

**CENTRO UNIVERSITÁRIO ASSIS GURGACZ**

**RAFAEL GUSTAVO IANESKO**

**ESTUDO DO CONSUMO ESPECIFICO ENTRE OS COMBUSTÍVEIS  
GASOLINA COMUM E ETANOL EM UM MOTOR CICLO OTTO VHC 1.0**

**CASCADEL  
2020**

**CENTRO UNIVERSITÁRIO ASSIS GURGACZ**  
**RAFAEL GUSTAVO IANESKO**

**ESTUDO DO CONSUMO ESPECIFICO ENTRE OS COMBUSTÍVEIS  
GASOLINA COMUM E ETANOL EM UM MOTOR CICLO OTTO VHC 1.0**

Trabalho apresentado na disciplina de Trabalho de Conclusão de Curso II, do Curso de Engenharia Mecânica, do Centro Universitário Assis Gurgacz, como requisito parcial para obtenção do título de bacharel em Engenharia Mecânica.

Professor(a): **Carlos Alberto Breda.**

**CASCADEL**  
**2020**

## **AGRADECIMENTOS**

Primeiramente agradeço a Deus, pela força em minha vida.

A minha família, por me apoiar diariamente durante todas as etapas da minha vida.

Ao professor mestre engenheiro mecânico Carlos Alberto Breda, por me orientar durante a construção deste trabalho de conclusão de curso.

As amizades construídas ao longo do curso, havendo conselhos sempre que necessário.

## **DEDICATÓRIA**

Dedico este trabalho aos meus familiares e amigos, pelo apoio e motivação durante esta etapa de minha vida.

## RESUMO

Atualmente com a evolução industrial e de vários outros aspectos vivemos em constantes transformações, com isso devemos sempre estar direcionados para a inovação intermitente. A exigência do melhor desempenho dos motores de combustão interna, tal como o crescimento competitivo das empresas fez-se necessário o aprimoramento para desenvolver e garantir a melhor eficiência nos sistemas criados ou aperfeiçoar naqueles já existentes. Na área automobilística não é diferente, cada vez mais se faz necessário a maior eficiência nos motores de combustão interna, como o aumento no rendimento térmico, maximizar o rendimento volumétrico, aproveitar o calor gerado durante a combustão e minimizar o atrito mecânico. O programa Proálcool foi criado no dia 14 de novembro de 1975 e introduzido no país em março de 2003. Com objetivo de estimular a produção do álcool, e assim evitando a dependência externa de divisas quando do choque de preço de petróleo. Isso acarretou o desenvolvimento dos motores flex podendo usar gasolina ou álcool e até a mistura dos dois combustíveis, que foram produzidos em grande escala no território nacional. O objetivo deste trabalho propõe o estudo do consumo específico de combustível em um motor flex.

**Palavras-chave:** Consumo específico, ciclo Otto, motores de combustão interna, Eficiência.

## **ABSTRACT**

Currently with the industrial evolution and several other aspects we live in constant transformations, with that we must always be directed towards intermittent innovation. The demand for the best performance of the internal combustion engines, as well as the competitive growth of the companies, it was necessary the improvement to development and assurance the best efficiency in the systems created or to improve in those already existing. In the automotive area it is no different, it is increasingly necessary to increase efficiency in internal combustion engines, such as increasing thermal efficiency, maximizing volumetric efficiency, taking advantage of the heat generated during combustion and minimizing mechanical friction. The Proálcool program was created on November 14, 1975 and introduced in the country in March 2003. In order to stimulate alcohol production, thus avoiding foreign dependence on foreign exchange when the oil price shock occurs. This led to the development of flex engines that could run on gasoline or alcohol and even the mixture of the two fuels, which were produced on a large scale in the national territory. The goal of this work is to study the specific fuel consumption of a flex engine.

## LISTA DE FIGURAS

|                                                                                     |           |
|-------------------------------------------------------------------------------------|-----------|
| <b>Figura 01</b> - Sistema de carburador: .....                                     | <b>17</b> |
| <b>Figura 02</b> - Sistema de injeção de combustível: .....                         | <b>17</b> |
| <b>Figura 03</b> - Os quatro tempos da combustão: .....                             | <b>21</b> |
| <b>Figura 04</b> - Sistema pistão-biela-manivela: .....                             | <b>22</b> |
| <b>Figura 05</b> - Curva do consumo específico em função da rotação do motor: ..... | <b>27</b> |
| <b>Figura 06</b> - Taxa de compressão x consumo específico:.....                    | <b>28</b> |
| <b>Figura 07</b> - Dinamômetro hidráulico: .....                                    | <b>36</b> |
| <b>Figura 08</b> - Teste dinamômetro motor VHC 1.0: .....                           | <b>40</b> |

## LISTA DE TABELAS

|                                                                |           |
|----------------------------------------------------------------|-----------|
| <b>Tabela 01</b> - Propriedades de alguns combustíveis: .....  | <b>30</b> |
| <b>Tabela 02</b> - Propriedades de alguns combustíveis: .....  | <b>31</b> |
| <b>Tabela 03</b> - Motor de testes: .....                      | <b>38</b> |
| <b>Tabela 04</b> - Consumo de combustível motor VHC 1.0: ..... | <b>39</b> |

## LISTA DE EQUAÇÕES

|                                                                  |           |
|------------------------------------------------------------------|-----------|
| <b>Equação 1 - Torque:</b> .....                                 | <b>23</b> |
| <b>Equação 2 - Volume do cilindro:</b> .....                     | <b>23</b> |
| <b>Equação 3 - Potência teórica:</b> .....                       | <b>24</b> |
| <b>Equação 4 - Potência indicada:</b> .....                      | <b>24</b> |
| <b>Equação 5 - Potência de atrito:</b> .....                     | <b>25</b> |
| <b>Equação 6 - Potência efetiva:</b> .....                       | <b>25</b> |
| <b>Equação 7 - Consumo específico em uma dada rotação:</b> ..... | <b>26</b> |
| <b>Equação 8 - Consumo específico teórico:</b> .....             | <b>26</b> |
| <b>Equação 9 - Consumo específico prático:</b> .....             | <b>26</b> |
| <b>Equação 10 - Medição volumétrica:</b> .....                   | <b>29</b> |

## SIMBOLOGIA

### Letras maiúsculas:

|       |                 |                                                                 |
|-------|-----------------|-----------------------------------------------------------------|
| T     | Nm              | Torque (Newton metros)                                          |
| Ftan. | N               | Força (Newton)                                                  |
| Vc    | cm <sup>3</sup> | Volume do Cilindro (Centímetros cúbicos)                        |
| D     | m               | Diâmetro do Cilindro (Centímetros)                              |
| L     | m               | Curso do Pistão (Metros)                                        |
| Ne    | Kw/h            | Potência Efetiva (Kilowatts por hora)                           |
| Ce    | L/h             | Consumo específico (Litros por hora)                            |
| Mc    | Kg              | Massa de Combustível (Quilogramas)                              |
| PCI   | Kc/Kg           | Poder Calorífico Inferior (Quilocalorias por quilogramas)       |
| Pt    | Kcal/kg         | Potência teórica (Kilowatts)                                    |
| Pc    | Kcal/kg         | Poder calorífico do combustível (Quilocalorias por quilogramas) |
| Pi    | Kilowatts       | Potência indicada (Kilowatts)                                   |
| Wi    | J               | Trabalho (Joule)                                                |
| Pa    | Cv              | Potência de atrito (Cavalos)                                    |
| Pi    | Cv              | Potência indicada (Cavalos)                                     |
| Pe    | Cv              | Potência efetiva (Cavalos)                                      |
| Ch    | Kg/cv h         | Consumo horário (Quilogramas por cavalos hora)                  |
| N     | Adm             | Rendimento do motor (Adimensional)                              |
| V     | cm <sup>3</sup> | Volume do fluviômetro (Centímetros cúbicos)                     |

### Letras minúsculas:

|   |      |                                                  |
|---|------|--------------------------------------------------|
| d | m    | Distância (Metros)                               |
| n | rpm  | Rotações por Minuto (Rotações por minuto)        |
| r | m    | Distância (Metros)                               |
| t | Min  | Tempo medido (Minutos)                           |
| q | L/h  | Consumo de combustível (Litros por hora)         |
| d | Kg/l | Densidade do combustível (Quilogramas por litro) |

|   |     |                                                          |
|---|-----|----------------------------------------------------------|
| x | Adm | Depende do motor ser 2 tempos ou 4 tempos (Adimensional) |
| z | Adm | Número de cilindros no motor (Adimensional)              |

### **Abreviaturas**

GDI – Gasoline Direct Injection

PCI – Poder Calorífico Inferior

PCS – Poder Calorífico Superior

PME – Pressão média efetiva

## SUMÁRIO

|                                            |           |
|--------------------------------------------|-----------|
| <b>LISTA DE FIGURAS .....</b>              | <b>5</b>  |
| <b>LISTA DE TABELAS .....</b>              | <b>6</b>  |
| <b>LISTA DE EQUAÇÕES .....</b>             | <b>7</b>  |
| <b>SIMBOLOGIA .....</b>                    | <b>8</b>  |
| <b>SUMÁRIO .....</b>                       | <b>10</b> |
| <b>1. INTRODUÇÃO .....</b>                 | <b>12</b> |
| 1.1 OBJETIVO GERAL .....                   | 13        |
| 1.2 OBJETIVO ESPECÍFICO .....              | 13        |
| 1.3 JUSTIFICATIVA .....                    | 13        |
| 1.4 CARACTERIZAÇÃO DO PROBLEMA .....       | 14        |
| 1.5 DELIMITAÇÃO DA PESQUISA .....          | 14        |
| <b>2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA .....</b>      | <b>16</b> |
| 2.1 MOTORES CICLO OTTO .....               | 16        |
| 2.2 CICLO MECÂNICO .....                   | 20        |
| 2.3 PROPRIEDADES DO MOTOR .....            | 22        |
| 2.4 TORQUE .....                           | 23        |
| 2.5 VOLUME DO CILINDRO .....               | 23        |
| 2.9 POTÊNCIA EFETIVA .....                 | 25        |
| 2.10 CONSUMO ESPECÍFICO .....              | 26        |
| 2.8 PODER CALORÍFICO .....                 | 29        |
| 2.9 CARACTERÍSTICAS DOS COMBUSTÍVEIS ..... | 30        |
| 2.9.1 GASOLINA .....                       | 31        |
| 2.9.2 ETANOL .....                         | 32        |
| 2.9.3 MISTURA DOS COMBUSTÍVEIS .....       | 33        |
| 2.9.4 OCTANAGEM .....                      | 34        |
| 2.10 DINAMÔMETRO .....                     | 34        |
| <b>3. METODOLOGIA .....</b>                | <b>38</b> |
| 3.1 CÁLCULO DO CONSUMO ESPECÍFICO .....    | 39        |
| 3.1.1 GASOLINA COMUM .....                 | 41        |
| 3.1.2 ETANOL .....                         | 42        |
| <b>4. RESULTADOS E DISCUSSÕES .....</b>    | <b>43</b> |

|                                                  |           |
|--------------------------------------------------|-----------|
| <b>5. CONSIDERAÇÕES FINAIS .....</b>             | <b>43</b> |
| <b>6. SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS .....</b> | <b>44</b> |
| <b>REFERÊNCIAS.....</b>                          | <b>45</b> |

## 1. INTRODUÇÃO

Diante das dificuldades encontradas em nossa sociedade globalizada, cada vez mais se dá importância a temas como: desenvolvimento sustentável, eficiência energética, energias alternativas e emissões de poluentes.

As emissões geradas por veículos automotores têm crescido cada vez mais, pois é perceptível que os veículos no globo terrestre estão aumentando a cada momento, de acordo com a Frota (2019). Em 2018 a frota brasileira de autoveículos cresceu 1,9% em comparação a 2017. Desse modo, foram contabilizados 44,8 milhões de veículos que circulam em nosso país. Quanto as motocicletas foram recitadas cerca de 13,12 milhões, esses dados foram contabilizados e a expectativa para 2019 é um crescimento de aproximadamente 2% (FROTA, 2019).

Em 1973, a 1ª crise do petróleo mudou o rumo da história, elevando o preço do petróleo de US\$ 2,91 para US\$ 12,45, um aumento de 428%. A 2ª crise, em 1979, piorou a situação. O barril de petróleo chegou aos US\$ 88,00. Nesse período, o Brasil importava quase 80% do petróleo cru utilizado. Somente em 1974 é que se descobriria o petróleo na bacia de Campos, no Rio de Janeiro, mas demoraria ainda alguns anos até que a logística de extração e transporte do petróleo estivesse funcionando (BRUNETTI, 2012).

Conhecido como a semente do Programa Nacional do Álcool (Proálcool), o documento intitulado “Fotossíntese Como Fonte de Energia” foi entregue ao Conselho Nacional do Petróleo, em Março de 1974. O estudo demonstrava as preferências do Instituto do Açúcar e do Alcool pela produção de álcool em destilarias autônomas e da Coopersucar, pelo aproveitamento da capacidade ociosa das destilarias anexas as usinas açucareiras (BRUNETTI, 2012).

A criação do Programa Nacional do Álcool, em 14 de novembro de 1975, visava o desenvolvimento das técnicas e aperfeiçoamento dos insumos para a produção de álcool etílico. Já em 1980, para diminuir ainda mais a necessidade de importação de petróleo, o governo brasileiro instituiu a adição de 20% de álcool etílico anidro na gasolina, que logo chegou ao patamar dos 22% (BRUNETTI, 2012).

Ainda segundo Brunetti (2012, p.383) a título de complementação, a consolidação do uso de álcool como combustível se deu em 2002, com a entrada do mercado dos primeiros veículos Flex, que aceitam qualquer teor da mistura de gasolina e etanol.

Dessa forma, o intuito de tal trabalho é voltado à pesquisa sobre motor ciclo Otto VHC 1.0, como também compreender seu consumo específico, isto é, o menor consumo de combustível para determinado tempo de funcionamento.

## 1.1 OBJETIVO GERAL

Estudo do consumo específico de um motor VHC 1.0 flex de combustão interna ciclo Otto, e os combustíveis que nele podem ser utilizados.

## 1.2 OBJETIVO ESPECÍFICO

- Apurar as informações do motor VHC 1.0 de acordo com sua fabricante GENERAL MOTORS®;
- Pesquisar sobre o funcionamento mecânico e componentes de um motor ciclo OTTO;
- Realizar a pesquisa sobre os combustíveis gasolina comum e etanol;
- Comparar o consumo específico de combustível utilizando gasolina comum e etanol, baseado nas informações das montadoras de veículos.

## 1.3 JUSTIFICATIVA

O presente trabalho tem por motivação a inquietação que há atualmente para a busca de um mundo mais saudável, nota-se que esta questão vem ganhando espaço exponencialmente em nossa sociedade. É possível perceber que em todas as áreas, estudos e pesquisas este é um assunto recorrente, sendo principalmente a procura de obter reduções de

poluentes em nossa atmosfera. É perceptível que um dos grandes vilões que assolam os dias atuais são os gases poluentes emitidos na queima de combustíveis.

Sendo assim, vale destacar que as influências destes poluentes estão diretamente ligadas com o consumo de combustível em veículos de motores de combustão interna, ciclo Otto e outros motores, assim quem faz uso destes sistemas pode contribuir com o meio ambiente, além de ter uma economia financeira ao saber quais melhores faixas de rotação seu motor tem o menor consumo de combustível.

Motores de combustão interna são amplamente utilizados na indústria em geral e como meio de transporte, sendo assim, através da pesquisa realizada, tal conhecimento adquirido somará na experiência com esses sistemas e equipamentos, para que desse modo, seja possível auxiliar ainda mais novos profissionais na área da engenharia mecânica bem como futuros pesquisadores.

#### 1.4 CARACTERIZAÇÃO DO PROBLEMA

Qual o consumo específico de um motor de combustão interna VHC 1.0 com diferentes combustíveis, gasolina comum e etanol?

#### 1.5 DELIMITAÇÃO DA PESQUISA

O trabalho será realizado com base em dados que foram realizados no Centro Universitário Fundação Assis Gurgacz, que se encontra na cidade de Cascavel no estado do Paraná (latitude: -24.9555, longitude: -53,4552 24° 57' 20" "sul, 53° 27' 19" oeste), também como a análise dos dados e experimentos realizados no laboratório de motores de combustão interna.

O trabalho será executado em um motor ciclo Otto, podendo assim, aparecer alguma falha mecânica, elétrica ou de outra natureza. Como também o sistema de dinamômetro que faz parte do conjunto do sistema, além disso,

outro fator que pode influenciar nos testes é a qualidade de combustível utilizado, podendo causar divergências nos resultados obtidos.

## 2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Conforme Martins (2006, p.1), no século XIX foi inventado o motor de combustão interna a pistão impactando de forma geral sobre a sociedade como um todo.

Ainda de acordo com Martins (2006, p.2), a evolução veio acarretando todas as áreas como o surgimento de turbinas usadas na aviação, navios com grandes dimensões e submarinos que utilizam motores nucleares, mas no ramo ferroviário o que mais se utiliza é o motor de combustão interna, entretanto o rendimento é algo que vem crescendo ao longo das últimas décadas juntamente com a redução do nível de emissões dos poluentes na atmosfera.

É possível classificar as máquinas térmicas segundo Brunetti (2012, p.27) sendo estas, dispositivos nos quais, basicamente, transformam o calor gerado em trabalho, este calor pode ser obtido de variadas formas: energia elétrica, combustão e energia atômica entre outras.

### 2.1 MOTORES CICLO OTTO

A combustão é um processo químico exotérmico de oxidação de um combustível. Para que o combustível reaja com o oxigênio do ar, necessita-se de um agente que provoque o início dessa reação. Denomina-se ignição o processo que provoca o início da combustão (BRUNETTI, 2012).

Nos motores ciclo Otto a ignição é provocada por uma faísca, havendo a necessidade de um sistema elétrico para introduzi-la (BRUNETTI, 2012).

Desse modo, Brunetti (2012, p.42), traz que a taxa de compressão nos motores com ignição por faísca é relativamente baixa para que não ocorra a autoignição do combustível, pois o que é responsável pela combustão é o comando da faísca.

Ainda de acordo Brunetti (2012, p.42), os motores ciclo Otto podem ser alimentados por meio de um sistema de injeção de combustível ou por meio de um carburador. Normalmente utiliza-se o carburador em casos que não necessita de grandes potências e as emissões de poluentes são menos

restringidas do que na área automotiva. Já a injeção de combustível além de mais precisa pode alcançar melhores resultados nas emissões, podendo ocorrer no coletor de admissão ou diretamente na câmara de combustão (GDI – Gasoline Direct Injection). Nas figuras 01 e 02 ilustram um sistema a carburação e injeção de combustível respectivamente.

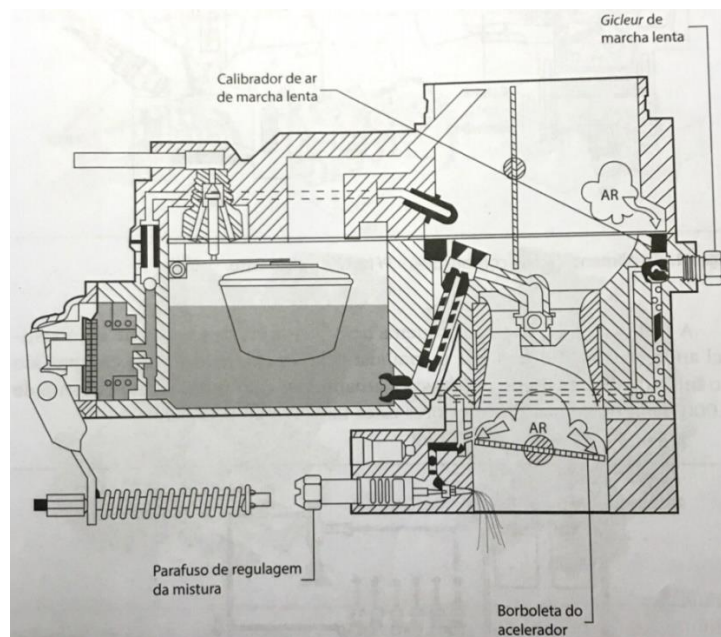


Figura 01: Sistema de carburador.

(Fonte Brunetti, 2012)

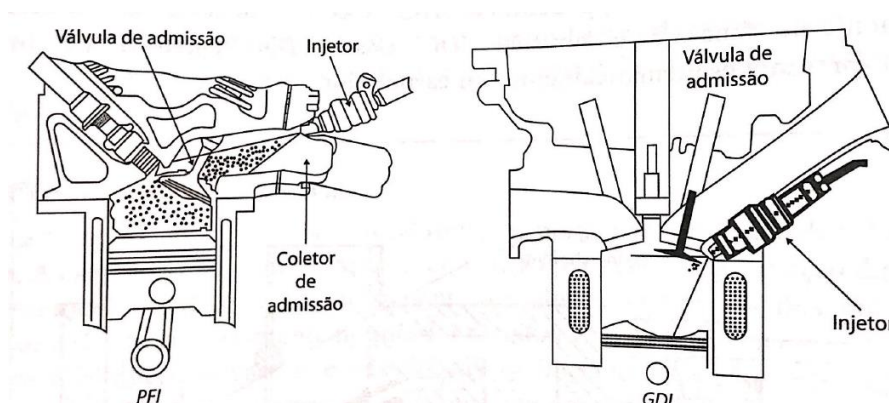


Figura 02: Sistema de injeção de combustível.

(Fonte: Brunetti, 2012)

A mistura que é introduzida no cilindro geralmente já é homogeneizada e dosada. A exceção se faz para motores de ignição por centelha de injeção

direta de combustível (GDI), nos quais somente ar é admitido e a injeção de combustível é realizada diretamente no interior do cilindro (BRUNETTI, 2012).

Um motor ciclo Otto é composto por diversos componentes podendo ser eles fixos ou móveis, os principais serão citados a seguir:

Componentes fixos:

- **Bloco do motor** – É considerado a principal estrutura ou corpo do motor. Nele são acoplados diretamente ou indiretamente os componentes que compõe o motor. Também é usinado para permitir a passagem de óleo e da água que faram parte do sistema de lubrificação e arrefecimento do sistema (TILLMANN, 2013).
- **Cabeçote** – O cabeçote tem a função de tampar os cilindros, formando a câmara de combustão na parte superior do motor. Geralmente possui orifícios com roscas onde são fixadas as velas de ignição ou os bicos injetores e alojadas as válvulas de admissão e escape ou descarga (TILLMANN, 2013).
- **Cárter** - Parte inferior do bloco. Cobre os componentes inferiores do motor e serve de depósito para o óleo lubrificante desse (TILLMANN, 2013).
- **Sensor de oxigênio (Sonda Lambda)** – Mede a concentração de oxigênio no escape

Componentes móveis:

- **Válvulas** – São elementos metálicos responsáveis pela vedação da abertura de admissão do ar e pela vedação dos orifícios de saída dos gases da combustão. Há dois tipos de válvulas: válvulas de admissão e válvulas de escape. A primeira abre-se para permitir a entrada da mistura combustível/ar no interior dos cilindros. A outra, de escape, abre-se para dar saída aos gases queimados na combustão (TILLMANN, 2013).

- **Eixo do comando de válvulas** – O eixo de cames, ou comando de válvulas, é um eixo que tem solidário a ele ressaltos ou excêntricos destinados a agir sobre os elementos impulsionadores das válvulas, balancins, haste e tuchos em tempos precisos (TILLMANN, 2013).
- **Pistão** - É o componente responsável por transmitir e ampliar a energia resultante da expansão dos gases após a combustão. Ele recebe a força de expansão dos gases queimados, transmitindo-a a biela, por intermédio de um pino de aço (TILLMANN, 2013).
- **Anéis de segmento** - Os anéis de segmento são componentes montados nos pistões que trabalham em contato com as camisas. Apresentam três funções básicas como a vedação da compressão e combustão, o controle do óleo lubrificante e a transferência do calor para o sistema de arrefecimento (TILLMANN, 2013).
- **Bielas** - São consideradas o braço de ligação entre os pistões e o eixo de manivelas, recebem o impulso dos pistões, transmitindo-o ao eixo de manivelas ou virabrequim (TILLMANN, 2013).
- **Bronzinas** - As bronzinas são buchas bipartidas, geralmente trimetálicas, de aço-cobre-estanho, que diminuem o atrito entre o eixo e seu apoio, suportando cargas elevadas. As bronzinas possuem ressaltos para assegurar um posicionamento correto na montagem e impedir seu deslocamento lateral, bem como orifícios que permitem facilitar a lubrificação (TILLMANN, 2013).
- **Virabrequim** - O virabrequim é um elemento componente do sistema de força do motor, também conhecido por Eixo de Manivelas ou Árvore de Manivelas. É considerado o eixo motor propriamente dito, o qual, na maioria das vezes, é instalado na parte inferior do bloco, recebendo ainda as bielas que lhe imprimem movimento (TILLMANN, 2013).
- **Volante** – O volante destina-se a regularizar e equilibrar a rotação do virabrequim (TILLMANN, 2013).
- **Mancais** - Os mancais são utilizados para reduzir o atrito e servir de apoio às partes móveis giratórias do motor, aos moentes e aos munhões (TILLMANN, 2013).

Sistemas:

- **Sistema de arrefecimento** – O trabalho gerado da combustão resulta uma parcela significativa de atrito e calor. Para a manutenção da vida dos componentes faz-se necessário o arrefecimento de algumas áreas e componentes. O arrefecimento pode ser realizado com ar ou com água (BRUNETTI, 2012).
- **Sistema de lubrificação** – Este sistema reduz o atrito entre as peças em movimento, no motor, depositando, entre elas, uma película de óleo lubrificante (CEARÁ, secretaria da educação, p. 8).
- **Sistema de alimentação de combustível** – Nos motores ciclo são alimentados por combustível por meio de um carburador ou de um sistema de injeção de combustível (BRUNETTI, 2012).
- **Sistema de ignição** – Para que a mistura se queime, nas câmaras de combustão, é necessário que existam centelhas que provoquem a queima inicial e no tempo certo. Para que isto aconteça o sistema elétrico causa, inicialmente, as primeiras rotações do motor, por meio do motor de partida, e em seguida o centelhamento nas câmaras de combustão, por meio do distribuidor e das velas de ignição (CEARÁ, secretaria da educação, p. 8).

## 2.2 CICLO MECÂNICO

De acordo com Brunetti (2012), o pistão percorre quatro cursos, isso corresponde a duas voltas na manivelado motor, completando assim um ciclo.

- **Admissão** - O pistão desloca-se do ponto morto superior ao ponto morto inferior. Nesse movimento, o pistão dá origem a uma sucção que causa um fluxo de gases através da válvula de admissão, que estará aberta. O cilindro é preenchido com mistura combustível-ar ou somente ar nos

motores de injeção direta de combustível se for de ignição por centelha (BRUNETTI, 2012).

- **Compressão** - A válvula de admissão se fecha e o pistão se desloca do ponto morto superior ao ponto morto inferior, causando compressão na mistura (BRUNETTI, 2012).
- **Expansão** - Nos motores com ignição a faísca, nas proximidades do ponto morto superior, ocorre a faísca que provoca a ignição da mistura. A combustão provoca uma grande dilatação da pressão, o que permite “empurrar” o pistão para o ponto morto inferior, de tal forma que o fluxo ativo sofre um processo de expansão. Esse é o processo que realiza o processo produtivo do motor (BRUNETTI, 2012).
- **Escape** - Com a válvula de escapamento aberta, o pistão desloca-se do ponto morto inferior ao ponto morto superior, “empurrando” os gases queimados para fora do cilindro, para reiniciar o ciclo pelo tempo de admissão (BRUNETTI, 2012). Conforme figura 03 abaixo.

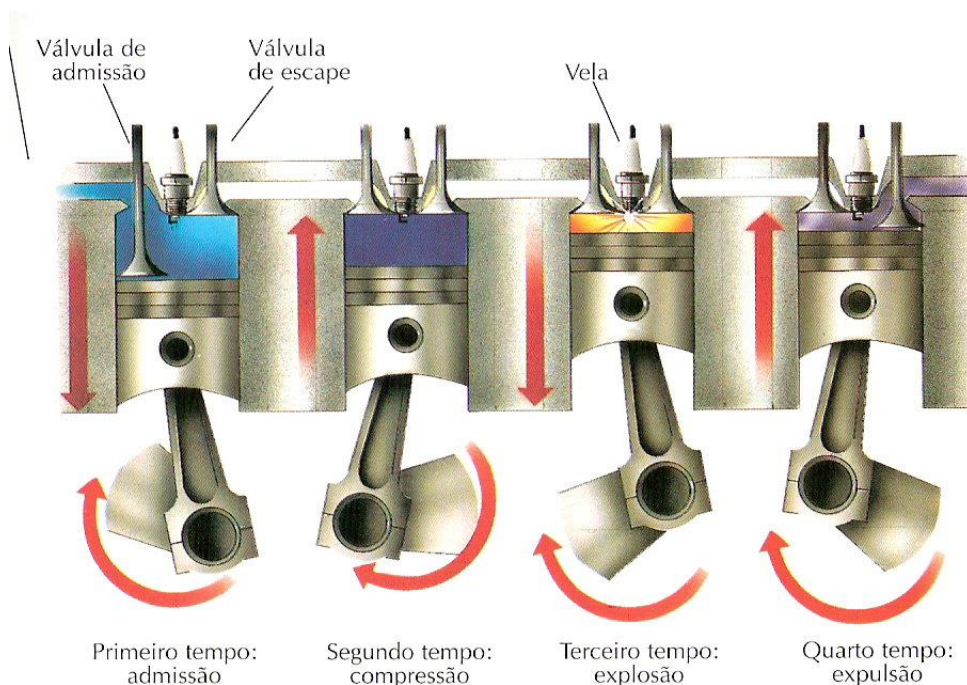


Figura 03: Os quatro tempos da combustão.

(Fonte: Rodrigo Gibi, 2013)

### 2.3 PROPRIEDADES DO MOTOR

O sistema pistão-biela-manivela de um motor alternativo formando o mecanismo responsável pelo estabelecimento de um momento torçor em seu eixo de manivelas composto por  $F_r$  e pela força normal  $F_n$ . A força  $F$  resultante do pistão composta pela força  $F_r$  e pela normal  $F_n$  transmite-se a biela e desta a manivela, dando origem a uma força tangencial e conseqüentemente a um momento instantâneo no eixo do motor (virabrequim). A força de pressão  $F$  depende da posição angular da manivela e, portanto, a força tangencial é variável. Logo, apesar de o braço  $r$  ser fixo, o momento no eixo do motor varia com o ângulo  $\alpha$ , medido a partir da posição em que a biela e a manivela estão alinhadas, gerando o menor volume entre a cabeça do pistão e o cabeçote, estabelecendo o denominado ponto morto superior do mecanismo de biela e manivela. Sendo assim, pode-se calcular o torque sendo o produto da força tangencial e a distância do ponto sujeito a carga e o eixo, conforme figura 04 (BRUNETTI, 2012).

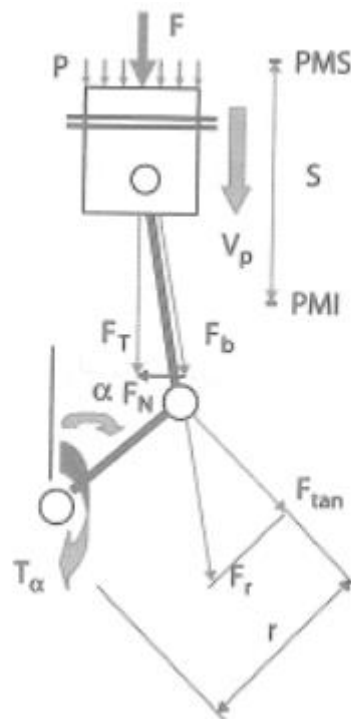


Figura 04: Sistema pistão-biela-manivela.

(Fonte: Brunetti, 2012)

## 2.4 TORQUE

Torque é uma grandeza vetorial onde quando aplicada uma força em uma determinada distancia temos momento ou torque. Nos motores o torque está relacionado com a potência que o motor consegue produzir em determinada rotação. Ou seja, o torque se dá através do produto da força produzida na combustão dentro do cilindro com o braço de alavanca da arvore de manivela (BRUNETTI, 2012). Conforme figura 04.

$$T = F_{tan.} \times r \quad (1)$$

Onde:

$F_{tan.}$  = Força (Newton);

$r$  = Distância (metros).

## 2.5 VOLUME DO CILINDRO

O volume de um cilindro é o produto do diâmetro do cilindro o curso que o pistão percorre (BRUNETTI, 2012).

$$Vc = \pi \times \frac{D^2}{4} \times L \quad (2)$$

Onde:

$D$  = Diâmetro do cilindro (centímetros);

$L$  = Curso do pistão (centímetros).

## 2.6 POTÊNCIA TEÓRICA

É a potência estimada com base em propriedades físicas e consumo de combustível. Essa potência considera que toda energia térmica proveniente da combustão é convertida em energia mecânica (BRUNETTI, 2012).

$$P_t = p_c \times q \times d \quad (3)$$

Onde:

$p_c$  = Poder calorífico do combustível (quilocalorias por quilogramas);

$q$  = Consumo de combustível (litros por hora);

$d$  = Densidade do combustível (quilogramas por litro).

## 2.7 POTÊNCIA INDICADA

É a potência desenvolvida pelo ciclo termodinâmico do fluido ativo, esta pode ser medida com um indicador de pressões, que permita traçar o ciclo do fluido ativo (BRUNETTI, 2012).

Como a potência é o trabalho por unidade de tempo, dado o trabalho, a potência pode ser obtida multiplicando-se o trabalho pela frequência com que é realizado (BRUNETTI, 2012).

$$P_i = W_i \times \frac{n}{x} \times z \quad (4)$$

Onde:

$W_i$  = Trabalho (Joules);

$n$  = rotações do motor por minuto;

$x$  = 1 ou 2, dependendo do motor ser respectivamente 2T ou 4 T;

$z$  = número de cilindros do motor.

## 2.8 POTÊNCIA DE ATRITO

É a potência utilizada para vencer o atrito entre as partes mecânicas em movimento (que efetuam o bombeamento, aspiração e descarga) e aciona órgão acessórios, como bomba de óleo, alternador, bomba de água (BRUNETTI, 2012).

$$P_a = P_i \times P_e \quad (5)$$

Onde:

$P_i$  = Potência indicada (cavalos);

$P_e$  = Potência efetiva (cavalos).

## 2.9 POTÊNCIA EFETIVA

É a potência medida no eixo do motor disponível para ser utilizada, esta potência é medida após todas as perdas no motor (BRUNETTI, 2012).

$$P_e = T \times 2 \times \pi \times n \quad (6)$$

Onde:

$T$  = Torque (Newton metros);

$n$  = Rotação do motor por minuto.

## 2.10 CONSUMO ESPECÍFICO

O consumo específico é definido como a quantidade de combustível medido em grama que um motor gasta para cada cavalo de potência produzido, durante uma hora de funcionamento. Para se obter o consumo específico de motor a uma dada a rotação, basta dividir o seu consumo horário pela quantidade de cavalo produzido em uma mesma rotação (PENIDO, 1983).

$$C_e = \frac{Ch}{P_e} \quad (7)$$

Onde:

$C_e$  = Consumo específico (quilogramas por cavalo hora)

$Ch$  = Consumo horário (quilogramas por hora)

$P_e$  = Potência efetiva (cavalos)

É viável obter o consumo específico teoricamente através da equação, em função do rendimento total do motor e do poder calorífico do combustível (PENIDO, 1983).

$$C_e = \frac{632}{PCI \times N} \quad (8)$$

Onde:

$PCI$  = Poder calorífico inferior (Quilocalorias por quilogramas);

$N$  = Rendimento total do motor (Adimensional);

Na prática o consumo específico pode ser obtido da seguinte maneira.

$$C_e = \frac{60 \times V \times \gamma \times 10^3}{t \times P_e} \quad (9)$$

Onde:

$V$  = Volume do fluviômetro (centímetros cúbicos);

$\gamma$  = Peso específico do combustível em função da temperatura (quilogramas por centímetros cúbicos);

$t$  = Tempo medido (minutos);

$P_e$  = Potência efetiva em uma dada rotação (cavalos).

Quanto mais baixo for o valor do consumo específico maior será o rendimento do motor. O consumo específico varia em função da rotação do motor, tendo geralmente um menor valor quando a rotação for de  $2/3$  a  $3/4$  da rotação máxima (PENIDO, 1983).

A figura 05 representa a curva do consumo específico em função da rotação do motor.

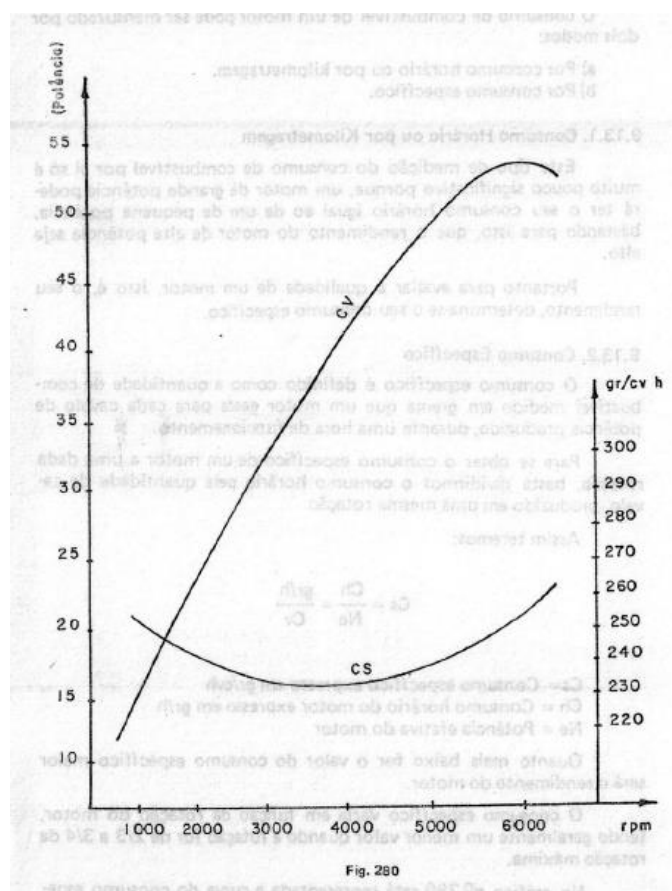


Figura 05: Curva do consumo específico em função da rotação do motor.

(Fonte: Penido, 1983)

O consumo específico pode ter fatores responsáveis pelo seu aumento em baixa e alta rotação (PENIDO, 1983):

- **Alta rotação** – Aumento da potência absorvida e temperatura da câmara;
- **Baixa rotação** – Calor dissipado e condensação da mistura nos condutos.

Outros principais fatores que também podem influenciam no consumo específico (PENIDO, 1983):

- **Rendimento total do motor** – Quanto maior o rendimento do motor, menor será o consumo específico;
- **Poder calorífico inferior do combustível** – O PCI do combustível é diretamente proporcional ao consumo específico do motor, quanto menor for o PCI menor será o consumo específico;
- **Pressão média efetiva** – Um aumento da PME acarreta uma redução no consumo específico;
- **Taxa de compressão** – A taxa de compressão é diretamente responsável pela variação do consumo específico. Aumento na taxa de compressão até o limite de detonação acarreta uma redução no consumo específico como é representado na figura 06.

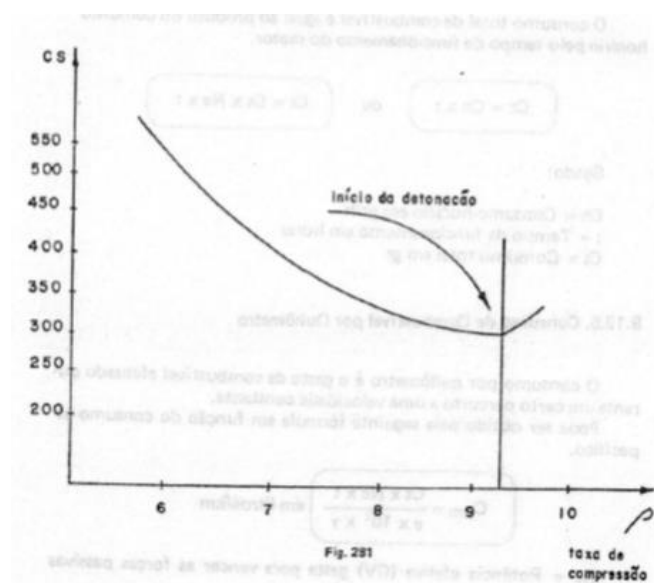


Figura 06: Taxa de compressão x consumo específico.

(Fonte: Penido, 1983)

A potência efetiva é medida no dinamômetro e o consumo de combustível é medido de diferentes maneiras, gravimétrica ou volumetricamente (BRUNETTI, 2012).

- **Medição volumétrica com frasco calibrado** – Utiliza-se um frasco de volume calibrado. Uma válvula de três vias pode ser acionada para preencher o frasco e posteriormente alimentar o motor a partir do frasco. Registra-se o tempo necessário para consumir o combustível contido no volume calibrado

$$v_c = \frac{V_c}{t} \quad (10)$$

Onde:

$V_c$ : volume de combustível (cm<sup>3</sup>);

$t$ : tempo necessário para consumir o combustível (s).

- **Medição gravimétrica** – O volume de combustível é colocado em uma balança e quando se iguala com a massa do outro lado consegue se obter o consumo de combustível, sendo necessário para essa medição conhecer a massa do combustível.

## 2.8 PODER CALORÍFICO

Brunetti (2012) traz que a quantidade de calor liberada por unidade de massa de um combustível, sendo assim, é viável classificar o poder calorífico em dois tipos, o Poder Calorífico Inferior (PCI) e o Poder Calorífico Superior (PCS). A diferença entre ambas é que no PCS todo o calor gerado na combustão se converte em trabalho, já no PCI uma parte quantificada de calor é utilizado para gerar trabalho.

Os combustíveis que contém hidrogênio produzem água, e esta pode aparecer no estado líquido ou em vapor. A diferença entre as entalpias de vapor e do líquido é significativa, pelo que se tende considerar no cálculo do poder calorífico (MARTINS, 2006).

Logo, para os cálculos do calor em motores de combustão interna, o que é de interesse é o poder calorífico inferior do combustível (BRUNETTI, 2012).

Na tabela 01 é possível verificar o poder calorífico dos principais combustíveis usados em motores Otto.

**Tabela 01 – Propriedades de alguns combustíveis (PCI). (MARTINS, 2006)**

| PROPRIEDADE                    | ETANOL      |             | GASOLINA    |           |
|--------------------------------|-------------|-------------|-------------|-----------|
|                                | Superior    | Inferior    | Superior    | Inferior  |
| <b>PC EM MASSA<br/>(MJ/Kg)</b> | <b>29,7</b> | <b>26,9</b> | <b>47,3</b> | <b>44</b> |

Fonte: Próprio autor.

## 2.9 CARACTERÍSTICAS DOS COMBUSTÍVEIS

Em meados do século XIX, houve a necessidade de um combustível para iluminação, e basicamente utilizavam querosene e gás natural, desde então se iniciou o desenvolvimento da indústria do petróleo. No fim do mesmo século o crescimento do transporte motorizado fez com que a demanda de gasolina crescesse rapidamente, consolidando a indústria do petróleo (BRUNETTI, 2012).

Com a grande demanda de consumo das reservas de petróleo e interesse na multiplicidade das fontes energéticas, criou-se um interesse generalizada no mundo ocidental, no uso de combustíveis oxigenados para o

transporte, como consequência das duas crises energéticas da década de 70 (MARTINS, 2006).

Inicialmente a gasolina era composta basicamente por destilados leves de petróleo, com o adicionamento de álcoois etílicos mostrou-se a eficaz na resistência a detonação, inibindo assim este problema. Em 1921, Midgley e Brown através de testes laboratoriais realizados na General Motors comprovaram que compostos organometálicos inibiam a detonação espontânea, tornando-se a partir daí, o principal aditivo para a gasolina (BRUNETTI, 2012).

Em 1973 e 1979 com os choques no preço do petróleo, combustíveis alternativos ganharam atenção de pesquisadores, porém, apenas no Brasil e Nova Zelândia foram adotadas medidas em grande escala que se consolidaram (BRUNETTI, 2012).

Segundo Martins (2006) na seguinte tabela há propriedades de alguns combustíveis.

**Tabela 02 – Propriedades de alguns combustíveis. (MARTINS, 2006)**

| PROPRIEDADE         | ETANOL | GASOLINA |
|---------------------|--------|----------|
| Peso líquido (Kg/l) | 0,79   | 0,72     |

Fonte: Próprio autor.

### 2.9.1 GASOLINA

A gasolina é a mistura de naftas, resultantes do processamento do petróleo. Deve ser levado em consideração as propriedades dessa mistura pois seu balanceamento influencia diretamente no desempenho do combustível empregado nas condições operacionais dos motores. Seus hidrocarbonetos

possuem de quatro a doze carbonos, a grande maioria varia entre cinco e nove carbonos (BRUNETTI, 2012).

As especificações seguem requisitos de qualidade, desempenho e ambientais. O valor agregado no combustível deve ser flexível para que possam ser vendidos a preços acessíveis, com isso, os fabricantes de motores de combustão interna devem adequar seu produto com o combustível existente no mercado (BRUNETTI, 2012).

Uma das maneiras de aumentar o número de octanas do combustível consiste na adição de combustíveis com elevado índice de octanas, tais como álcoois ou éteres (MARTINS, 2006).

As gasolinas são classificadas de suas maneiras no Brasil:

1. Gasolina A: isenta de álcool etílico anidro, sua comercialização é restrita entre refinadores e distribuidores (BRUNETTI, 2012).
2. Gasolina C: contem adição de 22% do seu volume com álcool etílico anidro, podendo esse teor ser fixado entre 18% e 25%, em função de variação na safra de cana de açúcar, sendo comercializa nos postos de abastecimento (BRUNETTI, 2012).

## 2.9.2 ETANOL

O etanol é obtido através da fermentação natural de açúcares (álcool de 1ª geração) ou pela hidrólise enzimática da celulose (álcool de 2ª geração). Infelizmente, é o único oxigenado permitido pela legislação brasileira (BRUNETTI, 2012).

Apesar de ter um baixo poder calorífico, o calor de mistura é alto, pois a pequena relação ar-combustível exige a adição de maior volume de combustível para o mesmo volume de ar (BRUNETTI, 2012).

Como são usados principalmente em misturas com as gasolinas comerciais, ocorre uma mudança na relação ar-combustível da mistura. A gasolina “A” (isenta no Brasil) recebe cerca de 22% de etanol anidro, assim tornando-se a gasolina “C”. O teor de etanol pode varias de 18 a 26%, e sua relação ar-combustível em massa fica em torno de 13,3 kg de ar para 1 kg de combustível (BRUNETTI, 2012).

Em comparação aos hidrocarbonetos, os oxigenados possuem uma banca de inflamabilidade muito maior, melhorando a dispersão cíclica da combustão nos motores (BRUNETTI, 2012).

O alto calor de vaporização permite um maior enchimento dos motores, ou seja, durante a dinâmica de vaporização das gotículas no ciclo de admissão do motor, mais calor é retirado do ar. Este esfria mais, aumenta sua massa específica (diminui o volume) e assim a maior massa de ar e combustível conseguem entrar na câmara de combustão, conseqüentemente gerando mais energia (BRUNETTI, 2012).

### 2.9.3 MISTURA DOS COMBUSTÍVEIS

A grande maioria dos motores de combustão interna no mundo utiliza derivados de petróleo como combustível. Além do petróleo, vários países estão utilizando a adição de biocombustíveis a esses derivados, e, em alguns casos, até a opção de se utilizar biocombustíveis puros, tais como o Brasil, com o álcool etílico hidratado (BRUNETTI, 2012).

O álcool no Brasil era considerado um subproduto da cana-de-açúcar, com o plano pro álcool que se além de melhorar as emissões de monóxido de carbono no ambiente ajudou a economia brasileira (BERTELLI, 2005).

Na época de 1920, surgiram no mundo os primeiros usos de éteres como aditivos aumentadores de octanagem. Nessa época, já existiam no Brasil veículos movidos a combustíveis composto de 75% de álcool e 25% éter (BRUNETTI, 2012).

Em 1930, quase todos os países industrializados tiveram algum tipo de incentivo fiscal ou programa de mistura obrigatória de etanol. O Brasil não era o único. A ideia era criar um sistema de combustível de emergência, bem como para apoiar os agricultores, e reduzir as importações de petróleo e derivados (BRUNETTI, 2012).

De acordo com Brunetti (2012), no Brasil desde 1935 se utiliza adição de álcool etílico na gasolina mas com teores de aproximadamente 5%, esse teor foi aumentado a parti de 1980 em que a adição era de 20% a 22%, nos dias atuais esta variando de 20% a 25%, decorrente a produção de álcool no país.

#### 2.9.4 OCTANAGEM

A octanagem é a grandeza que representa a resistência da mistura do combustível com o ar a autoignição, responsável pela detonação do combustível (BRUNETTI, 2012).

De acordo com Brunetti (2012), a resistência a autoignição dos hidrocarbonetos individuais tem uma grande variação, dependendo da sua estrutura e tamanho, e as condições em que o motor está operando. Para os álcoois compostos por aromáticos e hidrocarbonetos leves na pressão atmosférica, fica na faixa de 500°C e 600°C. Para compostos olefínicos e parafínicos não ramificados de cadeia longa, o valor cai bastante, para a ordem de 200°C a 250°C. E com o aumento de pressão a temperatura de autoignição tende a diminuir.

De uma maneira geral, os hidrocarbonetos que possuem alta temperatura de autoignição resistem a mais detonação (BRUNETTI, 2012).

Para melhorar o índice de octanas da gasolina, são adicionados aditivos antidetonantes. Muito utilizado antigamente, o chumbo tetraetila é um antidetonante poderoso, mas devido ao prejuízo ambiental causado e danos ao catalisador do escapamento, foi abolido. Atualmente tem-se utilizado o álcool como antidetonante (BRUNETTI, 2012).

A utilização de álcool etílico anidro foi a principal opção para a eliminação do chumbo tetra-etila no Brasil. A mistura do álcool na gasolina se dá usualmente na proporção de 20% a 30% de volume. Para cada 10% de álcool adicionada à gasolina tem-se um incremento de 1 octana na mistura final (BRUNETTI, 2012).

#### 2.10 DINAMÔMETRO

Testar motores é um procedimento que tem de ser efetuado inúmeras vezes. Todos os motores fabricados têm de ser testados, mas antes de chegar à fabricação os protótipos foram sujeitos a vários testes. Os atuais sistemas digitais de injeção obrigam a estabelecer mapas de injeção no banco de ensaio, ou seja, todas as possíveis condições de funcionamento têm de ser

convenientemente testadas e gravadas na memória de seu controlados (MARTINS, 2006).

O nível exigido por legislação por emissão de poluentes, por exemplo, obriga que as condições de funcionamento do motor durante toda a sua vida sejam desprovidas de problemas. Obviamente que para se chegar a este nível de confiança foi necessário testar inúmeros motores (praticamente até sua destruição), de modo a isolar e resolver potenciais problemas (MARTINS, 2006).

Existem dois tipos de dinamômetros usados para medir as características dos motores, os freios dinamométricos e os dinamômetros de inercia. Os primeiros medem o binário e potência dos motores “travando-os” a uma dada velocidade (com um binário de travagem). Este tipo é mais utilizado para medições mais “científicas” enquanto que o uso do inercial se tem vindo a intensificar para utilizações mais “técnicas”, tais como pequenas transformações de motores (MARTINS, 2006).

De acordo com Brunetti (2012), os dinamômetros que mais se tem aplicação na prática são os hidráulicos e elétricos, visto que o princípio de funcionamento deles é o mesmo, mas o tipo de frenagem os diferencia. Nos hidráulicos normalmente utiliza-se o atrito cisalhante da água contra a carcaça e nos elétricos utiliza-se esforços gerados por campos elétricos ou magnéticos.

Os dinamômetros hidráulicos são constituídos de uma carcaça metálica estanque apoiada em dois mancais coaxiais com os mancais do eixo. Isso permite que a carcaça fique livre para oscilar em torno de seu eixo, sendo equilibrada pelo braço que se apoia na balança ou célula de carga. Um rotor provido de uma série de conchas em ambas as suas faces laterais essa montado no seu eixo. Na face interna da carcaça há uma série de conchas iguais e montadas em oposição as do rotor. As conchas do rotor estão viradas para o sentido da rotação e as da carcaça no sentido oposto. A imagem 07 ilustra um dinamômetro hidráulico (BRUNETTI, 2012).

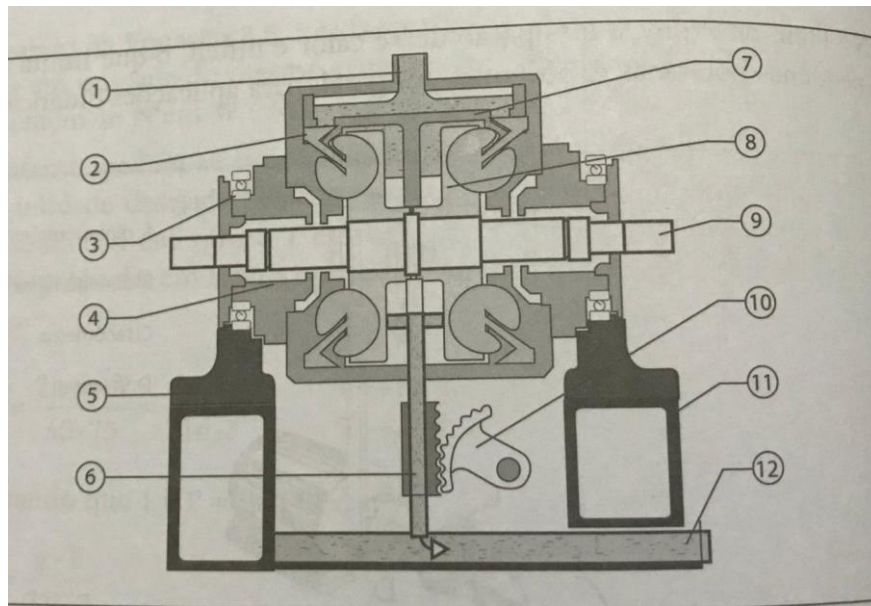


Figura 07: Dinamômetro hidráulico.

(Fonte: Penido, 1983)

Onde:

- 1: Entrada de água;
- 2: Duto de alimentação;
- 3: Mancal de balanço;
- 4: Mancal do rotor;
- 5: Suporte de montagem;
- 6: Saída de água;
- 7: Estator;
- 8: Rotor;
- 9: Eixo principal;
- 10: Engrenagem de ajuste da abertura da válvula de água;
- 11: Base;
- 12: Descarga de água.

Dinamômetros elétricos de correntes parasitas tem o rotor em forma de uma grande engrenagem feita de material de alta permeabilidade magnética. O mesmo material é usado na fabricação dos dois anéis solidários com o estator e separados por um pequeno espaço livre do motor. No centro do estator existe uma bobina que é alimentada por corrente contínua. Quando energizada, a

bobina gera um campo magnético que é concentrado nos “dentes do rotor”. Quando o rotor se move, gera correntes parasitas nos anéis que, portanto, se aquecem (BRUNETTI, 2012).

O calor gerado é absorvido pelo estator e removido deste pela água utilizada como fluido resfriamento. Esse dinamômetro é simples e regulado pela intensidade da corrente que passa pela bobina. Isso permite a construção de dinamômetros de grande porte (BRUNETTI, 2012).

Já os dinamômetros mistos ou de correia alternada são indicados para trabalhos de pesquisa, já que, além de extremamente sensíveis, podem assumir configuração ativa, acionando o motor (sem a ocorrência de combustão) para estimar suas resistências passivas que geram a denominada potência de atrito (BRUNETTI, 2012).

Esse dinamômetro é uma máquina elétrica de corrente alternada que pode funcionar como motor ou como gerador. O campo desse dinamômetro é de excitação independente e, portanto, variando a alimentação entre campo e rotor, consegue-se ampla variação de velocidade e de potências absorvidas (BRUNETTI, 2012).

### 3. METODOLOGIA

Trata-se de uma pesquisa de revisão de bibliografia com base nos principais autores referentes ao assunto por meio de consulta em livros, artigos, e sites confiáveis. Os descritores desta pesquisa são: Consumo específico, ciclo Otto, motores de combustão interna, Eficiência. E por meio de acessos no google em blogs e repositórios de universidades como USP, UNFPR, UNICAMP, ITA. Sendo assim, foram selecionando conteúdos que apresentam confiabilidade.

Para que os estudos possam ser realizados, algumas características do motor devem ser consideradas, conforme tabela 03 segundo autor GENERAL MOTORS®.

**Tabela 03 – Motor de testes.**

| <b>Características do motor</b> |                                           |
|---------------------------------|-------------------------------------------|
| <b>FABRICANTE</b>               | <b>GENERAL MOTORS®</b>                    |
| <b>MODELO</b>                   | <b>VHC 1.0</b>                            |
| <b>DIAMETRO X CURSO</b>         | <b>71,1 X 62,9 mm</b>                     |
| <b>POTÊNCIA MÁXIMA</b>          | <b>70 CV</b>                              |
| <b>TORQUE MÁXIMO</b>            | <b>3.000 rpm</b>                          |
| <b>CILINDRADA</b>               | <b>999 cm<sup>3</sup></b>                 |
| <b>FILTRO DE AR</b>             | <b>Esportivo/não original</b>             |
| <b>COMBUSTÍVEL</b>              | <b>Gasolina/etanol</b>                    |
| <b>SISTEMA DE ALIMENTAÇÃO</b>   | <b>Injeção multiponto semi-sequencial</b> |

Fonte: Próprio autor.

### 3.1 CÁLCULO DO CONSUMO ESPECÍFICO

Para que os cálculos de consumo específicos sejam realizados será utilizada a equação número 7. Além dos dados obtidos através da tabela 04 com base na velocidade de estrada.

**Tabela 04 – Consumo de combustível motor VHC 1.0. (INMETRO, 2010)**

| PROPRIEDADE    | ETANOL | GASOLINA |
|----------------|--------|----------|
| Consumo (Km/l) | 12,00  | 18,00    |

Fonte: Próprio autor.

A figura 08 mostra um gráfico de potência em relação a uma dada rotação. Este teste foi realizado no Centro Universitário Fundação Assis Gurgacz.

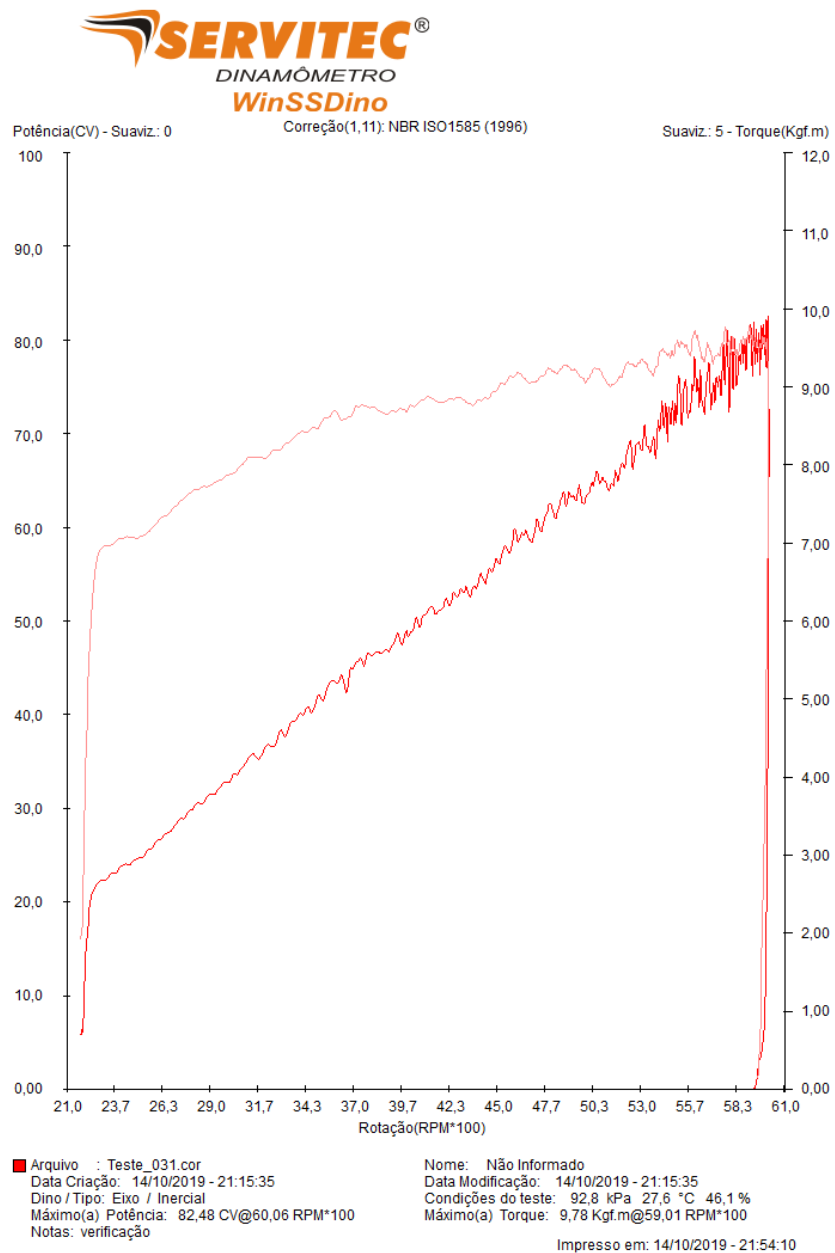


Figura 08: Teste dinamômetro motor VHC 1.0.

(Fonte: Próprio autor)

### 3.1.1 GASOLINA COMUM

A gasolina comum possui um poder calorífico superior que o etanol, de acordo com Martins (2006) o poder calorífico inferior da gasolina é de 44 MJ/Kg.

Considerando o peso específico da gasolina de acordo com a tabela 02, temos 0,72 kg/l e com o motor a uma rotação de 3000 rpm esta rotação é considerada econômica, como representado na figura 08 desenvolvendo uma potência de aproximadamente 32 cv.

O consumo na estrada é de 18 km/l, tabela 04, então para andar 100 km o consumo foi de:

$$C = \frac{100 \text{ km}}{18 \text{ km/l}}$$

$$C = 5,55 \text{ l} = 5.555,5 \text{ cm}^3$$

Para percorrer 100 km levou uma hora, ou seja, 60 minutos. Considerando a gasolina a 15°C, utiliza-se a densidade de 0,72 kg/l de acordo com tabela 02.

Pode-se calcular o consumo específico com a utilização da gasolina equação 09.

$$C_e = \frac{60 \times V \times \gamma \times 10^3}{t \times P_e}$$

$$C_e = \frac{60 \times 5.555,5 \text{ cm}^3 \times 0,72 \times 10^{-3} \text{ kg/cm}^3 \times 10^3}{60 \text{ min} \times 32 \text{ cv}}$$

$$C_e = 133,33 \frac{\text{g}}{\text{cv h}}$$

### 3.1.2 ETANOL

Considerando o peso específico do etanol de acordo com a tabela 02, temos 0,79 kg/l e com o motor a uma rotação de 3000 rpm esta rotação é considerada econômica, como representado na figura 08 desenvolvendo uma potência de aproximadamente 32 cv.

O consumo na estrada é de 12 km/l, tabela 04, então para andar 100 km o consumo foi de:

$$C = \frac{100 \text{ km}}{12 \text{ km/l}}$$

$$C = 8,33 \text{ l} = 8.333,33 \text{ cm}^3$$

Para percorrer 100 km levou uma hora, ou seja, 60 minutos. Considerando o etanol a 15°C, utiliza-se da densidade de 0,79 kg/l de acordo com tabela 02.

Desse modo, é possível calcular o consumo específico com a utilização do etanol equação 09.

$$C_e = \frac{60 \times V \times \gamma \times 10^3}{t \times P_e}$$

$$C_e = \frac{60 \times 8.333,33 \text{ cm}^3 \times 0,79 \times 10^{-3} \text{ kg/cm}^3 \times 10^3}{60 \text{ min} \times 32 \text{ cv}}$$

$$C_e = 205,73 \frac{\text{g}}{\text{cv h}}$$

#### 4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Como o objetivo deste trabalho é demonstrar a variação do consumo específico de acordo com o combustível utilizado, pode se concluir que houve a variação da quantidade consumida de combustível, mantendo a mesma potência efetiva do motor.

Para a gasolina o consumo específico foi de:

$$C_e = 133,33 \frac{g}{cv \ h}$$

Já para o etanol o consumo específico foi de:

$$C_e = 205,73 \frac{g}{cv \ h}$$

#### 5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

No decorrer da pesquisa é possível notar de acordo com os cálculos realizados a diferença do consumo específico entre a gasolina e etanol. Isso se dá através da diferença do poder calorífico dos combustíveis que tem influência direta, ou seja, quanto maior o poder calorífico menor será o consumo de combustível para uma mesma potência do motor a uma determinada rotação.

Observa-se que quanto maior a utilização de etanol menor é a emissão nociva de poluentes. Além disso, também se verifica que a melhor proporção de álcool nas misturas de combustível produz melhorias no desempenho e eficiência energética nos veículos, sendo esses resultados atribuídos às diferenças de propriedades do álcool em relação à gasolina. Como maior índice antidetonante. Porém, houve também aumento do consumo de combustível conforme visualizado no gráfico e em tabelas fornecidas.

## **6. SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS**

Comprovar em testes de laboratório os valores de consumo específico calculados no trabalho.

Verificar os resultados de consumo específico com quantidades diferentes de adição de etanol na mistura gasolina e etanol, através de testes em laboratório.

## REFERÊNCIAS

BRUNETTI, Franco. **Motores de combustão interna**. 1ª edição, São Paulo: Edgar Blucher, 2012.

GIBI, Rodrigo. **Motores a pistão**. Disponível em:<<https://abekwar.wordpress.com/2013/04/09/motores-a-pistao/>>. Acesso em: 29 de outubro de 2019.

INMETRO. **Motor 1.0 flex vhc**. Disponível em:<[http://www.inmetro.gov.br/consumidor/pbe/veiculos\\_leves.pdf](http://www.inmetro.gov.br/consumidor/pbe/veiculos_leves.pdf)>. Acesso em 29/05/2020

MARTINS, Jorge. **Motores de combustão interna**. 2ª edição, São Paulo: Publindústria, 2006.

PENIDO, Paulo Filho. **Os motores a combustão interna**. 1ª edição, Belo Horizonte: Lemi, 1983.

SISTEMA SINDPECAS. **Relatório da frota circulante**. Disponível em:<[https://www.sindipecas.org.br/sindinews/Economia/2019/RelatorioFrotaCirculante\\_Maio\\_2019.pdf](https://www.sindipecas.org.br/sindinews/Economia/2019/RelatorioFrotaCirculante_Maio_2019.pdf)>. Acesso em 25 de outubro de 2019.

TILLMANN, Carlos Antônio da Costa. **Motores de combustão interna e seus sistemas**. Disponível em:<[http://estudio01.proj.ufsm.br/cadernos/ifsul/tecnico\\_biocombustivel/motore\\_s\\_combustao\\_interna\\_e\\_seus\\_sistemas.pdf](http://estudio01.proj.ufsm.br/cadernos/ifsul/tecnico_biocombustivel/motore_s_combustao_interna_e_seus_sistemas.pdf)>. Acesso em: 30 de outubro de 2019.