esta é possível captar o teor aproximado de etanol na mistura e auxiliar a ECU em seu aprendizado.



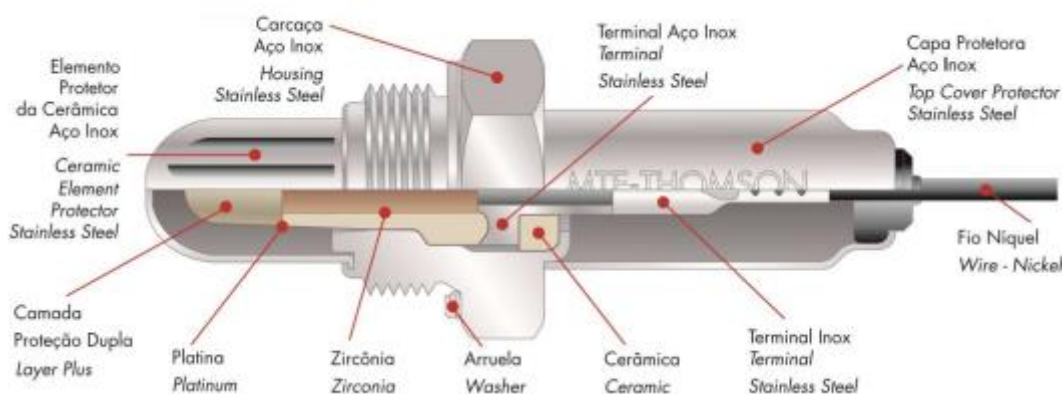
Figura 22 – Exemplificação Sensor de Etanol



Fonte: Ribolla (2021)

Já a sonda Lambda, sua função é exclusivamente captar a massa de oxigênio que passar pelo sensor, ele está presente antes do catalisador para auxiliar na identificação do combustível, e após o catalisador para registrar o volume de gases poluentes e verificar seu correto funcionamento. De acordo com Ribolla (2021) seus principais elementos são uma câmara com ar de referência, e um revestimento de dióxido de zircônio que separa os gases de escape do ar de referência, e um eletrodo de níquel para transmitir o sinal para ECU, podemos observar na Figura 23 sua estrutura.

Figura 23 – Exemplificação de um sensor de Oxigênio



Fonte: Ribolla (2021)

O elemento de dióxido de zircônio, a uma temperatura acima de 300°C conduz os íons de oxigênio, gerando uma tensão elétrica no condutor de Níquel. Esta tensão elétrica é gerada quando a concentração de oxigênio na parte interna e externa do elemento for diferente, tensões próximas de zero indicam uma mistura ar/combustível pobre e, tensões próximas de 1 Volt são geradas se a mistura for rica. (Ribolla, 2021)

A primeira etapa para a aprendizagem da ECU é o reconhecimento do combustível, e ocorre através dos dois componentes vistos acima sensor de Etanol e também a Sonda Lambda, portanto a ECU processa, qual teor aproximado de Etanol na mistura atual e verifica como foi a combustão se foi rica ou pobre, ou seja, se faltou ou sobrou oxigênio. Como os dois tipos de combustíveis demandam quantidades diferentes de oxigênio em seu processo de queima, a partir disto é identificado qual combustível está sendo queimado naquele instante.

No veículo há diversos mapas, que representam a variação da relação A/F para cada situação e em determinado combustível, na ECU existem registrados diversos mapas feitos para cada porcentagem de Etanol, e ao identificar o combustível é avaliado qual mapa é o mais adequado, e então conforme o resultado da queima a ECU testa diversos mapas até achar o que melhor encaixa no combustível naquele momento, todo este processo de identificação e escolha do mapa correto é dado o nome de “Aprendizagem de combustível”. (Tournier, 2019)

### **3.1.3 Sistemas de partida a frio**

Conforme Motta; Guariero & Câmara (2015) o sistema de partida a frio, ou também chamado *Cold Start System* (CSS), foi desenvolvido no Brasil com o objetivo de auxiliar na partida de veículos cuja mistura carburante possua mais que 85% de álcool às temperaturas inferiores a 13°C. Atualmente temos dois tipos de CSS, os modelos com tanque auxiliar de gasolina e outros que possuem apenas um sistema eletrônico de aquecimento.

No modelo com tanque auxiliar quando o veículo detecta um teor igual ou maior que 90% de etanol, esse sistema é acionado, e então no momento da partida ocorrem pequenas injeções de gasolina segundos antes da injeção de álcool controladas através do gerenciamento do Cluster que representa um conjunto de

microprocessadores focados neste controle, e acionadas por uma válvula solenoide, facilitando a partida a frio, na Figura 24 podemos ver em detalhe o esquema de seus componentes.

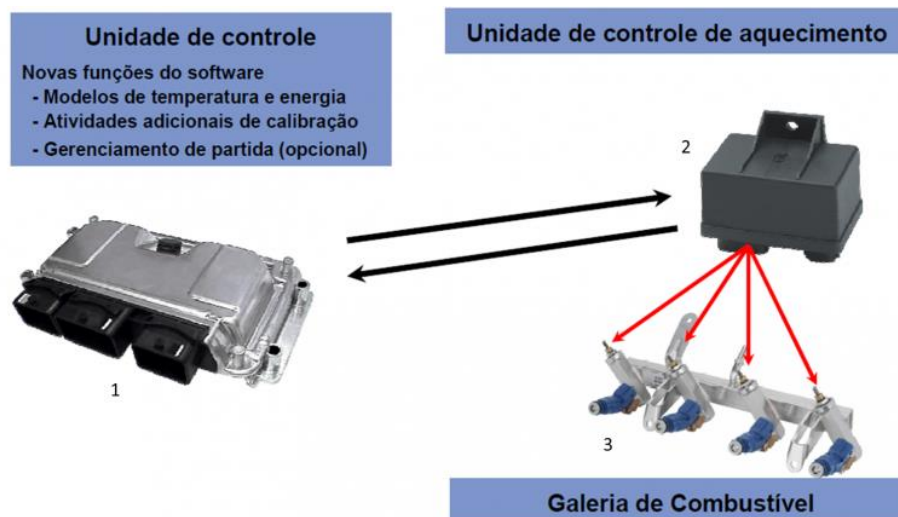
Figura 24 – Esquema de Componentes para Partida a Frio com tanque auxiliar



Fonte: Motta; Guariero & Câmara (2015)

A seguir temos o sistema de partida eletrônico, este sistema foi desenvolvido pela Bosch cujo o primeiro foi lançado apenas em 2009 chamado de "*Flex Start*", e funciona da seguinte maneira, a galeria de combustíveis conhecido também como *Fuel Rail* tem a função de disponibilizar o combustível na injeção nos cilindros dentro desta galeria a lança aquecedora realiza o aquecimento do combustível, o fluxo de energia para as lanças aquecedoras é gerenciado individualmente pela unidade de controle de Aquecimento. Na Figura 25 observamos os principais componentes presentes neste sistema. (Motta, Guariero & Câmara, 2015).

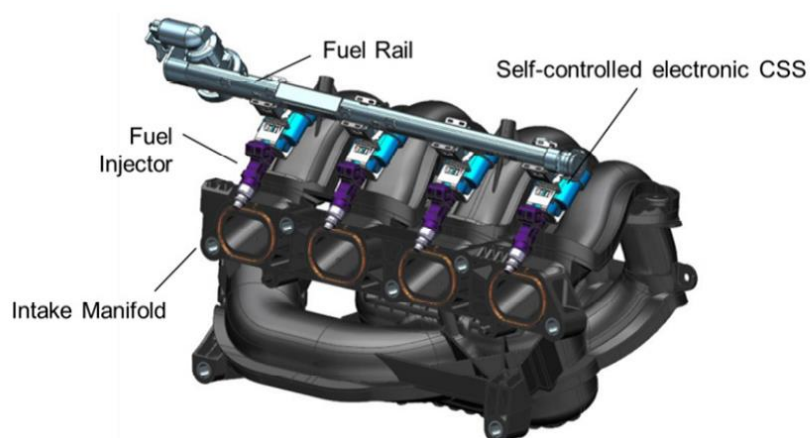
Figura 25 – Componentes para Partida a frios sem tanque auxiliar



Fonte: Vieceli (2016)

Há também um outro sistema desenvolvido pela Mahle, em que seu funcionamento se baseia no aquecimento do etanol utilizando um *Positive Temperature Coefficient* (PTC). Desta forma quando uma corrente elétrica é aplicada ao termistor a tensão elétrica é convertida em tensão térmica, e de acordo com seu funcionamento no qual aumenta ou diminui sua resistência diretamente proporcional a variação da temperatura não necessita de nenhum sinal de controle. Na Figura 26 podemos observar sua configuração de instalação em uma aplicação veicular. (Motta, Guariero & Câmara, 2015).

Figura 26 – Aplicação veicular Sistema Mahle de Partida a frio



Fonte: Motta; Guariero &amp; Câmara (2015)

## 3.2 Gasolina

A gasolina é um combustível fóssil produzida a partir do petróleo e formada principalmente por hidrocarboneto podendo conter (em menor quantidade) substâncias cuja fórmula química contém átomos de enxofre, metais, nitrogênio, oxigênio, entre outros. sua composição depende de sua utilização, para aviação ou automotiva (Joca, 2022).

Um líquido volátil e inflamável, a gasolina é muito utilizada como combustível para automóveis, motocicletas e para aviões de pequeno porte sua composição depende de sua utilização, sendo aviação ou automotiva. No Brasil, a ANP especifica três tipos de gasolinas automotivas para comercialização, variando de acordo com seu índice de octanas, tipo A, B e C sendo a gasolina do tipo B de uso exclusivo das forças armadas.

### 3.2.1 Origem e desenvolvimento

O óleo de baleia foi o Primeiro combustível utilizado pelo mundo em larga escala, e tornou a pesca baleira uma das principais atividades econômicas entre os séculos XVI ao XIX, inclusive em nossa Costa Brasileira. Segundo Comerlato (2010) uma baleia geralmente fornecia 50% de seu peso em óleo, o azeite de peixe tinha várias utilidades, sendo usado primordialmente para iluminação. Calcula-se que 90% do óleo produzido era para consumo na iluminação. Os lampiões acessos com óleo de baleia iluminavam as noites nas residências humildes e luxuosas, nas irmandades, nos quartéis, nas fortalezas, nas casas do governo e nos engenhos.

Seguindo o curso da história temos o Querosene antecessor da gasolina, de acordo com Francisco Wagner ele é um hidrocarboneto líquido obtido através da destilação fracionada do petróleo. Esse combustível passou a ser produzido em escala industrial em 1859, quando Edwin Drake descobriu petróleo em Tutsville, nos Estados Unidos, e, através da instalação de uma refinaria rudimentar, fabricava o querosene. Muito utilizado na iluminação residencial, o querosene foi o derivado mais

importante do petróleo até 1911, retornando somente em 1939, com o desenvolvimento dos aviões de propulsão a jato. (Comerlato, 2011)

A gasolina teve sua descoberta muito próxima do querosene, mas se limitava a um produto secundário e não era o produto desejado da indústria de refino de petróleo, sendo o querosene o elemento principal da época alimentando as lamparinas e outras tecnologias deste período. Segundo a Obra de Takeshita (2006), devido a sua alta energia de combustão, volatilidade e compressibilidade, a gasolina ganhou espaço com o surgimento dos motores a combustão, sendo nosso principal combustível até os dias de hoje.

A gasolina usada em 1912 possuía um nome diferente "*Straight - Run*" e sua obtenção advinha do processamento de separação dos compostos que estavam presentes no "petróleo cru", ou também pela condensação de hidrocarbonetos do gás natural, mas esse modelo de refino não acompanhava a demanda mundial de 7 a 15%, influenciando novas descobertas.

Ainda no ano de 1912, William M. Burton químico americano atuante na *Standart Oil*, descobriu uma nova forma de refino, através do aquecimento sob pressão do gasóleo, dessa forma as moléculas seriam rachadas formando pequenas moléculas tornando-favorecendo a fabricação de gasolina.

Segundo Takeshita (2006), agora tínhamos um combustível capaz de ser produzido e não simplesmente só separado, embora ainda tenha sido vista como inferior a poderosa "*Straight - Run*" da época, com a descoberta de seu maior índice antidetonante se tornou a escolha absoluta da indústria automobilística pela maior eficiência que ela trazia, gerando uma movimentação no mercado por desenvolvimento, melhorando o aproveitamento energético em seus motores.

### **3.2.2 Método de Obtenção**

De acordo com Alves (2012) petróleo é um líquido viscoso, com densidade menor que a água, geralmente de coloração escura, formado quase que exclusivamente por hidrocarbonetos, sua formação se deu na Terra há milhões de anos a partir da decomposição de pequenos animais marinhos mortos e depositados no fundo de lagos e oceanos, formando camadas de material orgânico, através de

milhões de anos a decomposição deste material somado a compressão realizada por rochas sedimentares, deram origem ao petróleo que conhecemos hoje.

Após a extração do petróleo através da perfuração de poços, ele é enviado para os portos de embarque por meio de oleodutos e embarcações para as refinarias, nas refinarias é feita a separação dos constituintes do petróleo por meio de vários processos como a destilação fracionada.

Para Barcza (2005) uma refinaria de petróleo, ao ser planejada e construída, pode destinar-se a dois objetivos básicos:

- Produção de combustíveis e matérias-primas petroquímicas;
- Produção de lubrificantes básicos e parafinas.

O primeiro objetivo é o mais comum, fundamental a produção em larga escala de Gás Liquefeito de Petróleo (GLP), gasolina, diesel, querosene e óleo combustível, dentre outros. O segundo grupo, de menor expressão cujo objetivo é a maximização de frações básicas lubrificantes e parafinas são cerca de duas a três vezes mais rentáveis aos refinadores, mas que também exige um maior investimento.

Uma refinaria produz derivados com aplicações energéticas e não energéticas. Os derivados energéticos ou combustíveis são: Gás combustível; Gás de petróleo liquefeito - GLP; Gasolina (automotiva e de aviação de pequeno porte); Querosene (de aviação e de iluminação); Óleo diesel; Óleo combustível (utilizado nas indústrias, no transporte marítimo pesado e na geração de energia elétrica);

Entre os derivados com aplicações não-energéticas (para uso industrial), destacam-se: Naftas e gasóleos petroquímicos; Solventes domésticos e industriais; Parafinas; Lubrificantes básicos; Asfalto; Coque.

Alves (2012) reforça que os esquemas de refino variam de uma refinaria para outra por conta do tipo de petróleo que varia de acordo com a região que foi extraído, e diversas técnicas combinadas, bem como o fato do mercado de uma dada região modificar-se com o tempo. Para ele os processos de refino não são estáticos e definitivos, e sim dinâmicos num horizonte de médio e longo prazo. Estas etapas dentro de uma refinaria podem ser classificadas em quatro grandes grupos:

- ❖ Processos de Separação;
- ❖ Processos de Conversão;

- ❖ Processos de Tratamento;
- ❖ Processos Auxiliares.

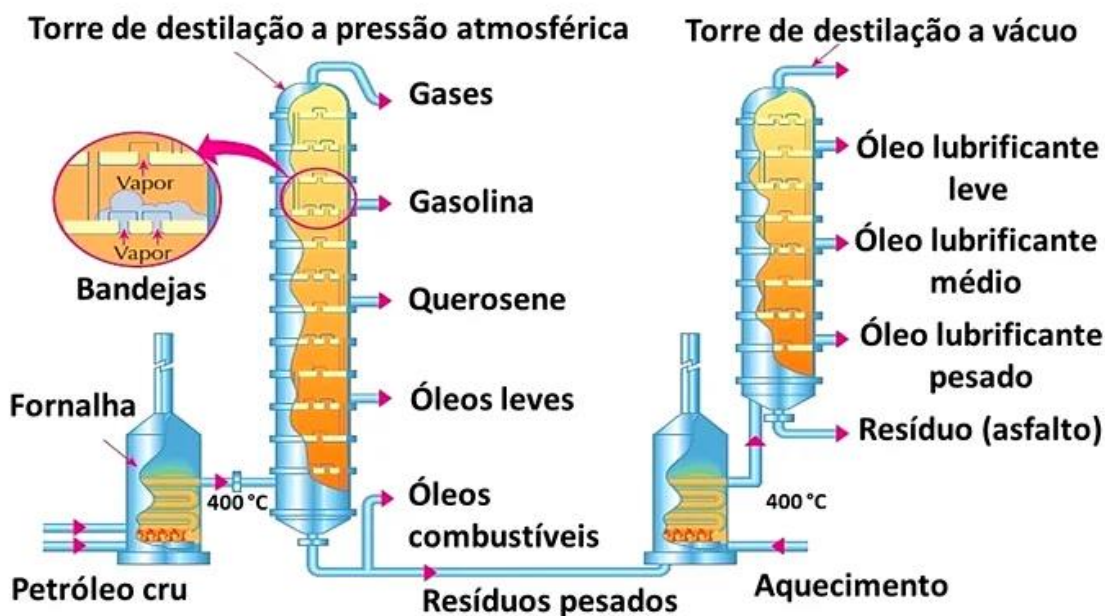
**Processos de separação:** São sempre de natureza física e têm como objetivo separar o petróleo em suas frações básicas, ou processar uma fração já produzida retirando dela um grupo específico de compostos. Os agentes responsáveis por estas operações são físicos, através da ação de energia ou de massa sobre o petróleo e/ou suas frações, dentro deste processo o modelo mais conhecido e utilizado atualmente é a destilação fracionada combinada com a destilação a vácuo.

Segundo Alves (2012) na destilação fracionada o petróleo é pré-aquecido em um forno, parcialmente vaporizado e enviado para uma coluna de fracionamento com várias subdivisões, no topo da coluna a temperatura é mais baixa que a temperatura da base, onde se encontram os hidrocarbonetos de maiores mais pesados, ainda no estado líquido, eles permanecem no fundo da coluna até serem separados, por destilação, em hidrocarbonetos mais leves.

O material restante ainda em estado gasoso sobe pela coluna resfriando-se, até atingirem um prato com uma temperatura menor que o seu ponto de ebulição, quando isso acontece esses vapores condensam e são retirados da coluna. O restante dos vapores sobe ainda mais na coluna e o mesmo processo se repete isso acontece diversas vezes ao longo da coluna, que pode conter várias bandejas como podemos observar na Figura 27. Dentre as frações que saem da coluna podemos destacar óleo lubrificante, óleo diesel, querosene, gasolina e gás.



Figura 27 – Demonstração ilustrativa do Refino de Petróleo



Fonte: Batista (2022)

**Processos de conversão:** Os processos de conversão são sempre de natureza química e transformando uma fração em outra(s), ou melhorando sua qualidade, este fenômeno ocorre através de reações de quebra, reagrupamento ou reestruturação molecular. As reações específicas de cada processo são obtidas por uma combinação de temperatura e pressão sobre as frações, sendo bastante frequente também a presença de um catalisador, conforme a presença ou ausência deste agente, podemos classificar os processos de conversão em dois subgrupos: catalíticos ou não catalíticos. Processos de conversão são, em geral, de elevada rentabilidade, principalmente quando transformam frações de baixo valor comercial (gasóleos, resíduos) em outras de maiores valores (GLP, naftas, querosenes e diesel) (Batista, 2022).

O craqueamento térmico é o mais antigo dos processos de conversão seu aparecimento foi no início do século XX, a ideia é quebrar moléculas presentes no gasóleo de vácuo ou no resíduo atmosférico, aumentando temperatura e pressão, é o meio de conversão mais rentável e também o mais utilizado para obtenção da gasolina e GLP, gerando também como subprodutos óleo leve (diesel de craqueamento) e óleo residual, além da formação de coque.

**Processos de tratamento:** têm por finalidade principal eliminar as impurezas presentes nas frações, que comprometam suas qualidades finais, garantindo assim estabilidade química ao produto acabado. As quantidades e os tipos de impurezas presentes nos produtos variam, conforme o tipo de petróleo as frações vão ficando mais pesadas, aumentando as impurezas proporcionalmente, o que dificulta a remoção. Os processos de tratamento podem ser classificados em duas categorias: convencionais (frações leves) e hidroprocessamento (frações médias e pesadas) (Barcza,2005).

**Processos auxiliares:** São aqueles que se destinam a fornecer insumos à operação dos outros anteriormente citados, ou a tratar rejeitos desses mesmos processos, como a geração de hidrogênio (fornecimento deste gás às unidades de hidroprocessamento), recuperação de enxofre (produção desse elemento a partir da queima do gás ácido rico em H<sub>2</sub>S) e as utilidades (vapor, água, energia elétrica, ar comprimido, distribuição de gás e óleo combustível, tratamento de efluentes e tocha), que mesmo não participando diretamente do processo são imprescindíveis a eles (Barcza, 2005).

A gasolina é atualmente o mais comum dos combustíveis, sendo utilizadas nos motores dos mais diferentes tipos de veículos: automóveis, motocicletas, caminhões, aviões etc. Atualmente, são comercializados no Brasil três tipos de gasolina para automóveis (Alves, 2012):

**Comum:** A cor da gasolina comum varia de incolor a amarelada. Essa gasolina não recebe corantes, pode possuir até 27% de álcool anidro em sua composição e chega no máximo a 86 octanas.

**Aditivada:** Pode receber corantes, com exceção das cores azul e rosa, apresenta a mesma octanagem que a gasolina comum, mas recebe a adição de um aditivo do tipo detergente, cuja função é manter limpo todo o sistema pelo qual a gasolina passa.

**Premium:** Pode receber corantes, contém aditivos e apresenta uma octanagem maior 94 octanas devido a menor porcentagem de álcool anidro permitida em sua composição (25%).

As adulterações mais frequentes na gasolina e suas consequências são:

- Adição de álcool acima do permitido: como consequência, a mistura A/F pode tornar-se excessivamente “pobre”, podendo ocorrer falhas de funcionamento e redução do poder calorífico do combustível com perda de desempenho;
- Adição de óleo diesel: carbonização da câmara de combustão;
- Adição de solvente de borracha: pode haver um ataque às partes de borracha do sistema, diminuição da octanagem e aumentando à tendência a detonação.

### 3.2.3 Propriedades Físico-químicas

A gasolina é uma mistura complexa obtida do refino do petróleo, constituída basicamente por hidrocarbonetos entre 4 a 12 átomos de carbono, cuja faixa de destilação varia de 30 a 220 °C sob pressão atmosférica, segundo Sarathy *et al.* (2014) o composto com maior presença é o C<sub>8</sub>H<sub>18</sub>. Constitui-se em um líquido, volátil e inflamável, possui também contaminantes naturais em baixas concentrações como enxofre, oxigênio, metais e nitrogênio.

Na Tabela 1 temos um exemplo de algumas propriedades deste combustível, sendo esta o peso molecular da composição *Molecular Weight* (MW), Porcentagem de oxigênio, o Calor Específico da combustão *Low Temperature Value* (LHV), proporção A/F, Ponto de ebulição do combustível em graus Celsius, os índices de octanagem dados em *Research Octane Number* (RON) medido em condições normais de trabalho do motor e *Motor Octane Number* (MON) medido em condições severas de operação, Entalpia da vaporização do combustível a 25 °C e sua solubilidade na água (Sarathy *et al.*, 2014).

Tabela 1 – Propriedades Físico-químicas Gasolina

Combustível	MW	O <sub>2</sub> (%)	LHV (MJ/L)	A/F	Ponto de Ebulição ( °C)	RON	MON	$\Delta H_{vap}$ (Kj/kg) 25 °C	Solubilidade na água em 25 °C (%)
Gasolina	111,19	0,00	30 - 33	14,58	27 - 225	88 - 98	80 - 88	~351	Não Miscível

Fonte: Adaptado de Sarathy *et al.* (2014)

Conforme Sarathy *et al.* (2018), as propriedades físicas da gasolina são importantes para determinação do desempenho direto do motor, a exemplo temos a característica de volatilidade da gasolina, ou seja, a capacidade de vaporização do combustível em temperaturas elevadas, esta por sua vez influencia diretamente a partida a frio, nível de emissões e eficiência da combustão.

Outras duas características físicas importantes da gasolina destacadas pelo auto são sua curva de destilação (ou perfil de destilação), que nada mais é o tipo de petróleo refinado e também o método utilizado, que afetam a eficiência de partida a frio e também as perdas evaporativas, e por último e não menos importante a viscosidade e gravidade específica (porcentagem de combustível densidade em relação a densidade da água), que impactam principalmente a atomização da mistura no momento da injeção.

A observação das propriedades químicas da gasolina estão correlacionadas a ocorrência e eficiência do processo de combustão, porém sua medição não é possível ser feita de forma direta, isto se deve ao fato da variedade de compostos presentes, mesmo assim modelos atuais de simulação combinados com exaustivos testes de campo vem se mostrando cada vez mais precisos para determinação destes parâmetros, para indústria automobilística dois fatores principais são buscados no desenvolvimento dos combustíveis, que são seu valor de aquecimento e capacidade antidetonante

Comentado acima, temos segundo Sarathy *et al.* (2018) que o valor de aquecimento ou originalmente LHV, é uma medição da energia de combustão, traduzida através da quantidade de calor produzida no processo de queima relacionado a proporção ar/combustível presente na mistura carburante em dadas condições de temperatura e pressão de acordo com a *American Society for Testing and Materials* na norma ASTM D240.

Considerado por muitos como o ponto fraco da gasolina combustível, outra importante característica química é a propriedade antidetonante, que é a capacidade de resistência do combustível a autoignição, este fenômeno ocorre através de uma autoignição de mistura carburante não queimada no final da câmara de combustão gerando uma nova frente de chama e reduzindo a eficiência da combustão primária. (Ribolla, 2021)

Este sempre foi um problema desde o nascimento deste combustível, sendo adicionado o metanol e compostos de Éter na década de 20 nos Estados Unidos, mas ambos abolidos por sua toxicidade, então a solução encontrada foi a adição de um certo teor álcool, assim elevando o valor de octanagem na mistura como um todo.

De acordo com a Resolução ANP nº 807/2020, a partir de 3 de agosto de 2020, uma nova especificação da gasolina passa a valer em território nacional, alinhadas aos requisitos de consumo de combustível dos veículos e níveis de emissões atmosféricas motivado pelas fases L-7 e L-8 do Proconve e do Programa Rota 2030, proporcionando uma maior eficiência energética e melhora na autonomia dos veículos. Estas melhorias são:

- Definição de valor mínimo para a massa específica a 20 °C, de 715,0 kg/m<sup>3</sup>, que visa conferir maior autonomia aos veículos, diminuindo o consumo de combustível pelos veículos.
- Inserção de valor mínimo para a temperatura de destilação atmosférica em 50% (T50) para a gasolina A, de 77,0 °C, esta mudança deve se ao fato de que, a adição de etanol a uma gasolina A de baixo T50, para formação da gasolina C, poderia acarretar uma composição de produto excessivamente volátil, trazendo prejuízos à dirigibilidade, desempenho, aquecimento, e consequentemente a eficiência do motor.
- O valor mínimo de octanagem RON, para a gasolina comum, será 92, a partir de 3 de Agosto de 2020, e 93, a partir de 1º de Janeiro de 2022. Já para a gasolina premium, será de 97, já a partir de 3 de Agosto de 2020.

### **3.3 Etanol**

“O etanol é uma substância química com fórmula molecular C<sub>2</sub>H<sub>6</sub>O, produzida especialmente via fermentação de açúcares. É um biocombustível utilizado em motores de combustão interna com ignição por centelha (Ciclo Otto) em substituição especialmente à gasolina e em contraponto a outros combustíveis fósseis.”, de acordo com ANP (2012).

O Brasil é pioneiro na utilização em larga escala de etanol combustível incentivado pelo Programa Nacional do Álcool (Proálcool), lançado em 1975 pelo governo federal como estratégia para combater o choque mundial do petróleo.

Atualmente somos um dos maiores produtores e consumidores, isto devido ao solo, topografia e clima favoráveis a plantação de cana de açúcar, vegetal que possui o maior rendimento para produção do álcool, além de ser uma alternativa para a geração de eletricidade a partir da queima do resíduo em forma de bagaço.

### 3.3.1 Origem e desenvolvimento

Segundo estudos de Gray & Varcoe (2006) tanto o etanol quanto o benzeno eram alternativas caras na época e Kettering, Midgley e Henry Ford, então proprietário da maior empresa automobilística do mundo, estavam fortemente interessados no uso do álcool como combustível, sozinho ou combinado com gasolina. Em meados do século XIX, o álcool era usado como combustível como uma fonte de óleo iluminador. Mas em 1862, o Congresso impôs um imposto de consumo de US\$ 2 por galão sobre álcool, o que ajudou a pagar a Guerra Civil, mas também destruiu o mercado de etanol como fonte de energia, o imposto não foi revogado até o início do século XX.

Ford, preocupado com a dependência americana do petróleo, investiu recursos consideráveis, projetando seu principal produto o Modelo T a ser o primeiro veículo *Flex* funcionando com etanol ou gasolina, chegando até mesmo a visitar Cuba em busca de canaviais e usinas de açúcar, e iniciou um programa de destilação de cavacos de madeira (resultando por acaso na invenção do carvão briquetes). Planos esses que foram frustrados, tanto pela pressão da *Standard Oil of New Jersey* grande produtora de combustível, mais tarde renomeada para *Exxon*, quanto pela Lei Seca sancionada nos Estados Unidos em 1920.

De acordo Scur; Sousa & Souza (2012) a primeira utilização expressiva do etanol no mundo como combustível foi na segunda década do século 20 na Primeira Guerra Mundial que contribuiu para os avanços na produção do etanol, utilizado como combustível nos motores usados nas batalhas.

De volta as observações de Gray & Varcoe (2006) após o conflito mundial Charles Kettering chefe das operações de pesquisa da GM, e a estrela da pesquisa

Thomas Midgley, comandavam o esforço de pesquisa da GM para encontrar um composto que fosse barato e que resolvesse o problema de detonação nos motores GM. O resultado foi um sucesso e já naquela época, havia algumas alternativas para qual seria o composto vencedor.

Segue a lógica que o álcool tenha se tornado o melhorador de octanagem padrão para a gasolina, mas a história não funcionou dessa forma. Em 1921, Midgley e sua equipe descobriram as tremendas capacidades antidetonantes do chumbo Tetraetila (TEL), um aditivo que aumenta muito a octanagem quando adicionado em pequenas quantidades à gasolina comum, porém seu uso foi duramente criticado por conta da sua alta toxicidade à saúde humana.

Anos mais tarde embora o conceito de utilização do etanol tenha nascido fora do Brasil, foi aqui em nosso país que o projeto de utilização do álcool combustível tomou forma e se tornou concreto, com a criação do FIAT 147 movido 100% a Álcool em 1976 segundo Wachter (2015) e após algum tempo com o surgimento do primeiro *Total Flex* do Mundo com o Gol 1.6 em 2003 segundo Nappo (2007), e que tem um enorme potencial de desenvolvimento e afirmação no mercado nacional por nossa facilidade de produção desse biocombustível.

### **3.3.2 Método de Obtenção**

De acordo com Wachter (2012) na antiguidade o etanol era obtido apenas pela fermentação natural de alguns vegetais que continham açúcar, em seguida foi desenvolvida pelos árabes expandindo o mercado. No século XIX, com a industrialização, novos métodos de obtenção foram pensados e o modificando a comercialização do Etanol como conhecemos hoje, utilizado em quase todos os meios, seja para limpeza, combustível, etc.

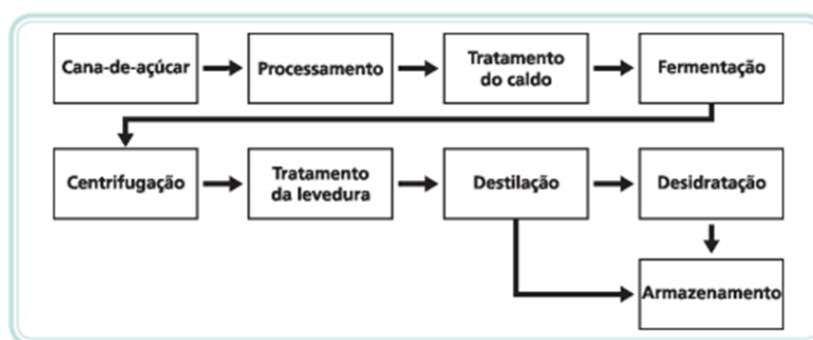
A cana-de-açúcar, é o principal vegetal na produção nacional de álcool, uma planta que consiste em fibra, caldo e pequenos sólidos dissolvidos, em proporções variadas, seu planejamento para o plantio deve ser levado em consideração a variedade da cana plantada, os adubos específicos, os defensivos contra doenças e pragas, as máquinas e os serviços.

Segundo Scur; Sousa; Souza (2012) o processamento da cana ocorre da seguinte forma, antes do material se dirigir às moendas ou aos difusores, onde é feita a extração do caldo, ele passa por um processo de lavagem nas mesas alimentadoras para retirada de impurezas como terra e areia, logo após passa por um conjunto de facas, deixando o insumo em pedaços menores, que nivelam e preparam a cana para o desfibrador que por sua vez vai compactar e enviá-las para a próxima etapa. No processo de extração do caldo, separam-se as fibras e extrai-se o caldo a partir de dois processos: a moagem (similar a um triturador) ou a difusão (compressão das fibras contra uma fina peneira metálica “espremendo” o caldo).

O resultado de ambos os processos são o caldo e o bagaço, aquecidos de forma a eliminar a água formando um líquido viscoso rico em açúcar, o melaço. Independentemente do método de extração do caldo, o bagaço resultante contém 46% de fibra, 50% de água e 4% de sólidos dissolvidos. A quantidade de bagaço varia entre 240 kg e 280 kg por tonelada de cana e pode servir para a geração de energia.

O penúltimo processo é um tratamento químico, a fim de retirar as impurezas solúveis/insolúveis restantes e, então, o álcool é enviado para fermentação, adicionando água e um pouco de ácido ao melaço. Os microrganismos adicionados, agem como catalizadores da reação que transformam o açúcar em álcool. Esse processo tem duração de 50 horas aproximadamente e o álcool obtido equivale a 13% do volume do mosto (toda mistura destinada à fermentação alcoólica) de fabricação. Ao final da fermentação, inicia-se a destilação para separar o álcool. Na Figura 28 temos a exemplificação do processo através do fluxograma (Scur; Sousa & Souza, 2012).

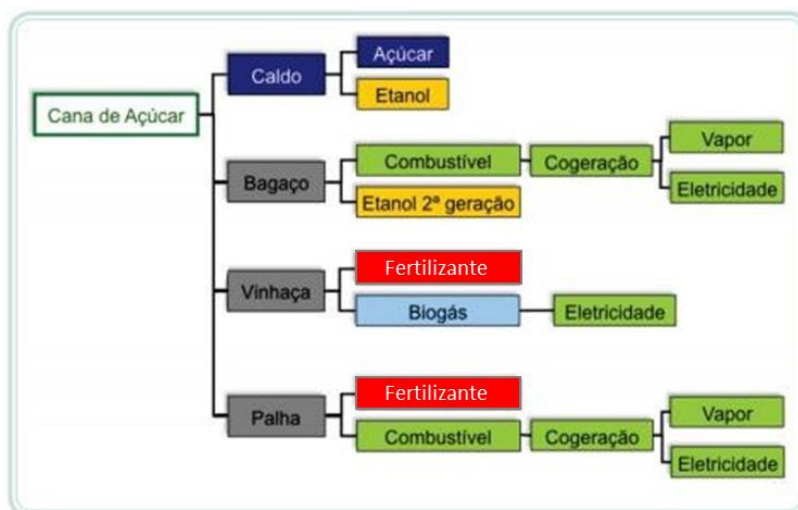
Figura 28 - Sequência de Processo para obtenção do Álcool





Na Figura 29 temos a exemplificação de toda cadeia produtiva direta e indireta do álcool, nessa Figura podemos observar que o etanol pode ser produzido tanto a partir do caldo da cana-de-açúcar (chamado de etanol de primeira geração) quanto a partir do bagaço (chamado de etanol de segunda geração).

Figura 29 - Cadeia Produtiva do Etanol



Fonte: Watcher (2012)

Estes são os dois tipos de álcoois provenientes do processo:

- Hidratado - É uma mistura hidroalcoólica (álcool e água) com teor alcoólico mínimo de 92,6° (7,4 % de água permitida), composto por álcool etílico ou etanol. O emprego de álcool hidratado é na indústria farmacêutica, alcoolquímica e de bebidas, combustível para veículos e produtos para limpeza.
- Anidro - Subproduto do álcool hidratado, este por sua vez sofre um processo adicional de desidratação e é caracterizado pelo teor alcoólico máximo de 99,3° (0,7 % de água permitida) sendo composto quase em sua totalidade de etanol ou álcool etílico. É utilizado nos combustíveis para veículos (Gasolina C) e matéria prima na indústria de tintas, solventes e vernizes.

Os álcoois produzidos, tanto o anidro quanto hidratado, são quantificados através de medidores de vazão e finalmente são enviados para a armazenagem em tanques, onde esperam por sua comercialização.

### 3.3.3 Propriedades Físico-químicas

A palavra álcool que usamos cotidianamente é um termo com uma abrangência muito maior do que simplesmente o uso como combustíveis, para química álcoois são compostos orgânicos contendo uma ou mais hidroxilas ([OH] Ligação de Oxigênio + Hidrogênio) a átomos de carbono saturados, ou seja, ligados através de uma ligação simples.

Os Álcoois comumente utilizados com a finalidade de combustível, são o Metanol com uma molécula de carbono ligada a uma hidroxila, e o Etanol composto de dois átomos de carbono ligados à uma hidroxila, cujas suas estruturas linearmente condensadas podem ser observadas na Figura 30. (Sarathy *et al*, 2014).

*Figura 30 - Estrutura dos Álcoois Etanol & Metanol*



Fonte: Sarathy *et al*. (2014)

Atualmente o uso é quase em sua totalidade de etanol, e isto se deve a periculosidade do metanol, que incluem uma alta toxicidade para saúde humana e pela difícil tarefa de controle de incêndios com este combustível já que sua chama é invisível a olho nu, segundo as Resoluções Nº 807, de 23 de janeiro de 2020, e Nº 19, de 15 de abril de 2015, ambas publicadas pela ANP, a quantidade máxima permitida na gasolina e também no etanol é de 0,5%.

Temos segundo Sarathy *et al.* (2014) descritos na Tabela 2 algumas propriedades referentes ao Etanol e também ao Metanol, além disso serão descritos alguns fenômenos acerca dos álcoois combustíveis.

*Tabela 2 – Propriedades Físico-químicas Etanol/Metanol*

Combustível	MW	O <sub>2</sub> (%)	LHV (MJ/L)	A/F	Ponto de Ebulição (°C)	RON	MON	$\Delta H_{vap}$ (KJ/kg) 25 °C	Solubilidade na água em 25 °C (%)
Metanol	32.04	0,50	15,8	6.46	64,7	109	89	1168	Miscível
Etanol	46.06	0,35	21,4	8,98	78	109	90	919,6	Miscível

Fonte: Adaptado de Sarathy *et al.* (2014)

- Álcoois com uma presença de um a três carbonos possuem um baixo valor de aquecimento, quando comparados a Gasolina e o Diesel, isto implica em um maior consumo, porém álcoois com mais de três carbonos se aproximam do valor de aquecimento da gasolina, porém mais instáveis quimicamente, portanto inviáveis.
- A presença de frações de Hidroxila nos álcoois faz com que estejam líquidos a temperatura ambiente, e com isto, tornando mais fácil seu transporte por longas distâncias, entretanto seu baixo ponto de ebulição dificulta a mistura com a Gasolina e com o Diesel.
- Os Álcoois de uma forma geral possuem um menor calor latente de vaporização, em comparação a Gasolina e o Diesel, o que impacta negativamente no momento de partida de motores em temperaturas abaixo de 13 °C, requerendo um sistema auxiliar específico a esta situação.
- Álcoois com menos de três Carbonos em sua cadeia molecular, tem uma maior solubilidade na água, aumentando o risco de contaminação de componentes do motor e diminuindo a capacidade de mistura com combustíveis fósseis.
- Sua propriedade mais significativa, e que torna o Álcool como forte combustível em países emergentes como o Brasil, é seu maior índice de Octanas, ou seja, sua

resistência a detonação, (RON = *Research Octane Number*) fazendo com que um motor com a mesma especificação utilizada para gasolina chegue a maiores valores de torque e potência, a causa deste fenômeno será abordada em nosso capítulo final.

- Em novos motores *Lower Temperature Combustion* (LTC), utilizam injeção direta e centelha de ignição simultâneas, esta tecnologia proporciona um maior aproveitamento do alto índice de octanas, além de ameniza seu baixo calor latente, tornando o Álcool extremamente eficiente nestes tipos de motores.

## 4 TESTES PRÁTICOS

Neste capítulo iremos realizar testes práticos, feitos em dinamômetro de inércia presente na praça técnica da FATEC Santo André, de modo a compreendermos na prática o que foi discutido ao longo de todo este trabalho acadêmico, primeiro apresentaremos a norma de referência utilizada, em seguida nossos equipamentos e softwares utilizados, e por fim abordaremos nossos resultados obtidos e as consequentes conclusões, estes testes tem por objetivo um panorama geral da tecnologia *Flex-Fuel*, porém com um foco especial na diferenciação de torque, potência e consumo entre a gasolina e o etanol e a razão deste fenômeno.

### 4.1 Normas de ensaio (padrões e procedimentos)

As Normas Brasileiras são elaboradas pelas Comissões de Estudo composta por representantes da indústria, universidades, laboratórios, clientes e outros segmentos relacionados, tendo seu conteúdo como responsabilidade dos Órgãos de Normatização Setorial (ONS), assim como dos Comitês Brasileiros (CB).

A fim de que se tornem oficiais, os projetos de Normas Brasileiras realizados pelas ONS e CB são mandados para a votação entre os associados da Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT), cujo qual é o Fórum Nacional de Normalização, juntamente com os demais interessados pelo projeto de norma.

#### 4.1.1 Objetivo da norma e definição de potência líquida

Segundo a Norma Brasileira (NBR) 1585 é especificado como se realiza, de maneira apropriada, uma análise da potência líquida efetiva em motores de combustão interna para veículos de passageiros, assim como os de carga, o ensaio se aplica à análise do desempenho do motor juntamente com o consumo específico de combustível sobre o regime de plena carga da rotação do motor, seja de pistões rotativos ou ignição tanto por centelha quanto por compressão. Pode-se utilizar motores aspirados ou sobrealimentados com o uso de um turbocompressor.

Em suma a potência líquida é aquela obtida na saída da árvore de manivelas, na rotação correspondente do motor com todos os equipamentos padrões de produção para o determinado modelo do veículo pelo fabricante.

Ainda de acordo com a norma aqui temos algumas especificações que devem ser atendidas para realizações dos testes.

- Torque: O dinamômetro para a medição de torque deve ter uma exatidão de  $\pm 1\%$  na faixa dos valores de escala necessária para o ensaio.
- Rotação do motor (frequência rotacional): O sistema de medição da rotação do motor (frequência rotacional) deve ter uma exatidão de  $\pm 0,5\%$ .
- Fluxo de combustível: O sistema de medição do fluxo de combustível deve ter uma exatidão de  $\pm 1\%$ .
- Temperatura do combustível: O sistema de medição da temperatura do combustível deve ter uma exatidão de  $\pm 2$  K.
- Temperatura do ar: O sistema de medição da temperatura do ar deve ter uma exatidão de  $\pm 2$  K.
- Pressão barométrica: O sistema de medição da pressão barométrica deve ter uma exatidão de  $\pm 100$  Pa.
- Contrapressão no sistema de escapamento: O sistema utilizado para medir a contrapressão no sistema de escapamento deve ter uma exatidão de  $\pm 200$  Pa.
- Restrição no sistema de admissão: O sistema utilizado para medir a restrição no sistema de admissão deve ter uma exatidão de  $\pm 50$  Pa.
- Pressão absoluta no duto de admissão: O sistema utilizado para medir a pressão absoluta no duto de admissão deve ter uma exatidão de  $\pm 2\%$  da pressão medida.

#### **4.1.2 Equipamentos e componentes auxiliares e suas regulagens**

É previsto na norma NBR 1585 que para a realização do ensaio em uma bancada, é necessário que alguns componentes auxiliares sejam instalados em uma posição próxima à da qual são montados no modelo do veículo, enquanto que os componentes auxiliares acessórios montados no motor, como a bomba da direção hidráulica ou sistema de condicionamento do ar devem ser removidos, sendo que, caso sua remoção não seja possível, a potência absorvida pelos mesmos na condição sem carga pode ser somada à potência medida do motor como podemos observar no Quadro 1.

Quadro 1 – Instalação de equipamentos e componentes auxiliares

Nº	Componentes auxiliares	Equipado para o ensaio de potência líquida
1	Sistema de admissão Coletor de admissão Sistema de controle de emissão do cárter Dispositivos de controle para sistema de coletor de admissão de dupla indução Medidor do fluxo de ar Tubulação do ar de admissão <sup>(1)</sup> Filtro do ar <sup>(2)</sup> Silenciador da admissão <sup>(4)</sup> Dispositivo de limitação da rotação <sup>(4)</sup>	Sim, equipamento-padrão de produção
2	Dispositivo de aquecimento do coletor de admissão	Sim, equipamento-padrão de produção. Se possível, montar na posição mais favorável
3	Sistema de escapamento Purificador dos gases de escapamento Coletor do escapamento Dispositivos de sobrealimentação Tubos de conexão <sup>(1)</sup> Silencioso <sup>(1)</sup> Ponteira <sup>(1)</sup> Freio motor <sup>(2)</sup>	Sim, equipamento-padrão de produção
4	Bomba alimentadora de combustível <sup>(1)</sup>	Sim, equipamento-padrão de produção
5	Equipamento de carburação Carburador Sistema de controle eletrônico, medidor do fluxo de ar, etc. (se acoplado) Equipamento para motores de combustível gasoso Redutor de pressão Evaporador Misturador	Sim, equipamento-padrão de produção
6	Equipamento de injeção de combustível [Ignição por centelha e ignição por compressão (diesel)] Pré-filtro Filtro Bomba Tubulação de alta pressão Injetor Válvula de entrada de ar (se acoplada) <sup>(5)</sup> Sistema de controle eletrônico, etc. (se acoplado) Sistema de controle automático do batente de plena carga de acordo com condições atmosféricas	Sim, equipamento-padrão de produção
7	Equipamento de arrefecimento a líquido Radiador Ventilador <sup>(5,6)</sup> Defletor do ventilador Bomba d'água Válvula termostática <sup>(7)</sup>	Sim, <sup>(5)</sup> equipamento-padrão de produção
8	Equipamento de arrefecimento a ar Defletor Ventilador ou soprador <sup>(5,8)</sup> Dispositivo de regulagem da temperatura	Sim, equipamento-padrão de produção



Nº	Componentes auxiliares	Equipado para o ensaio de potência líquida
9	Equipamento de ignição elétrica ou eletrônica Gerador <sup>(6)</sup> Sistema de distribuição da centelha Bobina ou bobinas Fiação Velas de ignição Sistema eletrônico de controle, incluindo sistema de atraso de centelha/sensor de detonação <sup>(11)</sup>	Sim, equipamento-padrão de produção
10	Equipamento de sobrealimentação (se acoplado) Compressor acionado diretamente pelo motor e/ou pelos gases de escapamento Controle de pressão de sobrealimentação <sup>(2)</sup> Pós-arrefecedor do ar <sup>(4),(6),(9)</sup> Bomba ou ventilador de arrefecimento (acionado pelo motor) Dispositivos de controle do fluxo de arrefecimento (se acoplado)	Sim, equipamento-padrão de produção
11	Ventilador auxiliar da bancada de ensaio	Sim, se necessário
12	Dispositivos antipoluição <sup>(10)</sup>	Sim, equipamento-padrão de produção

Fonte: ABNT (1996)

Em relação as condições de regulagem para a realização de um ensaio da potência efetiva líquida todos os componentes auxiliares devem estar devidamente regulados de acordo com o fabricante, como podemos observar no Quadro 2.

Quadro 2 – Condições de regulagem

1	Regulagem do(s) carburador(es)	De acordo com as especificações de produção do fabricante, sem alteração posterior para a aplicação particular
2	Regulagem de débito da bomba injetora	
3	Sincronização da ignição ou injeção (curva de sincronismo)	
4	Ajuste do regulador de rotação	
5	Dispositivos antipoluição	
6	Controle de sobrealimentação	

Fonte: ABNT (1996)

### 4.1.3 Condições de Ensaio

Para a realização correta do ensaio de potência efetiva líquida, o acelerador deve ser acionado completamente e com o motor do veículo equipado conforme especificado no Quadro 1. Além disso há algumas instruções que devem ser seguidas no momento de ensaio (NBR 1585):

- ✓ Os dados de desempenho devem ser obtidos sob condições estáveis para sua operação;
- ✓ É necessário que o fornecimento de ar fresco seja apropriado para a velocidade do veículo;
- ✓ Em relação ao amaciamento prévio, deve-se seguir as recomendações do fabricante;
- ✓ As câmaras de combustão podem conter sujidade desde que em baixa quantidade;
- ✓ Deve-se selecionar as condições de ensaio mais próximas possíveis das condições de referência;
- ✓ A pressão absoluta na entrada de ar do motor, tem que ser medida no coletor de admissão;
- ✓ A contrapressão do escapamento deve ser medida a uma distância mínima equivalente a três diâmetros do tubo em relação a saída do coletor de escapamento;
- ✓ Começar a coleta de dados após manter a rotação e temperatura constante por não menos que um minuto.
- ✓ Durante a leitura a rotação do motor não pode sair da rotação alvo por mais que +/-1%;

- ✓ Os dados observados devem ser a média das duas leituras consecutivas estabilizadas que dentro de um minuto não tenham uma variação de carga ao freio e consumo de combustível maior que 2%;
- ✓ O líquido de arrefecimento na saída do motor precisa ser mantido dentro de +/-5K da temperatura mais alta controlada termostaticamente, especificada pelo fabricante. Caso não especificada, a temperatura deve ser de 353 +/- 5 K;
- ✓ A temperatura do combustível deve ser medida o mais próximo possível dos injetores de combustível e ser mantida dentro de +/- 5 K da temperatura especificada pelo fabricante, se não especificada, utilizar-se de 298 K +/- 5 K;
- ✓ A temperatura do lubrificante pode ser medida na saída do arrefecedor de óleo ou na galeria de óleo com sua temperatura obrigatoriamente sendo mantida nos limites especificados pelo fabricante;
- ✓ Precisa-se que o motor tenha um número de rotações no qual permitam definir a curva de potência por completo, a fim de realizar sua medição e se necessário.
- ✓ Combustíveis de referência: CEC RF-01-A-80; CEC RF-03-A-84; CEC RF-08-A-85; JIS K 2202; JIS K 2204; 40 CFR, Part 86.113-87 (para motores de ignição por centelha)

Combustíveis comerciais podem ser utilizados, portanto que suas características sejam especificadas tão como não possua aditivos suplementares ou supressores de fumaça.

#### **4.1.4 Fatores de Correção e condições atmosféricas**

Dentro da norma NBR 1585 de ensaio de potência efetiva líquida do motor temos como condição de referência uma temperatura adequada aos parâmetros de 298 K (25°C) com uma pressão do ar seco a 99 kPa. Para as condições durante o

ensaio de um motor de ignição por centelha, a temperatura deve estar entre 288 K até 308 K (15°C até 35°C) com a pressão seca entre 80 kPa até 110 kPa.

É permitido a realização dos ensaios em salas de teste equipadas com ar-condicionado, na qual pode-se controlar as condições atmosféricas a fim de se igualarem com as de referência. Se os dispositivos utilizados para o condicionamento forem automáticos, não há necessidade de se fazer a correção da potência, contanto que o parâmetro se encontre dentro da faixa significativa do dispositivo. Isto se aplica particularmente no condicionamento automático da temperatura do ar cuja qual sempre está a 25°C, nos controles automáticos da pressão de sobre alimentação quando a pressão atmosférica é similar à da qual o controle da pressão de sobre alimentação está operando e nos controles automáticos do combustível com um regulador que ajusta o fluxo do combustível para uma potência de saída constante.

Todavia, no caso do dispositivo automático da temperatura do ar estiver completamente fechado na plena carga a 25°C (sem acréscimo de ar aquecido ao ar de admissão), o ensaio tem que ser realizado com o dispositivo completamente fechado tendo o fator normal de correção aplicado. Tendo o fluxo do combustível para motores de ignição por compressão deve ser corrigido pelo fator de correção da potência correspondente.

Para a determinação da potência efetiva do motor dentro das condições de referência especificadas no capítulo 4.5 multiplica-se o fator de correção pela potência medida, observado na Equação 4.

#### Equação 4 – Potência de Referência

$$P_{ref} = \alpha \times P_{med} \quad (4)$$

Fonte: ISO NBR 1585 (1996)

$P_{ref}$ : Potência corrigida (Cv);

$\alpha$ : Fator de correção;

$P_{med}$ : Potência medida (Cv).

Essa equação é aplicada em quaisquer motores cujo seu sistema de controle tenha sido projetado para manter uma relação combustível/ar constante entre as variações do clima.

Equação 5 – Fator de correção para motores de ignição por centelha sobrealimentados e aspirado.

$$a = \left(\frac{99}{Pd}\right)^{1,2} \times \left(\frac{T}{298}\right)^{0,6} \quad (5)$$

Fonte: ISO NBR 1585 (1996)

T: Temperatura absoluta medida na entrada de ar do motor (K);

Pd: Pressão atmosférica “seca” (KPa).

Essa equação só é aplicada se:  $0,93 \leq \alpha \leq 1,07$

Ao se determinar a potência, torque e/ou o consumo específico de combustível, de um motor, pela NBR 1585, deve-se referenciar o método utilizado, registrando “determinado de acordo com a NBR ISO 1585” (ABNT).

Por exemplo, a potência líquida efetiva declarada juntamente com a rotação correspondente do motor, indicadas na publicação de venda para um tipo de motor pela fabricante, deve ser feita da seguinte forma:

Potência líquida efetiva ISO: .... kW a ...min<sup>-1</sup> (de acordo com a NBR ISO 1585).

## 4.2 Equipamentos

Os testes foram essencialmente baseados na instrumentação e utilização de dois equipamentos e um instrumento auxiliar, sendo estes um dinamômetro de inércia que nos auxiliou a levantar as curvas de potência e torque adquiridos para cada tipo de combustível (Gasolina e Etanol), um Scanner via *Universal Serial Bus* (USB) *Universal Serial Bus* transmitindo outras informações essenciais como tensão da

sonda Lambda, mistura A/F, etc.; e por fim um manômetro de pressão auxiliando na regulação de pressão de combustível, para melhor consistência dos testes.

#### 4.2.1 Dinamômetro de inércia

De acordo com Martins (2006) dinamômetros de inércia, consistem em grandes massas inerciais, geralmente construídos na forma de cilindros, nos quais ao serem submetidos sob uma força aplicada pelo motor do veículo ensaiado. O motor pode estar acoplado diretamente ao dinamômetro por meio de seu volante, ou suas rodas podem ser apoiadas e devidamente fixadas nos rolos de inércia, podendo ser determinado a inércia também do sistema de transmissão e das rodas.

Seu funcionamento conforme Muñoz *et al.* (2008), se dá através da medição angular, uma vez conhecido o momento de inércia do conjunto, o torque pode ser calculado através do produto do momento de inércia e da aceleração angular, a potência é obtida a partir do produto do torque pela velocidade, conforme as equações 6 e 7.

Equação 6 – Torque calculado no dinamômetro

$$T = I * \alpha \quad (6)$$

Fonte: Muñoz *et al.* (2008)

T: Torque (N.m)

I: Momento de inércia (kg.m<sup>2</sup>)

$\alpha$ : Aceleração angular (rad /s<sup>2</sup>)

Equação 7 – Potência calculada para dinamômetro

$$P = T * 2\pi * n \quad (7)$$

Fonte: Muñoz *et al.* (2008)

P: Potência (W; Cv)

T: Torque (N.m)

n: Freqüência de rotação (Hz ou RPM)

No laboratório da FATEC Santo André o modelo de dinamômetro de inércia disponível é o DynoTech 720i, homologado pelos órgãos Conselho Estadual de Trânsito (CETTRAN) e Departamento Estadual de Trânsito (DETRAN – SP), nas Figuras 31 e 32 podemos observar o equipamento de uma forma geral e seu software.

Figura 31 - Software DynoTech 720i



Fonte: Fróes (2022)

Figura 32 - DynoTech 720i FATEC Santo André



Fonte: Fróes (2022)

De acordo o site oficial da DynoTech, seguem as especificações do modelo citado acima presente na instituição:

#### Medida física do equipamento com rampa

Largura x comprimento com chassis e rampa (3,40 m x 6,40 m) - peso: aproximadamente 2.500 kg

#### Características e itens que compõe o dinamômetro DynoTech 720-i

- Chassis completo (sistema de medição inercial), chão, rolos, etc.;
- Amarras especiais para fixação;
- Placas de instrução para provas e amarração.
- Ventilador especial de ar progressivo - de asas variáveis (silencioso) que atinge até 115 km/h;
- Inversor de frequência de 10 HP;
- Interface completa. (aquisição de dados);
- Estação barométrica digital e manual;
- Rampas “Eleva - Car.”;



- Rack completo para disponibilidade do computador;
- Manual de operações em vídeos interativos;
- Opcionais: Sensor Lambda, Sensor Blow-By, Sensor Turbo;

O Dinamômetro não possui limite de velocidade.

#### 4.2.2 Scanner Automotivo

Conforme Oliveira (2017) de maneira geral, trata-se de uma interface de comunicação entre os componentes eletrônicos dos veículos e o ambiente, com o objetivo de facilitar a comunicação entre ambos. Sua primeira versão foi adotada no ano de 1988, e se chamava OBD-I, porém por ser o início da tecnologia ainda não havia uma padronização, cada fabricante desenvolvia sua solução.

Algo que veio a melhorar de acordo com Diniz *et al.* (2009) com sua continuação com os conectores OBD II em 1996 conforme Figura 32, sendo uma versão padrão de conectores podendo ser lida por qualquer equipamento que contenha plug e software compatíveis.

Figura 33 - Conector OBD II Gol 1.6 G5 Flex



Fonte: Autores (2022)

No Brasil temos a resolução N° 354 de 13 de dezembro de 2004 do Conselho Nacional de Meio Ambiente (CONAMA), que tem como base regulamentar a disseminação do programa (OBD) nos veículos automotores brasileiros. Este programa prevê a ocorrência de danos severos aos sistemas de controle de emissão, contribuindo para a melhoria da qualidade ambiental. O OBD foi dividido em duas fases para ser implementado no Brasil: o OBDBr-1 e OBDBr-2 de acordo com o seguinte cronograma:

#### OBDBr-1:

- A partir de 1º de janeiro de 2007, no mínimo para 40% do total anual de veículos;
- A partir de 1º de janeiro de 2008, no mínimo para 70% do total anual de veículos;
- A partir de 1º de janeiro de 2009, para a totalidade de veículos;

#### OBDBr-2:

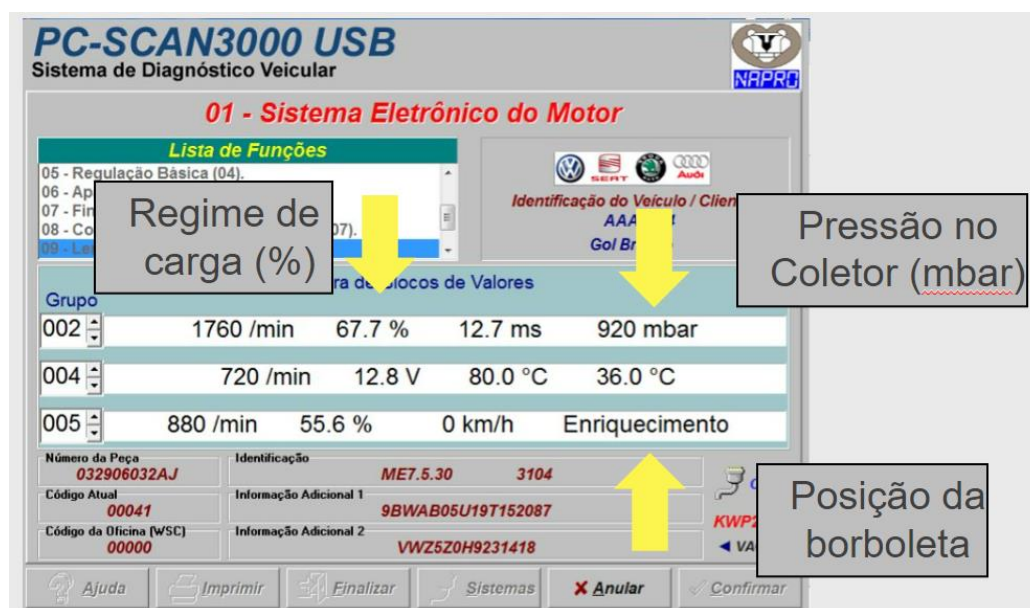
- A partir de 1º de janeiro de 2010, no mínimo para 60% do total anual de veículos;
- A partir de 1º de janeiro de 2011, para a totalidade de veículos

O próximo passo planejado de evolução neste segmento é o OBD-III, no qual o veículo mandará um sinal as autoridades em decorrência de piores relevantes na emissão de gases durante o seu funcionamento, exigindo-se através de uma notificação que o defeito seja reparado. Como resultado, não será mais necessário o controle de emissão de gases, que até agora acontece a cada 2 anos. (Oliveira, 2017)

A tecnologia OBD é utilizada para diversas aplicações, manutenção, controle de emissões, etc., porém para nosso trabalho iremos utilizá-la apenas como leitura de alguns parâmetros enriquecendo as informações obtidas através do dinamômetro de inércia.

O modelo de Scanner disponível na FATEC Santo André é o PC-SCAN3000, na Figura 34 podemos observar a interface do software destacando os parâmetros de regime de carga, pressão no coletor e posição da borboleta.

Figura 34 - Software PC-SCAN 3000



Fonte: Fróes (2022)

#### 4.2.3 Termômetro Infravermelho

Este é um dispositivo que passou a ser muito conhecido neste período pandêmico que ainda estamos passando, utilizado na aferição de temperatura em diversos estabelecimentos públicos e privados, mas antes disso ele já era utilizado em larga escala na indústria automotiva em centro de testes, oficinas, centros de inspeção e muito mais, seu funcionamento segundo o site Orto – Ponto (2022) se dá através da captação da radiação de calor emitida por um corpo, convertendo a energia térmica em energia elétrica e determinando a temperatura do que foi medido. Em nosso teste este equipamento teve a principal finalidade de medição de temperatura dos pneus durante os ensaios, ilustrado na Figura 35.

Figura 35 – Ilustração funcionamento Termômetro Infravermelho



Fonte: Autores (2022)

### 4.3 Materiais

Os materiais utilizados essencialmente para a realização dos testes no dinamômetro de inércia e instrumentação do Scanner foram um veículo Flex presente na instituição e também o combustível adquirido pelo nosso grupo.

O automóvel escolhido para os testes foi um Gol 5ª Geração 1.6 Flex disponibilizado pela FATEC Santo André, que pode ser visualizado na Figura 36.

*Figura 36 – Gol G5 1.6 FATEC Santo André*



Fonte: FATEC Santo André

Segundo o site “Autopapo” (2022) este modelo foi lançado no fim de 2008, mas já como linha 2009, sua maior modificação em relação as suas gerações anteriores foi a disposição do motor na transversal ao invés da longitudinal, o que permitiu um design mais compacto com uma frente mais curta e baixa.

O motor utilizado neste modelo pertence a mesma família EA-111 da 4ª geração, porém modificados os coletores de admissão e escapamento, além de um reestudo para o bom funcionamento em seu novo *layout*. Na Tabela 3 seguem algumas de suas especificações.

Tabela 3 – Especificações Mecânicas Gol G5 1.6 *Flex*

Motorização	1.6	
Combustível	Álcool	Gasolina
Potência (cv)	104	101
Torque (kgf.m)	15,6	15,4
Velocidade Máxima (km/h)	192	190
Tempo 0-100 (s)	9,6	9,6
Consumo cidade (km/l)	8,8	N/D
Consumo estrada (km/l)	12,4	N/D
Câmbio	manual de 5 marchas	
Tração	dianteira	
Direção	Mecânica	
Suspensão dianteira	Suspensão tipo McPherson e dianteira com barra estabilizadora, roda tipo independente e molas helicoidal.	
Suspensão traseira	Suspensão tipo eixo de torção, roda tipo semi-independente e molas helicoidal.	
Freios	Dois freios à disco com dois discos ventilados.	

Fonte: ICarros (2022)

Para aquisição dos combustíveis utilizados nos testes, foram comprados por nosso grupo quinze litros de Gasolina Aditivada e quinze litros de Etanol no posto Rede 1000 de bandeira Shell localizado em Santo André próximo ao MercadoCar, distribuídos em seis galões de cinco litros.

#### 4.4 Realização dos testes

Dando início aos testes práticos, conduzidos por nosso professor orientador Marco Aurélio Fróes em dois dias (20/11 e 26/11), nossa primeira ação em ambos os dias foi o condicionamento do veículo habilitando-o para entrada no dinamômetro, este condicionamento foi guiado através de um *Check-List* disponibilizado pelo próprio professor Fróes na disciplina de Ensaios Dinamométricos no segundo semestre de 2021, na Figura 37 segue a folha digitalizada que utilizamos na primeira bateria de testes.

Figura 37 – *Check-List* Dinamômetro

Check list de segurança para o Ensaio Dinamométrico de Inércia							
Dinametrista:	TCC Torque e Potência motores 'Flex'	Data:	20/11/2022	Pneus:			
Veículo:	Gol GS 1.6 Flex	Validade:		Carga Máxima	1/1	Veloc. Máxima	1/1
Realizado	Etapas do Processo de análise de segurança					Observações	
✓	Coloque o carro no elevador e eleve o veículo a meia altura.						
✓	Verifique nos pneus a data de validade e a presença de elementos estranhos aos pneus.						
✓	Examine a profundidade dos sulcos dos pneus e compare com o padrão TWI.						
✓	Examine a regularidade de desgaste na banda de rodagem dos pneus.						
✓	Eleve o veículo a altura total.						
✓	Verifique as fixações das suspensões (braços da suspensão, ponteiras de articulação, suporte da agregados etc).						
✓	Verifique o roteiro de passagem das tubulações do sistema de escape, catalisador e demais pontos quentes.						
✓	Verifique e marque os pontos de ancoragem das cintas de carga e direcionais (peso não suspenso).						
✓	Verifique possíveis vazamentos de óleo, combustível e líquido de arrefecimento.						
✓	Abaixe o veículo e afaste os braços dos elevadores.						
✓	Remova as calotas móveis e confira o torque dos parafusos das rodas.						
✓	Confira o torque do cubo das rodas de tração.						
✓	Remova o carro do elevador e coloque-o no dinamômetro de inércia.						
✓	Calibre os pneus de tração com base na referência da pressão máxima (Pmax * 0,875).					51.0875 ≈ 44 PSI	
✓	Trave as rodas traseiras.						
✓	Elimine a tendência direcional nos rolos de testes e acione o freio de estacionamento.						
✓	Trave as cintas de carga.						
✓	Trave as cintas direcionais						
✓	Identifique os extintores do ambiente e, se necessário, posicione-os em lugares de acesso rápido.						
✓	Utilize os EPIs necessários.						

Fonte: Autores (2022)

Todos os parâmetros dentro do *Check-List* são de suma importância para realização com repetitividade e segurança dos teste , mas dentro deste grupo de itens destacam três que são a correta a verificação de vazamentos e condições do pneus , calibração dos mesmos e fixação do veículo através das cintas de carga/direcionais presentes no dinamômetros, além disso para segurança de todos nos arredores do dinamômetro é de extrema importância a correta utilização dos (Equipamentos de Proteção Individual (EPI's) que neste caso são o protetor auricular e óculos de proteção.



Para a calibração dos pneus nós utilizamos a fórmula descrita no Check-List onde:

Equação 8 - Calibração de ensaio dos pneus

$$\text{Pressão de ensaio} = \text{Pressão Máx Pneu} * 0,875 \quad (8)$$

Fonte: Fróes (2022)

A pressão para cada pneu dada pelo fabricante em nosso caso era de Pressão máxima = 51 PSI, logo com a aplicação da equação 5 chegamos a um valor de pressão de ensaio de aproximadamente 44 PSI, na qual ajustamos nos dois pneus que estariam em contato com o rolo por meio de uma linha de pressão pneumática com um manômetro na ponta.

Para a correta fixação do veículo nas cintas presentes no dinamômetro, executamos em conjunto com o professor, prendendo a fixações nas abas de suspensão dianteiras, sendo as fitas direcionais presas cruzadas entre sí nas abas e as cintas de carga nos furos de cada bandeja.

Finalizada as etapas do Check-List, para um melhor controle e garantia de estabilidade no teste foi instrumentado um manômetro regulador de pressão conectando a saída da bomba ao sistema de injeção, deste modo foi possível a padronização da pressão de entrada de combustível no motor, visto na Figura 37.

Figura 38 – Instrumentação Manômetro entrada de combustível



Fonte: Autores (2022)

Neste ponto, toda preparação do Hardware utilizado no ensaio havia sido concluída, faltando agora o ajuste no software do dinamômetro equiparando a rotação que estava chegando no rolo com o que o motor estava entregando, para este ajuste foi selecionado o valor de 2000 RPM (3ª Marcha) como referência de calibração e também como ponto de partida dos testes efetuados a seguir, este ajuste foi realizado inteiramente pelo software, nossa participação se deu na aceleração do veículo até este valor de rotação e o acionamento da tecla “*Calcular Relación*”, processo este ilustrado na Figura 39.

Figura 39 – Tela de Calibração Software Dinamômetro



Fonte: Autores (2022)

#### 4.5 Processo utilizado

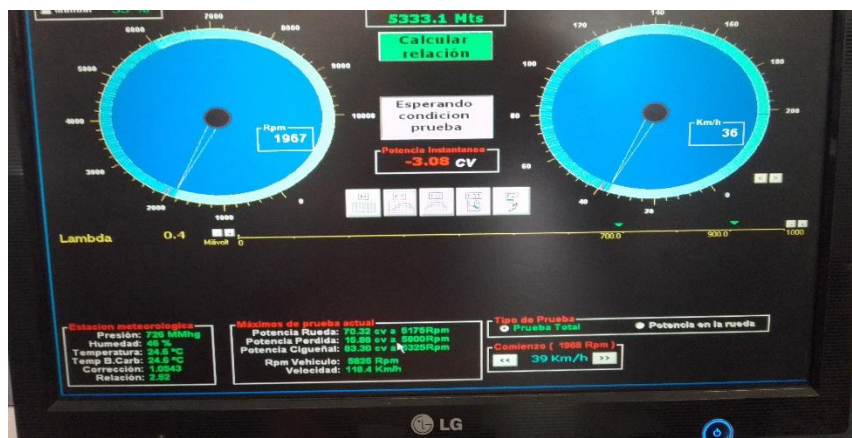
Por conta dos inúmeros testes, se fez necessário a criação de um padrão de coleta de dados, com duas finalidades, a primeira delas seria a garantia que os dados seriam requisitados e lidos da maneira correta sem que nenhum fosse deixado para trás, o outro motivo foi que para termos repetitividade dos resultados era preciso manter o veículo em temperatura de trabalho, logo quanto menor o intervalo entre os



testes maior a chance que seus resultados correspondessem. O padrão adotado por nosso grupo para a realização de todos os testes foi:

- 1º: Conferência de que o Software do dinamômetro está na função “Prueba” utilizado para o teste, conforme Figura 40.

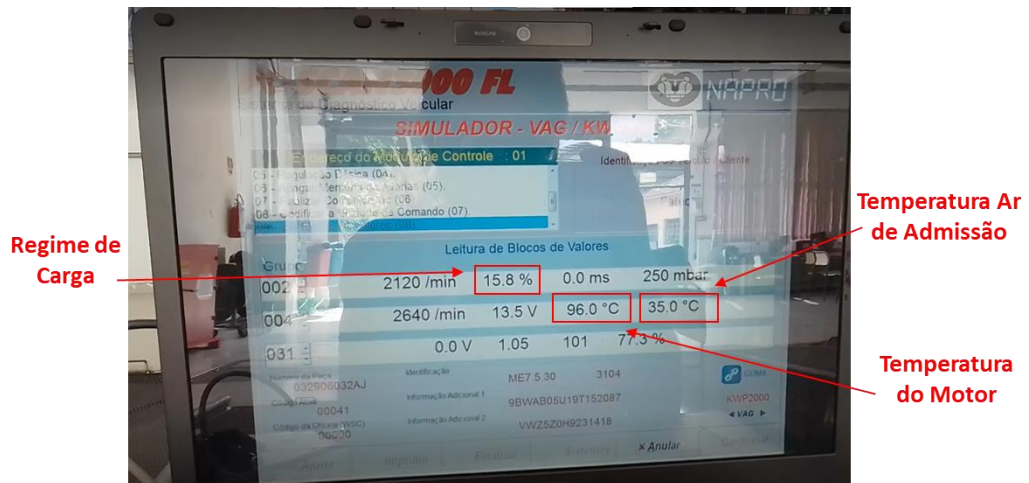
Figura 40 – Função “Prueba” software Dinamômetro



Fonte: Autores (2022)

- 2º: Aceleração do veículo e troca sucessiva no câmbio até a 3ª marcha, em seguida deve ser acelerado até a rotação de 6000 RPM e ao chegar neste valor a marcha deve ser desengatada deixando o automóvel em ponto morto
- 3º: Simultaneamente com o 2º item assim que a 3ª Marcha é encaixada, inicia-se uma gravação da tela, onde apresentam-se os dados de regime de carga, rotação, temperatura do motor e temperatura ambiente. A gravação termina assim que o veículo chega a 6000 RPM e a marcha é desengatada, registrando os valores de temperatura do motor, temperatura do ar de admissão e regime de carga que deram neste exato momento do desengate da marcha, conforme Figura 41.

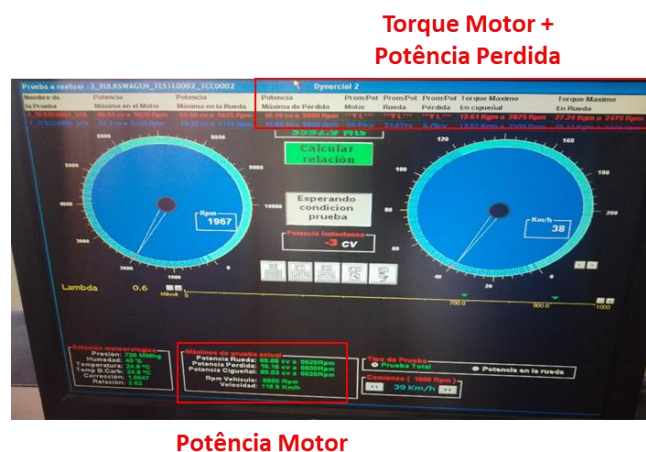
Figura 41 – Software Dinamômetro (Dados: Temperatura do Ar / Temperatura do Motor / Regime de Carga)



Fonte: Autores (2022)

- 4º: É efetuado também no exato momento de desengate da marcha a aferição da temperatura dos pneus através de um termômetro infravermelho.
- 5º: São registrados através de uma foto os dados resultantes de torque e potência do teste atual. (Obs.: neste caso a potência e torque *cigüeñal* apontadas pelo software representam respectivamente a potência e torque entregues pelo motor), conforme Figura 42.

Figura 42 – Software dinamômetro (Dados: Torque Motor; Potência Motor; Potência Perdida)



Fonte: Autores (2022)

- 6º: É registrado o valor da distância de aceleração do teste atual, conforme Figura 43.

Figura 43 – Software dinamômetro (Dado: Distância de aceleração)



Fonte: Autores (2022)

- 7º: São reunidos todos os dados numéricos do teste em questão e repassados para uma tabela em uma lousa, na linha respectiva ao teste vigente, conforme Figura 44.

Figura 44 – Lousa contendo a anotação com todos os testes com um determinado combustível (exemplo Teste 1: Gasolina / Etanol)

TESTE ENSAIO	VENT %	Pressão Pneu	Temp. Pneus °C	Temp. Ar °C	Temp. Motor °C	Vir MANA	RPM	TOR RPM	RPM	DIR. ACEL.	FATOR CORREÇÃO	Pa. Rec.	RPM	ESTEQUIO METRIA	Pressão comb.
1	30	44	58	36	102	8753	5350	14,23	2600	656		14,78	5825	101 (10,1)	4,3
2	30	44	49,5	35	96	8307	5600	14,32	2600	639,7		16,43	5825	101 (10,1)	4,3
3	30	44	54	35	96	8949	5425	14,35	2600	638,5		15,27	5850	101 (10,1)	4,3
4	30	44	57	35	96	8973	5500	14,29	2600	629,7		13,94	5650	101 (10,1)	4,3
5	30	44	56	34	96	8963	5450	14,38	2600	632,7		14,34	5725	100 (10,0)	4,3

Fonte: Autores (2022)

#### 4.6 Resultados

Com base na estratégia mencionada no subcapítulo 5.4, os testes foram divididos em três categorias teste1 com o veículo abastecido, abastecido com ambos os combustíveis (Estequiometria 10,1:1), no teste 2 abastecido inteiramente com etanol com uma estequiometria de 9,1:1 e teste 3 abastecido inteiramente com gasolina com uma estequiometria de 13,2:1.

Para cada teste foram retirados três tipos de dados , um gráfico de Torque e potência gerado pelo software do dinamômetro , todos disponíveis no apêndice A ao final deste trabalho, uma gravação em vídeo sendo acompanhando as variações no regime de carga durante toda a aceleração em 3ª marcha em cada teste resumidos em um gráfico e por último utilizando as informações reunidas no quadro transferidas para uma tabela em Excel inspirada no documento disponibilizado na disciplina de Ensaios Dinamométricos empregado para o laudo de torque e potência dos veículos ensaiados.

#### 4.6.1 Tabelas de Laudo testes 1, 2 e 3

Para montagem das tabelas em cada teste, foram escolhidos os três resultados com maior proximidade, ou seja, representando a repetitividade de ensaio destacados na cor laranja, a partir destes valores foi projetado um valor médio entre os três resultados nomeados como uma linha de “laudo”, nos valores de torque e potência com suas respectivas rotações foram destacadas em amarelo, foi efetuado o cálculo de do fator de correção utilizando a fórmula da Equação 2 citada no subcapítulo 4.5.

Para enfim obtermos os valores oficiais de laudo, tanto o torque médio quanto a potência média são multiplicados por este fator de correção que leva em consideração a pressão atmosférica e a temperatura local, apresentando então os parâmetros reais de torque e potência ao nível do mar e 25 °C, observado na Equação 9.

Equação 9 - Parâmetros de Laudo

$$Potência\ de\ Laudo = a * Potência\ Média$$

$$Torque\ de\ Laudo = a * Torque\ Médio \quad (9)$$


$$Torque\ de\ Laudo = a * Torque\ Médio$$

Fonte: Fróes 2022

Com a estrutura indicada foram montados os quadros 3,4 e 5 em *Excel* para cada combustível.

Para o teste com Gasolina + Etanol foram realizados 5 testes, cujos ensaios com repetibilidade foram respectivamente 3,4 e 5, este teste considerou uma estequiometria de 10,1:1, observado no Quadro 3.


### Quadro 3 – Laudo Teste 1 (Gasolina + Etanol)

Veículo:		Gol G5 2009 1.6 Flex		Especificação da Potência (CV):		104 (E) / 101 (G)		Data:		20/11/2022						
Dinamometrista:		TCC 2sem 2022		Especificação do Torque (mkgf):		15,6 (E) / 15,4 (G)										
Ensaio	Ventilação Frontal (On/Off/%)	Pressão dos pneus (lbs / psi)	Temperatura dos pneus (°C)	Temperatura do ar (°C)	Temperatura do motor (°C)	Potência do motor (CV)	Rotação (RPM)	Torque do Motor (mkgf)	Rotação (RPM)	Distância de aceleração (m)	Potência Perdida (CV)	Rotação (RPM)	Pressão de Combustível (Bar)	Pressão Atmosférica (KPa)	Estequiometria	Fator de Correção
1	30	44	58	36	101	87,53	5350	14,13	2500	656,0	17,78	5825	4,3	96,00	10,1:1	-
2	30	44	49,5	35	96	89,07	5600	14,32	2600	639,4	16,43	5825	4,3	96,00	10,1:1	-
3	30	44	54	35	96	89,48	5425	14,35	2600	638,5	15,21	5850	4,3	96,00	10,1:1	-
4	30	44	57	35	96	89,73	5500	14,29	2600	629,4	13,94	5650	4,3	96,00	10,1:1	-
5	30	44	56	34	96	89,63	5450	14,38	2600	632,7	14,39	5725	4,3	96,00	10,1:1	-
6																
Laudo :	30	44	56	35	96	89,61	5458	14,34	2600	633,5	14,51	5742		96,00	10,1:1	1,0580
Potência (CV) @ RPM				94,81		5775		Torque (mkgf) @ RPM				15,17		2751		

Fonte: Autores (2022)

Para o teste com Etanol foram realizados 6 ensaios, cuja repetibilidade foi obtida respectivamente em 4, 5 e 6, neste teste a estequiometria foi de 9,1:1, observado no Quadro 4.




### Quadro 4 – Laudo Teste 2 (Etanol)

Veículo:		Gol G5 2009 1.6 Flex		Especificação da Potência (CV):		104 (E) / 101 (G)		Data:		20/11/2022						
Dinamometrista:		TCC 2sem 2022		Especificação do Torque (mkgf):		15,6 (E) / 15,4 (G)										
Ensaio	Ventilação Frontal (On/Off/%)	Pressão dos pneus (lbs / psi)	Temperatura dos pneus (°C)	Temperatura do ar (°C)	Temperatura do motor (°C)	Potência do motor (CV)	Rotação (RPM)	Torque do Motor (mkgf)	Rotação (RPM)	Distância de aceleração (m)	Potência Perdida (CV)	Rotação (RPM)	Pressão de Combustível (Bar)	Pressão Atmosférica (KPa)	Estequiometria	Fator de Correção
1	30	44	57,5	39	96	89,97	5500	14,15	2575	649,4	15,64	5650	4,3	96,00	9,1:1	-
2	30	44	59	37	97	89,92	5400	14,41	2600	636,0	14,54	5800	4,3	96,00	9,1:1	-
3	30	44	58	36	97	90,35	5400	14,37	2550	642,7	14,48	5900	4,3	96,00	9,1:1	-
4	30	44	61	36	96	90,54	5500	14,38	2800	623,6	14,36	5700	4,3	96,00	9,1:1	-
5	30	44	61	36	96	90,58	5325	14,35	2575	625,6	14,34	5775	4,3	96,00	9,1:1	-
6	30	44	61	36	96	90,38	5450	14,35	2575	632,7	14,67	5850	4,3	96,00	9,1:1	-
Laudo :	30	44	61	36	96	90,50	5425	14,36	2650	627,3	14,4567	5775	4,3	96,00	9,1:1	1,0607
Potência (CV) @ RPM				96,00		5755		Torque (mkgf) @ RPM				15,23		2811		

Fonte: Autores (2022)

Para o teste com Gasolina foi o que teve a maior quantidade de ensaios sendo 8 no total, a estequiometria obtida foi de 13,2:1 nos ensaios com repetibilidade que foram respectivamente 4,5 e 6, visto no Quadro 5.

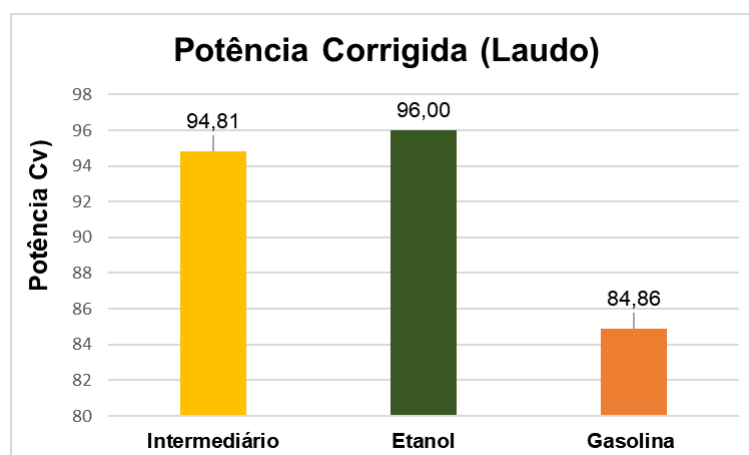
Quadro 5 – Laudo Teste 3 (Gasolina)

Veículo:		Gol G5 2009 1.6 Flex		Especificação da Potência (CV):		104 (E) / 101 (G)		Data:		26/11/2022							
Dinamometrista:		TCC 2sem 2022		Especificação do Torque (mkgf):		15,6 (E) / 15,4 (G)		 									
Ensaio	Ventilação Frontal (On/Off%)	Pressão dos pneus (lbs / psi)	Temperatura dos pneus (°C)	Temperatura do ar (°C)	Temperatura do motor (°C)	Potência do motor (CV)	Rotação (RPM)	Torque do Motor (mkgf)	Rotação (RPM)	Distância de aceleração (m)	Potência Perdida (CV)	Rotação (RPM)	Pressão de Combustível (Bar)	Pressão Atmosférica (kPa)	Estoquiometria	Fator de Correção	
1	30	44	57	39	90	85,85	5125	13,61	2750	692,7	14,95	5750	4,5	96,79	11,7:1	-	
2	30	44	55	39	93	78,77	5450	12,62	2675	767,6	15,47	5775	4,5	96,79	13,2:1	-	
3	30	44	51,5	40	98	78,58	5500	12,04	2900	811,7	15,63	5825	4,5	96,79	13,2:1	-	
4	30	44	56	39	90	80,04	5500	12,56	3025	753,4	15,1	5775	4,5	96,79	13,2:1	-	
5	30	44	59	39	91	80,73	5500	12,49	2900	763,4	14,56	5650	4,5	96,79	13,2:1	-	
6	30	44	54	39	94	80,2	5475	12,35	3025	767,6	15,62	5750	4,5	96,79	13,2:1	-	
7	30	44	57,5	39	91	80,04	5775	13,43	2800	696,0	15,36	5800	4,5	96,79	11,8:1	-	
8	30	44	58	38	87	80,73	5025	13,88	2775	683,5	15,35	5725	5,0	96,79	11,8:1	-	
Laudo :	30	44	56,3	39	91,67	80,32	5492	12,47	2983	761,5	15,09	5725	4,5	96,79	13,2:1	1,0565	
Potência (CV) @ RPM		84,86		5802		Torque (mkgf) @ RPM		13,17		3152							

Fonte: Autores (2022)

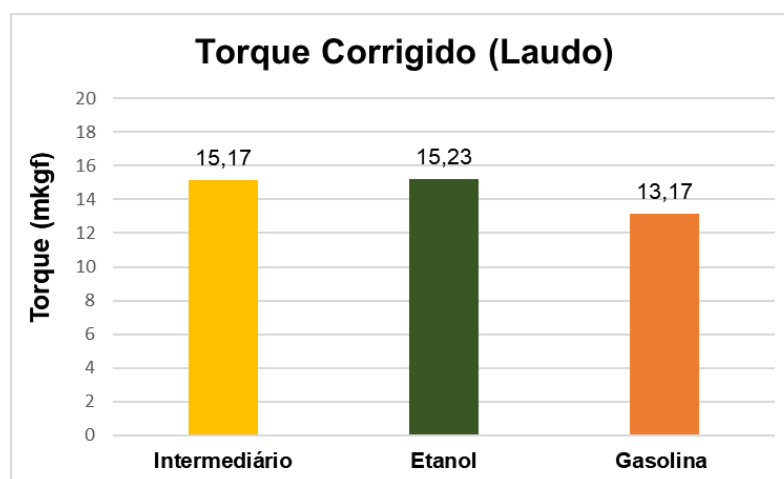
Ao observarmos os dados laudados nos testes principalmente de Etanol e Gasolina, foram confirmadas as expectativas quanto as especificações do veículo, em que apresenta uma significativa vantagem de torque e potência beneficiando a performance do etanol combustível. Na Figura 45 foi comparado a diferença de torque entre os três ensaios, chegando a uma diferença entre Etanol e Gasolina de 2,06 mkgf, enquanto na Figura 46 é comparado a diferença de potência, resultando em um valor diferencial de 12 Cv entre os dois combustíveis.

Figura 45 – Comparativo Potência de Laudo



Fonte: Autores (2022)

Figura 46 – Comparativo Torque de Laudo



Fonte: Autores (2022)

#### 4.6.2 Curvas de Regime de Carga

Um outro caminho encontrado para comparação de desempenho entre os combustíveis etanol e gasolina foi através da análise do regime de carga, ao olharmos o vídeo gravado da tela do "PC-Scan 3000", foi possível obter a temperatura do motor e do ar de admissão, havendo a possibilidade de acompanhar todas as mudanças no regime de carga ao longo de toda "puxada" com o veículo em 3ª marcha em cada teste, com a análise individual de cada teste foi visto a variação do regime de carga



com os melhores resultados de cada teste, na faixa de 2000 RPM à 6000 RPM com um intervalo de medição a cada 500 RPM, e então plotamos um gráfico reunindo as curvas de cada um dos testes 1,2 e 3.

Nos Quadros 6,7 e 8 é possível observar os valores encontrados para cada teste sendo feito no final uma média simples. No Quadro 6 é possível observar que a média foi calculada apenas com 2 ensaios, foi realizado desta maneira pois ocorreu um erro na gravação do ensaio 6 perdendo a por completo, mesmo assim como o teste intermediário (Gasolina + Etanol) é somente para efeito comparativo, sendo o Etanol e Gasolina o foco principal de nossa pesquisa, não influenciou em nossos resultados.

Quadro 6 – Regime de Carga Teste 01 (Gasolina + Etanol; Estequiometria 10,1:1)

<b>Teste Intermediário (Repetibilidade)</b>			
<b>Rotação (RPM)</b>	<b>Regime de Carga (%)</b>		
	<b>Ensaio 4</b>	<b>Ensaio 5</b>	<b>Média</b>
<b>2000</b>	<b>69,9</b>	<b>69,9</b>	<b>69,9</b>
<b>2500</b>	<b>72,0</b>	<b>72,9</b>	<b>72,5</b>
<b>3000</b>	<b>74,2</b>	<b>74,4</b>	<b>74,3</b>
<b>3500</b>	<b>74,4</b>	<b>74,4</b>	<b>74,4</b>
<b>4000</b>	<b>76,7</b>	<b>76,7</b>	<b>76,7</b>
<b>4500</b>	<b>79,7</b>	<b>78,9</b>	<b>79,3</b>
<b>5000</b>	<b>75,2</b>	<b>75,2</b>	<b>75,2</b>
<b>5500</b>	<b>72,2</b>	<b>71,4</b>	<b>71,8</b>
<b>6000</b>	<b>60,9</b>	<b>66,9</b>	<b>63,9</b>

Fonte: Autores (2022)

Quadro 7 – Regime de Carga Teste 2 (Etanol; Estequiometria: 9,1:1)

<b>Teste Etanol (Repetibilidade)</b>				
<b>Rotação (RPM)</b>	<b>Regime de Carga (%)</b>			
	<b>Ensaio 4</b>	<b>Ensaio 5</b>	<b>Ensaio 6</b>	<b>Média</b>
<b>2000</b>	<b>69,2</b>	<b>69,2</b>	<b>68,4</b>	<b>68,9</b>
<b>2500</b>	<b>72,9</b>	<b>72,9</b>	<b>72,9</b>	<b>72,9</b>
<b>3000</b>	<b>73,7</b>	<b>73,7</b>	<b>73,7</b>	<b>73,7</b>
<b>3500</b>	<b>74,4</b>	<b>74,4</b>	<b>73,7</b>	<b>74,2</b>
<b>4000</b>	<b>75,2</b>	<b>75,9</b>	<b>76,7</b>	<b>75,9</b>
<b>4500</b>	<b>78,9</b>	<b>78,9</b>	<b>79,7</b>	<b>79,2</b>
<b>5000</b>	<b>75,9</b>	<b>75,9</b>	<b>75,2</b>	<b>75,7</b>
<b>5500</b>	<b>72,2</b>	<b>71,4</b>	<b>71,4</b>	<b>71,7</b>
<b>6000</b>	<b>67,7</b>	<b>67,7</b>	<b>66,9</b>	<b>67,4</b>

Fonte: Autores (2022)

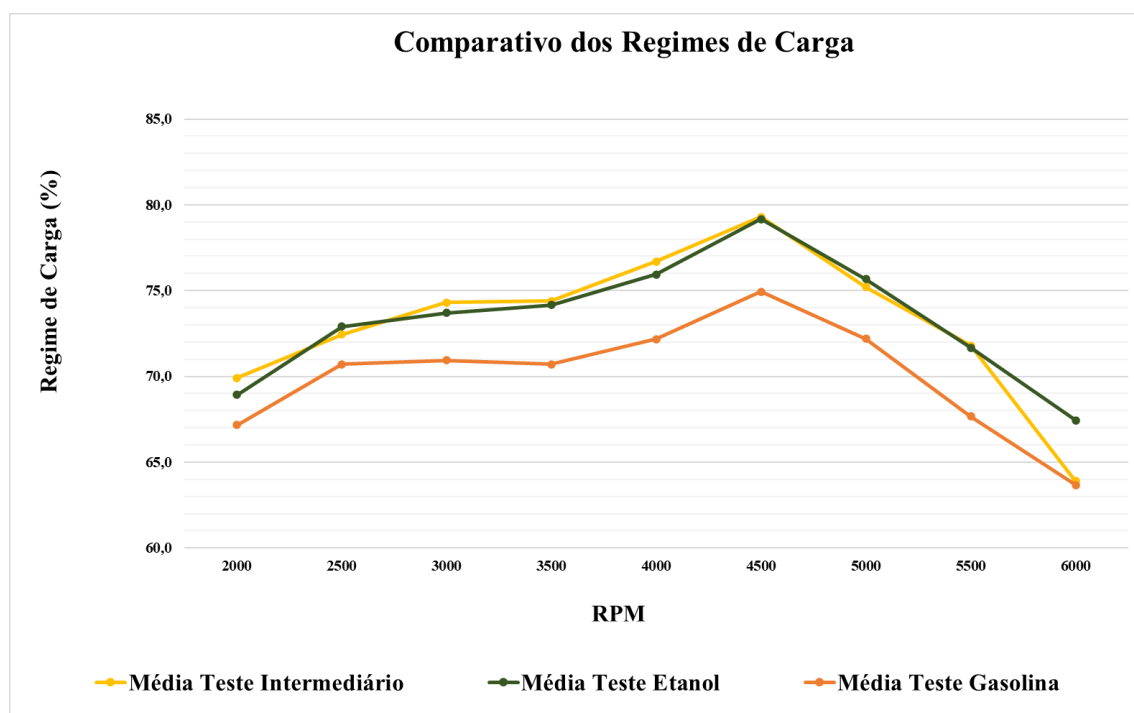
Quadro 8 – Regime de Carga Teste 3 (Gasolina Estequiometria: 13,2:1)

<b>Teste Gasolina (Repetibilidade)</b>				
<b>Rotação (RPM)</b>	<b>Regime de Carga (%)</b>			
	<b>Ensaio 4</b>	<b>Ensaio 5</b>	<b>Ensaio 6</b>	<b>Média</b>
<b>2000</b>	<b>66,9</b>	<b>67,7</b>	<b>66,9</b>	<b>67,2</b>
<b>2500</b>	<b>70,7</b>	<b>70,7</b>	<b>70,7</b>	<b>70,7</b>
<b>3000</b>	<b>70,7</b>	<b>71,4</b>	<b>70,7</b>	<b>70,9</b>
<b>3500</b>	<b>70,7</b>	<b>70,7</b>	<b>70,7</b>	<b>70,7</b>
<b>4000</b>	<b>71,4</b>	<b>72,2</b>	<b>72,9</b>	<b>72,2</b>
<b>4500</b>	<b>74,4</b>	<b>75,2</b>	<b>75,2</b>	<b>74,9</b>
<b>5000</b>	<b>72,2</b>	<b>72,2</b>	<b>72,2</b>	<b>72,2</b>
<b>5500</b>	<b>66,9</b>	<b>67,7</b>	<b>68,4</b>	<b>67,7</b>
<b>6000</b>	<b>63,2</b>	<b>63,9</b>	<b>63,9</b>	<b>63,7</b>

Fonte: Autores (2022)

Na Figura 47, é observado um gráfico plotado a partir das médias de regime de carga, determinando um sinal médio para cada teste de combustível.

Figura 47 – Curvas Regimes de Carga testes 1,2 e 3



Fonte: Autores (2022)

Por meio da análise gráfica é possível ver que embora as curvas dos testes de Etanol e Intermediário tenham sido muito próximas, a curva de Gasolina apresentou-se significativamente abaixo, ou seja, bate com a teoria inicial de maior performance do Etanol e condiz com os resultados observados nas tabelas de laudo de torque e potência no subcapítulo 5.5.1.

#### 4.6.3 Explicação diferença de Torque e Potência

Mesmo em meio a uma comparação com a Gasolina Aditivada que possui uma performance ainda melhor que a gasolina comum, nos subcapítulos anteriores através de gráficos e tabelas gerados por meio dos ensaios foi comprovada a tese apresentada inicialmente de que o veículo ao ser abastecido com Etanol apresenta melhores índices de torque e potência.

Agora vamos tentar entender este fenômeno químico como um todo, é conhecido que este efeito de diferenciação de torque e potência é reflexo da diferença entre os índices de octanagem de ambos os combustíveis sendo o mínimo estipulado

pela ANP (2020) de 92 RON para gasolina e um número de 20 a menos que o do Etanol com mínimo de 112 RON.

Segundo Sarathy *et al.* (2014), Vanzella (2015) e discussões com nosso orientador, este efeito de menor índice de octanagem está ligado ao fenômeno de gaseificação do combustível, que resume na passagem do combustível do estado líquido para o estado gasoso, a fonte de calor para ocorrência dessa mudança de estado vem do próprio ar de admissão.

O que diferencia este processo entre os dois combustíveis, é que o Etanol apresenta um calor de vaporização quase duas vezes maior que a gasolina fazendo com que seja retirado o dobro de calor em relação a gasolina, valores estes observados no Quadro 9, disponibilizado pelo professor Fróes na disciplina de Ensaio Dinamométricos.

Quadro 9 – Diferenças na combustão Gasolina e Etanol

<b>Gasolina (E-22):</b>	<b>Etanol Hidratado:</b>
<b>Estequiometria:</b> 13,8 : 1	<b>Estequiometria:</b> 8,9 : 1
<b>Octanagem:</b> ± 81 (MON)	<b>Octanagem:</b> ± 90 (MON)
Pressão de Vapor <sup>2</sup> : ± 38 kPa	Pressão de Vapor <sup>2</sup> : ± 9 kPa
Poder calorífico: 9.600 kcal/kg	Poder calorífico: 6.100 kcal/kg
Calor de Vaporiz.: 101 kcal/kg	Calor de Vaporiz.: 201 kcal/kg
Densidade a 20°C: 756 kg/m <sup>3</sup>	Densidade a 20°C: 810 kg/m <sup>3</sup>

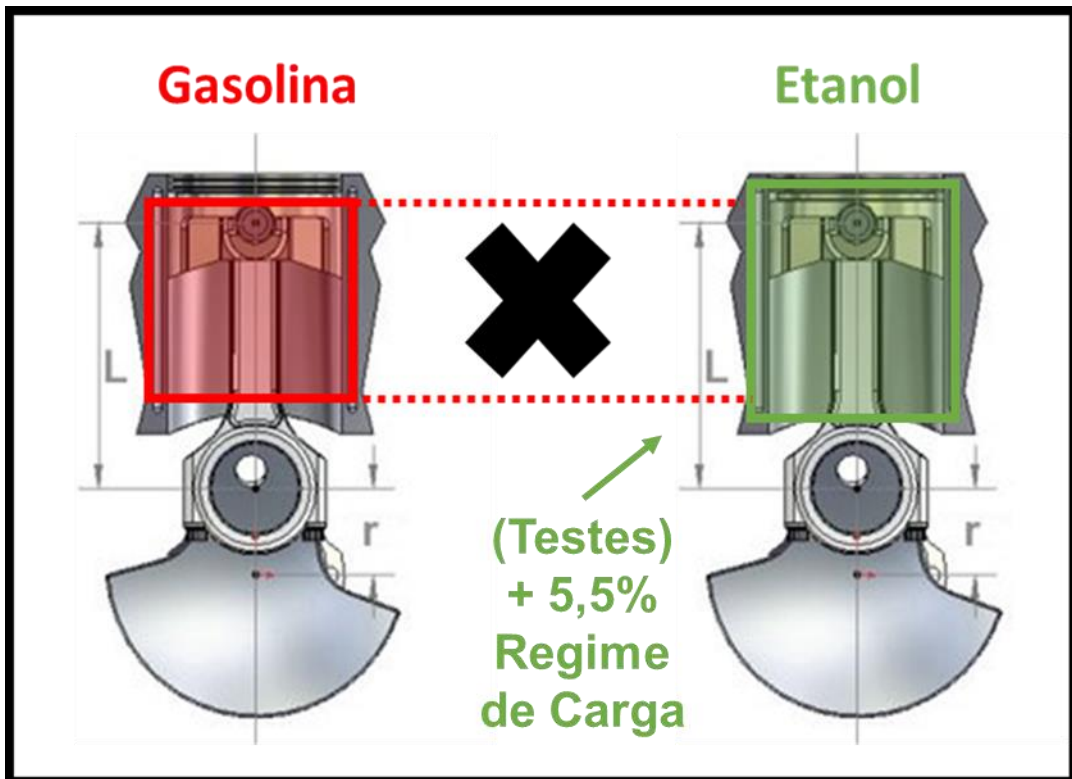
Fonte: Adaptado de Fróes (2022)

Diminuindo a temperatura no interior da câmara desencadeiam os seguintes efeitos, a densidade do ar admitido é aumentada, fazendo com que a massa de mistura no interior do cilindro também aumente, resultando em maior compressão e tempo de combustão.

Na prática este efeito no motor faz com que pelo fato do Etanol ter um menor índice de detonação, sejam aproveitados melhor os pontos mortos inferior e superior, já que se torna possível adicionar um maior avanço de ignição, somado a compressão e tempo de combustão no pistão, é explicada a diferença encontrada nos valores de

torque e potência. Na Figura 48 é ilustrada esta explicação demonstrando figurativamente o campo de trabalho do pistão com os dois combustíveis.

Figura 48 – Influência da densidade do Ar no desempenho com Etanol e Gasolina



Fonte: Autores (2022)

#### 4.6.4 Diferença de consumo entre ambos combustíveis

Analisando os dados aquisitados, temos em contraste ao que foi visto acima uma inversão de posições, pois embora o Etanol tenha se mostrado mais eficiente nos quesitos de torque e potência, quando observamos o consumo vemos que a Gasolina se apresenta como a opção mais vantajosa.

Para Sarathy *et al.* (2014) este fenômeno químico ocorre por conta principalmente da propriedade LHV, que representa a energia de combustão em relação a uma unidade volumétrica, neste quesito a Gasolina C (E25) se sobressai com um poder calorífico de 40,2 MJ/kg enquanto o Etanol Hidratado possui um poder calorífico de apenas 26,5 MJ/kg, de acordo com a Tabela 4.

Tabela 4 – Propriedades dos combustíveis para motores Ciclo - Otto

<b>Propriedade</b>	<b>Etanol anidro</b>	<b>Etanol hidratado (EH)</b>	<b>Gasolina média</b>	<b>Gasolina C (E25)</b>
<b>Poder calorífico inferior</b>				
em massa (MJ/kg)	28,2	26,5	44,3	40,2
em volume (MJ/l)	22,3	21,3	31,0	28,9
<b>Densidade a 20 °C (kg/litro)</b>				
mínima		0,805	0,70	0,718
máxima		0,811	0,77	0,775
média	0,792	0,808	0,735	0,7465

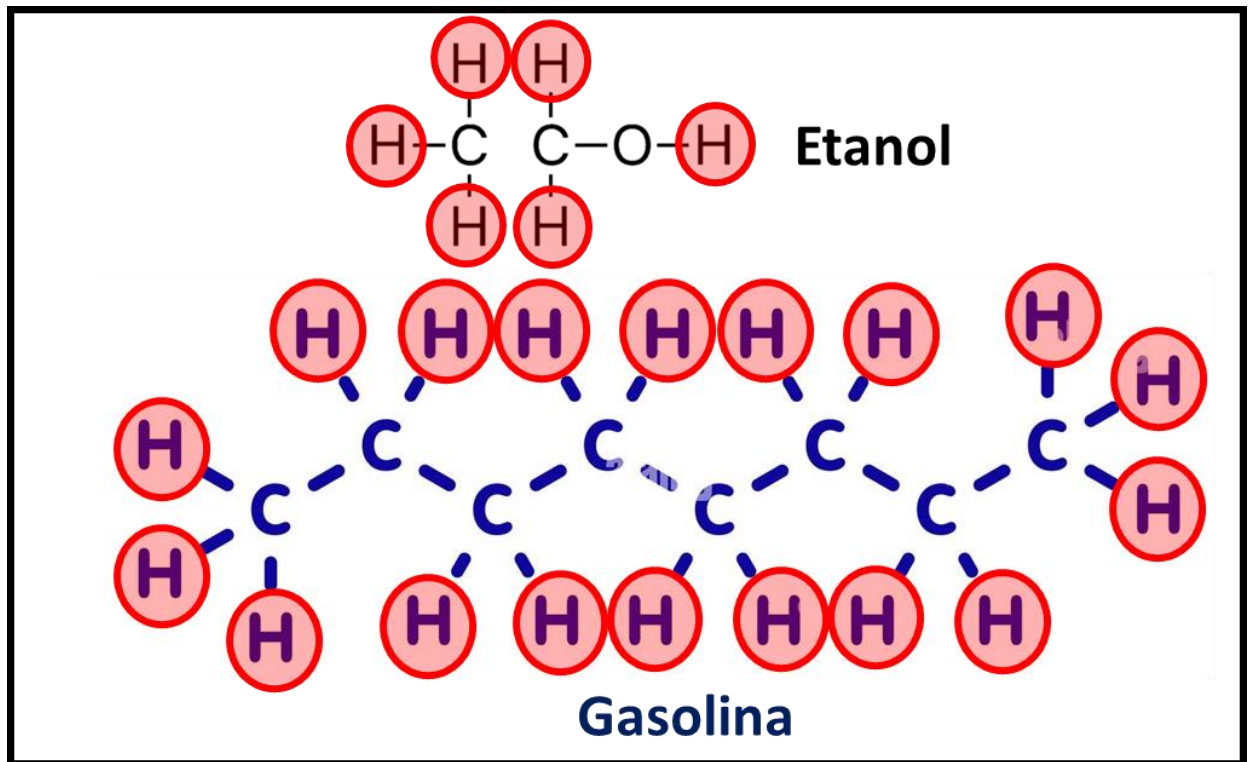
Fonte: Nogueira & Holanda (2013)

Exemplificada por Vanzella (2015) simplesmente como uma diferença na densidade energética de ambos os combustíveis, conseguimos entender a origem desta propriedade a partir da compreensão do processo de combustão e comparando analogamente as moléculas essenciais de cada composto químico.

Segundo Santos & Santos (2005) o hidrogênio é o elemento químico com maior poder calorífico por unidade de peso de todos os conhecidos, com um poder calorífico inferior (à 25 C° e 1 atm.) de 119,93 MJ/kg.

Ao observarmos as duas fórmulas moleculares conseguimos enxergar visualmente uma nítida diferença na presença do hidrogênio em ambos, na gasolina temos uma quantidade de dezoito hidrogênios por molécula, enquanto no Etanol temos apenas seis, este comparativo químico pode ser observado na Figura 49.

Figura 49 – Fórmulas Moleculares Etanol e Gasolina



Fonte: Autores (2022)

Com a experiência prática de nosso professor orientador e discutindo entre nós como grupo chegamos à definição de que esta superioridade de Hidrogênio presente na Gasolina é o motivo por trás da diferença de poder calorífico que culmina no consumo mais elevado do Etanol.

## 5 CONCLUSÃO

Através desta pesquisa acadêmica, foi conhecido parte da história da tecnologia *Flex* desde seus primeiros incentivos ao uso do Etanol com o programa Pró –Álcool criado em 1975 até seu efetivo nascimento em 2003 com o Gol 1.6 concebido e fabricado em território nacional.

Já em seus modelos atuais, foi feito o estudo de sua diferenciação construtiva aos modelos comuns, chegando a três principais fatores que são:

- Os materiais utilizados em componentes de contato direto com o combustível, por conta da alta corrosividade do Etanol em relação a Gasolina.
- Maior complexidade de processamento da ECU e maior tecnologia embarcada dedicada ao “aprendizado” de combustível, realizado constantemente durante a utilização do veículo.
- Soluções adicionais de partida a frio voltadas ao Etanol, pois devido a presença de oxigênio em sua composição apresenta-se com maior dificuldade para combustão em menores temperaturas.

Para um maior entendimento dos testes que faríamos em seguida, fomos entender um pouco sobre cada um dos dois combustíveis, passando por seus métodos de obtenção e pesquisando sobre suas composições químicas e que mais tarde nos auxiliaram na resposta de algumas questões acerca de seus desempenhos individuais.

Por último em nosso estudo realizamos testes no Gol G5 Flex disponibilizado pela instituição, a fim de estudarmos suas curvas de desempenho, que por sua vez comprovaram o fenômeno apontado por nosso professor orientador, onde o Etanol apresenta-se com um maior Torque e Potência, mas perde espaço para gasolina quando trata-se de consumo l/km, nas quais as respostas resumidas para cada evento são:

**Consumo:** O que faz com que gasolina se sobressaia neste tópico é sua superioridade em densidade energética de do Etanol. Com base em diálogos com nosso professor orientador e conceitos químicos chegamos à conclusão de que é a



presença do hidrogênio em maior quantidade na gasolina é a causa raiz nesta diferença no poder calorífico.

**Torque e Potência:** Neste quesito o Etanol se apresenta mais favorável pois sua composição química contendo o oxigênio, retira uma maior quantidade de calor da câmara de combustão que mesmo diminuindo a eficiência da queima, o efeito de antidetonação, faz com que haja um maior aproveitamento do movimento biela e pistão, refletido nos maiores valores de potência e torque observados nos testes.

Ao fim deste trabalho nosso grupo sai satisfeito com o resultado pois chegamos ao que havíamos traçado no início de nossas pesquisas, adquirindo um maior conhecimento sobre a tecnologia dos motores *Flex - Fuel*, nos aprofundando em alguns detalhes técnicos desconhecidos por nós e de certa forma nos sentimos gratos por contribuir de alguma forma com o conhecimento acadêmico neste assunto em que as informações técnicas em português são escassas em comparação ao volume deste tipo de veículo em nosso país.

## 5.1 Propostas para trabalhos futuros

Avaliando o atual cenário mundial em relação as pesquisas por uma maior eficiência energética e menor agressão ao meio ambiente, não só nos veículos, mas para o cenário industrial como um todo, buscando novas fontes como o carro elétrico, uso do hidrogênio como combustível, melhor eficiência de biocombustíveis como o biodiesel, entre outras tantas possibilidades, através dos conhecimentos adquiridos ao longo do trabalho pensamos em duas possibilidades de TCC para os futuros grupos

O primeiro tema seria voltado aos veículos elétricos, uma tendência futura mundial muito forte, pensando nisso e tentando aproveitar também os recursos naturais de nosso país, a ideia seria um estudo da viabilização da tecnologia de um veículo movido a álcool com tecnologia híbrida no Brasil, já que estamos em uma etapa de transição e nosso país ainda não apresenta a estrutura necessária para uma eletrificação em massa, esta seria uma saída para alternativa de melhor eficiência energética ao nosso alcance .

Neste tema nosso professor e orientador Marco Aurélio Fróes está desenvolvendo em sua tese de mestrado toda a parte técnica e prática exatamente deste conceito,

então a proposta aqui é uma pesquisa demonstrando os recursos que temos em nosso país justificando a tecnologia, se já houve idealizações parecidas, conceitos pertinentes ao seu funcionamento, etc, ou seja, um projeto de apoio teórico visando este novo conceito.

A segunda ideia, seria também pensando em um melhor aproveitamento dos recursos que temos em nosso país, que no caso é o Etanol produzido em abundância no território nacional , para este segundo projeto o intuito seria a viabilização de uma moto 100% a álcool, inspirado em um conceito parecido do FIAT 147 de 1979 visto na Figura 50, o trabalho poderia seguir duas vertentes, ou um trabalho prático visando a transformação de uma moto comum, ou pensando em uma fundamentação teórica do que seria preciso para execução desta modificação ou sua produção do zero.

Figura 50 – Demonstrativo FIAT 147 (1979)



Fonte: Auto Esporte - Globo (2019)

## 6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABNT (Associação Brasileira de Normas Técnicas). **NBR ISO 1585**. 29/07/1996  
Disponibilizada na aula de Ensaio Dinamométricos pelo professor Marco Aurélio Fróes (1 semestre/2022).

Alves, Vinícius Dario Pinto. **Gasolina: uma proposta temática para estudo do petróleo no ensino de química**. Universidade de Brasília Instituto de Química.2012.

ANP (Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis). **Produção e fornecimento de Biocombustíveis**. < <https://www.gov.br/anp/pt-br/assuntos/producao-e-fornecimento-de-biocombustiveis/etanol>. 22/12/2021 >  
Acesso em 04/09/2022

ANP. **RESOLUÇÃO ANP Nº 807, DE 23.01.2020, DOU 24.01.2020- RETIFICADA DOU 27 DE JANEIRO DE 2020**. Disponível em:  
<<https://atosoficiais.com.br/anp/resolucao-n-807-2020-estabelece-a-especificacao-da-gasolina-de-uso-automotivo-e-as-obrigacoes-quanto-ao-controle-da-qualidade-a-serem-atendidas-pelos-agentes-economicos-que-comercializarem-o-produto-em-todo-o-territorio-nacional?origin=instituicao&q=807/2020>> Acesso em: 14/11/2022

ANP. **Novas regras de propriedades químicas da gasolina Brasil 2020**. Disponível em <<https://www.gov.br/anp/pt-br/assuntos/producao-de-derivados-de-petroleo-e-processamento-de-gas-natural/producao-de-derivados-de-petroleo-e-processamento-de-gas-natural/gasolina#:~:text=O%20valor%20m%C3%ADnimo%20de%20octanagem,de%203%20de%20agosto%20pr%C3%B3ximo>> Acesso 01/12/2022

Auto Esporte – Globo. **O Fiat 147, primeiro carro a álcool brasileiro, era fabricado há 40 anos**. Publicado em 04/07/2019

<<https://autoesporte.globo.com/testes/noticia/2019/07/o-fiat-147-primeiro-carro-alcool-brasileiro-era-fabricado-ha-40-anos.ghtml>>. Acesso em: 15/11/2022.

Autopapo. **História vitoriosa e repleta de sucessos: do G5 ao G8 e além.** Disponível em < <https://autopapo.uol.com.br/noticia/vw-gol-historia-g5-ao-g8/> > Acesso em 14/11/2022

Batista, Carolina. **“Refino do petróleo”.** Disponível em <https://www.todamateria.com.br/refino-petroleo/> . Acesso em 03 de setembro de 2022.

Barcza, Marcos Villela. **Hidrogenação e Desidrogenação.** Escola de Engenharia de Lorena – Universidade de São Paulo, Lorena: SP. 2005, 127.

Bosch, Robert. **Manual de Tecnologia Automotiva 25ª Ed.** -Tradução Helga Madjderey, Gunter W. Prokesch, Euryale de Jesus Zerbini, Suely Pfefeman – São Paulo, Editora Edgard Blucher,2005.

Brasil. **Portaria de 04 de agosto de 1931. Estabelece providências para a execução do decreto 19.717, de 20 de fevereiro de 1931.** Ministério da Agricultura, Poder Executivo, Rio de Janeiro, 1931b.

Brunetti, Franco. **Motores de Combustão Interna Vol. 1.** Editora Blücher, São Paulo, 2013.

CETESB, **Emissão Veicular no estado de São Paulo,** realizada em 2019. <<https://cetesb.sp.gov.br/veicular/>> Acesso em 18/04/2022.

Cerqueira, Wagner de. "**Querosene**"; Brasil Escola. Disponível em: <https://brasilecola.uol.com.br/geografia/querosene.htm>. Acesso em 03 de setembro de 2022.

Comerlato, Fabiana. **A baleia como recurso energético no Brasil**. Simpósio Internacional de História Ambiental e Migrações. 2010

CONAMA. **Programa de Inspeção e Manutenção de Veículos**. Resolução Nº354 de 13/12/2004 disponível em: [http://www.mpsp.mp.br/portal/page/portal/cao\\_urbanismo\\_e\\_meio\\_ambiente/legislacao/leg\\_federal/leg\\_fed\\_resolucoes/leg\\_fed\\_res\\_conama/ResolCONAMA-354-04.pdf](http://www.mpsp.mp.br/portal/page/portal/cao_urbanismo_e_meio_ambiente/legislacao/leg_federal/leg_fed_resolucoes/leg_fed_res_conama/ResolCONAMA-354-04.pdf) Acessado em 13/11/2022

Cowart, J. S. *et al.* **Powertrain development of the 1996 Ford flexible fuel Taurus**. SAE transactions, p. 2092-2105, 1995.

Diniz, Ivando Severino, *et al.* "**Scanner automotivo wireless**". XIII Congresso Internacional e Exposição Sul-Americana de Automação-Brasil Automation ISA. 2009.

Dunham, F. B.; Bomtempo, J. V.; Fleck, D. L. **A estruturação do sistema produção e inovação sucroalcooleiro como base para o Proálcool**. Revista Brasileira de Inovação, Campinas-SP. 2011.

DynoTech. Apresentação técnica do modelo de dinamômetro de inércia DynoTech 720i. <https://www.dynotechpower.com/produtos/dynotech-720i>. Acessado em 13/11/2022

FATEC Santo André. **Site oficial da Fatec Santo André – Infraestrutura**. Disponível em <http://fatecsantoandre1.tempsite.ws/?p=infraestrutura> > Acesso em 14/11/2022

FEBRABAN. **Calculadora Álcool x Gasolina.** 2022  
 <[https://meubolsoemdia.com.br/calculadora-alcoolgasolina?utm\\_source=google&utm\\_medium=search&utm\\_campaign=mbd2022&utm\\_id=meubolsoemdia2022&utm\\_term=cpc&utm\\_content=seach&gclid=CjwKCAjwve2TBhByEiwAaktM1KNRxA5wFmCvAgKA-Jj1bukSueDw59O-JsgfuV\\_y\\_49UJyLXUSVWRoCrboQAvD\\_BwE7](https://meubolsoemdia.com.br/calculadora-alcoolgasolina?utm_source=google&utm_medium=search&utm_campaign=mbd2022&utm_id=meubolsoemdia2022&utm_term=cpc&utm_content=seach&gclid=CjwKCAjwve2TBhByEiwAaktM1KNRxA5wFmCvAgKA-Jj1bukSueDw59O-JsgfuV_y_49UJyLXUSVWRoCrboQAvD_BwE7)>. Acesso em 28/05/2022

Fernandes, Gabriel Werpes. **Estudo da combustão de misturas Gasolina-Etanol numa máquina de compressão rápida.** Orientado por Carlos Valois Maciel Braga, PUC – Rio de Janeiro, 2012.

Fróes, Marco Aurélio. **Notas de Aula da Disciplina Motores Ciclos Otto.** FATEC Santo André, 2020.

Fróes, Marco Aurélio. **Notas de Aula da Disciplina Ensaio Dinamométricos.** FATEC Santo André, 2022.

Gray, C B.; Varcoe, A. R. ***OCTANE, CLEAN AIR, AND RENEWABLE FUELS: A MODEST STEP TOWARD ENERGY INDEPENDENCE.*** Stanford University, Califórnia – Estados Unidos, 2006.

Heywood, J.B. **Internal Combustion Engine Fundamentals.** McGraw-Hill Book Co. New York, 1998.

ICarros, **Ficha Técnica Fiat Argo Firefly (Flex) 2022:**  
 < <https://www.icarros.com.br/fiat/argo/ficha-tecnica/28796> > Acesso em: 19/04/2022

ICarros, **Ficha Técnica Gol G5 1.6 (Flex) 2009:**  
<https://www.icarros.com.br/volkswagen/gol/2009/ficha-tecnica/7953> > Acesso em:  
14/11/2022

Joca, Jhonny Frank Souza. **Notas de aula disciplina Lubrificantes e Fluidos Automotivos.** FATEC Santo André, 2022.

Jornal NEXO. **5 gráficos para entender 20 anos de preços da gasolina.**  
Atualizado em 18/03/2022. <<https://www.nexojornal.com.br/expresso/2022/03/17/5-gr%C3%A1ficos-para-entender-20-anos-de-pre%C3%A7os-da-gasolina>>.  
Acesso em 28/05/2022

Luz, Maria Laura Gomes da Silva. **Apostila de Motores a Combustão.** Universidade Federal de Pelotas (UFPEL), Pelotas – RS, 2013.

Marcolin, Nedson. **Era quase aguardente.** Pesquisa FAPESP, 2008.

< <https://revistapesquisa.fapesp.br/era-quase-aguardente/>> Acesso em: 05/04/2022

Martins, J. **Motores de combustão interna.** Publindústria, Porto, Portugal, 2006.

Motta, Tatiana M.; GUARIEIRO, Lilian LN; CÂMARA, Júlio César C. **Estudo comparativo entre sistema de partida a frio convencional e eletrônico para veículos flex.** 2015.

Muñoz, M.R.; GÓMEZ, F.M.; ROY, J.F. M. **Motores alternativos de combustión interna.** 2 ed. Presas Universitarias de Zaragoza, Zaragoza, España, 2008.

Nappo, Márcio. **A demanda por gasolina no Brasil: uma avaliação de suas elasticidades após a introdução dos carros bicombustíveis.** 2007. *PhD Thesis.*

Nogueira, Luiz A. Horta; Hollanda, Jayme Buarque. **Reverendo a paridade entre etanol hidratado e gasolina em veículos flexíveis**. INEE (Instituto nacional de Eficiência Energética). 2015.

Oliveira, Júlio César Melo Gomes de. **Soft sensor veicular para medição de emissões de gases**. Tese de Mestrado. Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Brasil, 2017.

Orto - Ponto. **“Termômetro infravermelho: entenda como funciona!”**. Disponível em < <https://www.ortoponto.com.br/m/blog/5ffc9d3248d9c97cc9017497/termometro-infravermelho-entenda-como-funciona> > Acessado em: 27/11/2022.

Ribolla, Adriano. **Notas de Aula da Disciplina Sistemas Automotivos com Gerenciamento Eletrônico**. FATEC Santo André, 2021.

Santos, Fernando Miguel; Santos, Fernando António. **Combustível hidrogênio**. Millenium, p. 252-270, 2005.

Sarathy, S. Mani *et al.* **Alcohol combustion chemistry**. *Progress in energy and Combustion Science*, v. 44, p. 40-102, 2014

Sarathy, S. Mani *et al.* **Recent progress in gasoline surrogate fuels**. *Progress in Energy and Combustion Science*, v. 65, p. 67-108, Elsevier, 2018.

Scur, Gabriela; Sousa, Paulo Nunes; Souza, Roberta de Castro. **Panorama da cadeia produtiva do etanol no Brasil: gargalos e proposições para seu desenvolvimento**. Revista Gestão da Produção Operações e Sistemas, 2012, 7.3: 145.



Shikida, Pery Francisco Assis. **A evolução diferenciada da agroindústria canavieira no Brasil de 1975 a 1995**. Editora Cascavel: Edunioste, 1998.

Takeshita, E. V. **ADULTERAÇÃO DE GASOLINA POR ADISÃO DE SOLVENTES: ANÁLISE DOS PARÂMETROS FÍSICO-QUÍMICOS**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química) – Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis. Santa Catarina. 2006.

Tournier, Diego R. **Tecnologia Flex – Segredos do Aprendizado de Combustível A/F. Centro de Treinamento Automotivo Bosch**. 31/01/2019 < [https://www.youtube.com/watch?v=pj\\_v0Gj9564](https://www.youtube.com/watch?v=pj_v0Gj9564)> Acessado em: 12/10/2022.

Varella, Carlos Alberto Alves. **Histórico e desenvolvimento dos motores de combustão interna**. Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, 2006.

Vanzella, Edson. **Estudo de propriedades físico-químicas do etanol hidratado com adição de biodiesel para uso em motores de combustão interna Ciclo Otto**. UNIOESTE. Cascavel - PR (2015).

Vieceli, Daniel. **O fim do “tanquinho” de gasolina**. 23/01/2016 <<https://nivelandoaengenharia.com.br/pt/blog/2016/01/23/o-fim-do-tanquinho-de-gasolina/>> Acesso 11/12/2022.

Wachter, Harald Fradera. **Avaliação da corrosividade de misturas de gasolina e álcool combustível**. UFRGS (Universidade Federal do Rio Grande do Sul). 2015.

**APÊNDICE A – Gráficos de Torque e Potência com repetibilidade registrados no Dinamômetro (Mistura Gasolina e Etanol; Estequiometria = 13,2:1)**

Figura 51 – Torque e Potência (Teste 0103)



Fonte: Autores (2022)

Figura 52 – Torque e Potência (Teste 0104)



Fonte: Autores (2022)

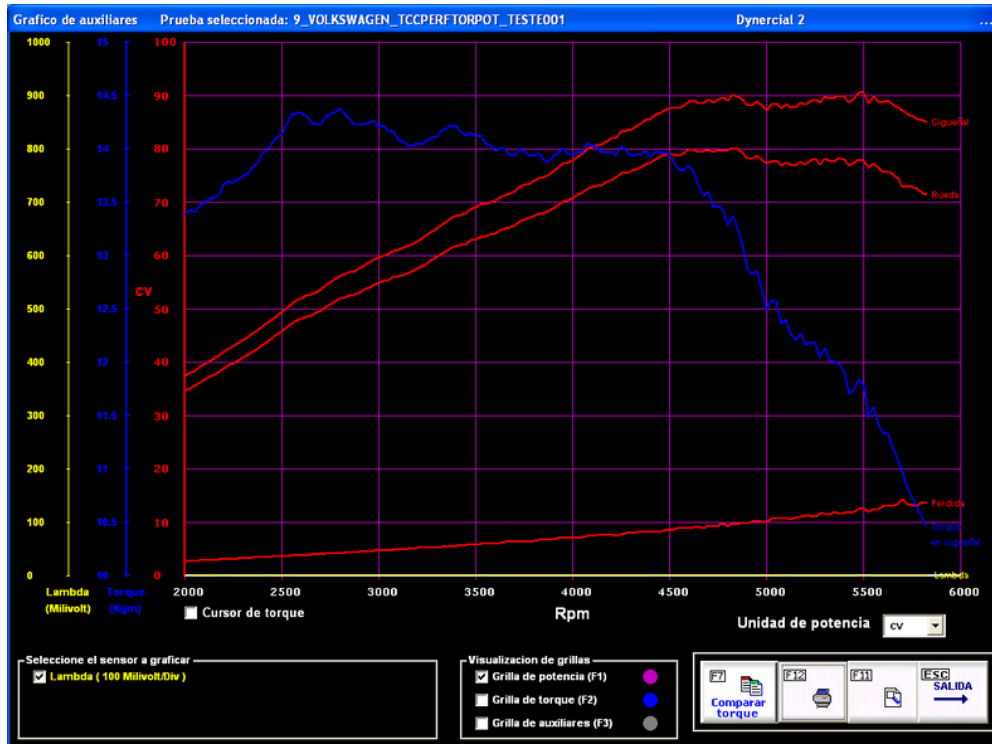
Figura 53 – Torque e Potência (Teste 0105)



Fonte: Autores (2022)

**APÊNDICE B – Gráficos de Torque e Potência com repetibilidade registrados no Dinamômetro (Etanol; Estequiometria = 9,1:1)**

Figura 54 – Torque e Potência (Teste 0204)



Fonte: Autores (2022)

Figura 55 – Torque e Potência (Teste 0205)



Fonte: Autores (2022)

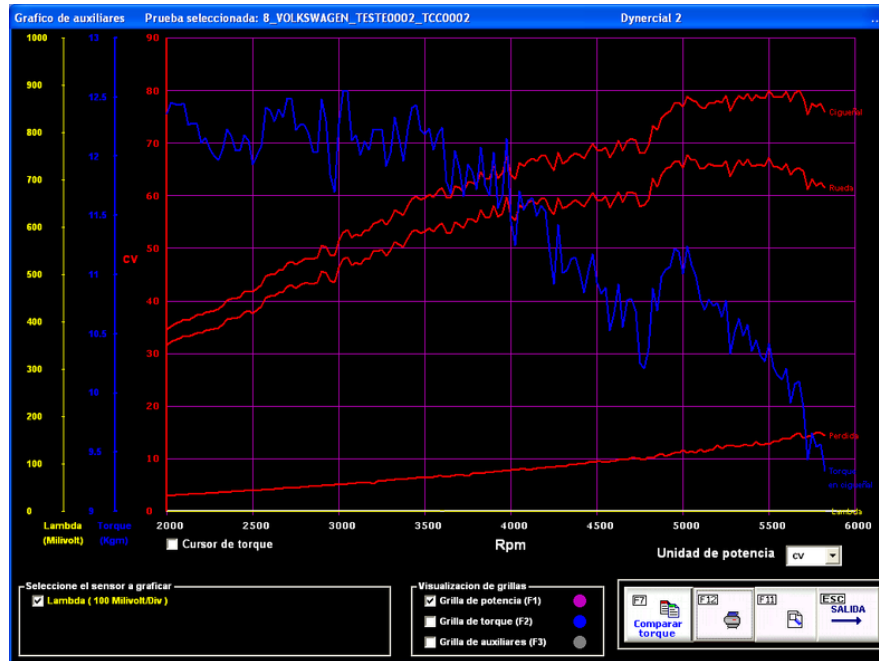
Figura 56 – Torque e Potência (Teste 0206)



Fonte: Autores (2022)

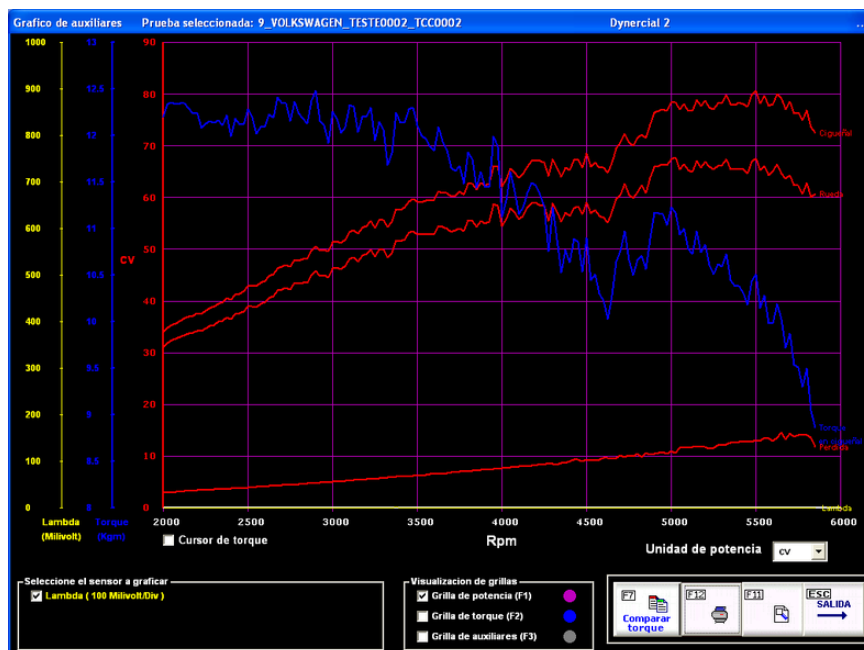
**APÊNDICE C – Gráficos de Torque e Potência com repetibilidade registrados no Dinamômetro (Gasolina; Estequiometria = 10,1:1)**

Figura 57 – Torque e Potência (Teste 0304)



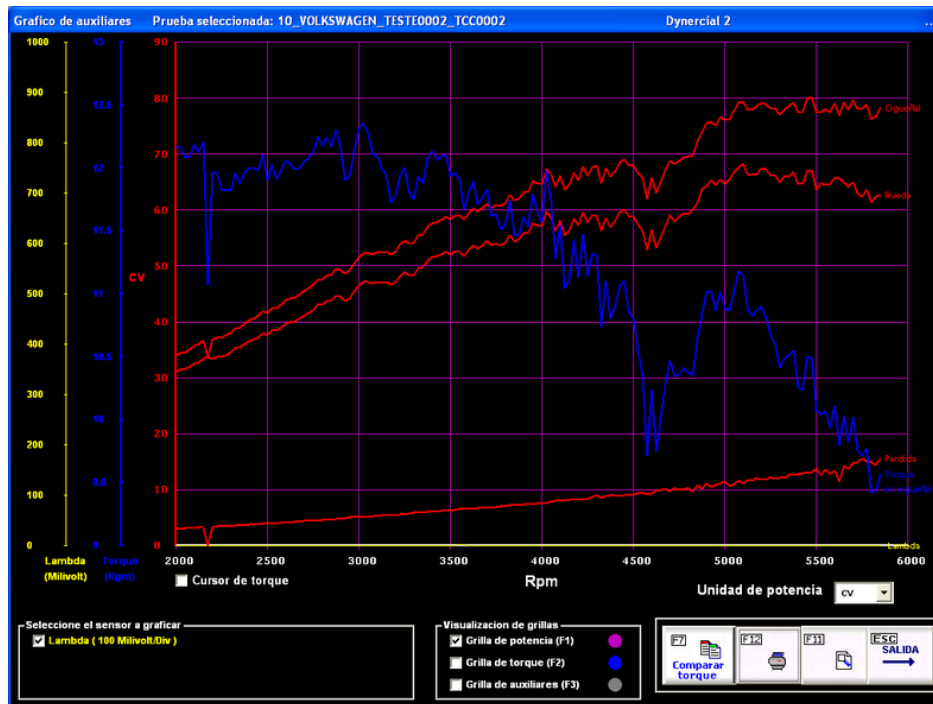
Fonte: Autores (2022)

Figura 58 – Torque e Potência (Teste 0305)



Fonte: Autores (2022)

Figura 59 – Torque e Potência (Teste 0306)



Fonte: Autores (2022)