

CENTRO UNIVERSITÁRIO ASSIS GURGACZ

WILLIAM MATHEUS DA SILVA

**ANÁLISE DA INFLUÊNCIA DAS DIMENSÕES DA TUBULAÇÃO DE ADMISSÃO
NA POTÊNCIA DE UM MOTOR DE COMBUSTÃO INTERNA**

CASCABEL

2019

CENTRO UNIVERSITÁRIO ASSIS GURGACZ

WILLIAM MATHEUS DA SILVA

**ANÁLISE DA INFLUÊNCIA DAS DIMENSÕES DA TUBULAÇÃO DE ADMISSÃO
NA POTÊNCIA DE UM MOTOR DE COMBUSTÃO INTERNA**

Trabalho apresentado na disciplina e 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 Orientador: Mestre Engenheiro Mecânico
Carlos Alberto Breda

CASCADEL

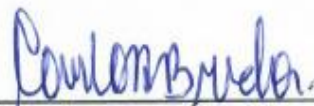
2019

**CENTRO UNIVERSITÁRIO ASSIS GURGACZ
WILLIAM MATHEUS DA SILVA**

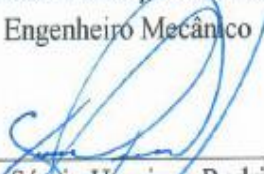
**ANÁLISE DA INFLUÊNCIA DAS DIMENSÕES DA TUBULAÇÃO DE ADMISSÃO
NA POTÊNCIA DE UM MOTOR DE COMBUSTÃO INTERNA**

Trabalho apresentado à disciplina de Trabalho de Conclusão de Curso como requisito parcial para obtenção de aprovação semestral no Curso de Engenharia Mecânica do Centro Universitário Assis Gurgacz, sob orientação do Professor Carlos Alberto Breda.

BANCA EXAMINADORA



Orientador Me. Carlos Alberto Breda
Centro Universitário Fundação Assis Gurgacz – FAG
Engenheiro Mecânico



Prof. MSc. MBA Sérgio Henrique Rodrigues Mota
Centro Universitário Fundação Assis Gurgacz – FAG
Engenheiro Mecânico



Prof. Me. Eliseu Avelino Zanella Junior
Centro Universitário Fundação Assis Gurgacz – FAG
Engenheiro Mecânico

Cascavel, 27 de Junho de 2019.

DEDICATÓRIA

Dedico este trabalho a Deus que me guiou com sua mão poderosa até a finalização desse projeto, aos meus pais Lucimar e Rosiane que fizeram o possível e o impossível para que eu chegasse até este momento, e ao Mestre Carlos Alberto Breda, que não mediu esforços para a orientação deste trabalho, sempre com empenho e compreensão.

AGRADECIMENTOS

A Deus pai, que esteve sempre ao meu lado servindo de refúgio nas horas mais difíceis.

A minha família, pelo amor, carinho, compreensão, pela dedicação e, especialmente, por estar ao meu lado, dando-me forças para concluir este trabalho.

Agradeço ao Centro Universitário Assis Gurgacz que disponibilizou os materiais para a conclusão deste trabalho, e a todos os mestres do curso de Engenharia Mecânica que compartilharam seus conhecimentos em sala de aula e acompanharam minha jornada enquanto universitário.

Ao professor orientador Carlos Alberto Breda, especialmente, pela cooperação e pelo tempo dedicado para as orientações e pelos ensinamentos repassados durante a graduação.

“ Que os vossos esforços desafiem as impossibilidades,
lembrai-vos de que as grandes coisas do homem foram
conquistadas do que parecia impossível. ”

Charles Chaplin

RESUMO

No presente trabalho de conclusão do curso vai ser apresentado para a banca avaliadora do Centro Universitário Assis Gurgacz, o tema análise da influência das dimensões da tubulação de admissão na potência de um motor de combustão interna. Este trabalho apresenta possíveis resultados de desempenho de um motor de combustão interna de ciclo otto VHC de quatro tempos, quatro cilindros em linha, oito válvulas, 1.0 L e 1000 centímetros cúbicos de cilindrada que será instalado na instituição, juntamente com um dinamômetro de bancada. Foi pesquisada a influência do comprimento do conduto de admissão no torque e na potência, e comparado com o conduto original. As coletas desses dados foram obtidas em testes experimentais, através do dinamômetro de bancada acoplado ao motor. No final dos testes, os resultados adquiridos mostram a influência dos condutos, assim apresentando valores inferiores ou superiores para o desempenho do motor, diversificando a velocidade de rotação da árvore de manivelas.

Palavras-chave: Motor de combustão interna, tubulação de admissão, eficiência.

ABSTRACT

In this present work will be presented to the examination board of the Assis Gurgacz University Center, the object of analysis of the influence of the dimensions of the intake pipe on the power of an internal combustion engine. This works presents possible performance results of an internal four-stroke, four-cylinder, eight-valve, 1.0-L and 1000-cc-displacement HCV cycle internal combustion engine to be installed at the institution along with a bench dynamometer. The influence of the length of the intake conduit on torque and power was investigated and compared with the original conduit. The data collection was obtained in experimental tests, through the bench dynamometer coupled to the motor. At the end of the tests, the acquired results show the influence of the conduits, thus presenting lower or higher values for the engine performance, diversifying the speed of rotation of the crankshaft.

Keywords: Internal combustion engine, intake pipe, efficiency.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Fluxos de massa e energia em um MCI.....	20
Figura 2: Componentes fundamentais de um motor de combustão interna	21
Figura 3: Bloco do motor	23
Figura 4: Cabeçote (motor 4cilindros)	23
Figura 5: Cáster e junta de vedação.....	24
Figura 6: Eixos, tuchos e válvulas.....	24
Figura 7: Os quatro tempos do motor alternativo	25
Figura 8: Tempos do motor em cada cilindro por ângulo do virabrequim	26
Figura 9: Formas construtivas dos motores de combustão interna	27
Figura 10: Estrutura dos motores de ignição por centelha	28
Figura 11: Curvas características dos motores ou veículos automotivos.....	29
Figura 12: Forças aplicadas ao pistão.....	30
Figura 13: Esquema do princípio de operação do dinamômetro.....	31
Figura 14: Efeito do comprimento dos dutos primários na eficiência volumétrica	34
Figura 15: Exemplo, sistema de admissão	37
Figura 16: Energia perdida entre o MCI e as rodas de tração do veículo	43
Figura 17: Curva genérica de eficiência volumétrica.....	43
Figura 18: Motor VHC 1.0 L utilizado nos testes no dinamômetro.....	48
Figura 19: Dinamômetro de bancada modelo 2030	50
Figura 20: Quadrantes de operação dos dinamômetros	51
Figura 21: Motor acoplado ao dinamômetro.....	52
Figura 22: Sistema de Controle do Dinamômetro.....	52
Figura 23: Testes realizados utilizando-se conduto original.....	56
Figura 24: Testes realizados utilizando-se o conduto maior	58

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Especificações do Motor Utilizado nos Testes.....	49
--	----

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1: Comparativo de Potência variando o comprimento do conduto de admissão 55

Gráfico 2: Comparativo de Torque variando o comprimento do conduto de admissão..... 57

LISTA DE EQUAÇÕES

Equação 1: Torque	31
Equação 2: Potência no eixo	32
Equação 3: Velocidade angular.....	32
Equação 4: Potência no eixo final	32
Equação 5: Pressão média efetiva	32
Equação 6: Número de Reynolds	35
Equação 7: Perdas por atrito em dutos (escoamento laminar)	35
Equação 8: Perdas por atrito em dutos (regime turbulento).....	35
Equação 9: Perdas por atrito em dutos ($Re < 10^5$)	35
Equação 10: Coeficiente de perda da carga	36
Equação 11: Eficiência.....	38
Equação 12: Eficiência da combustão.....	38
Equação 13: Eficiência térmica	39
Equação 14: Potência bruta indicada	40
Equação 15: Eficiência mecânica do motor	40
Equação 16: Calor fornecido.....	41
Equação 17: Potência indicada.....	42
Equação 18: Eficiência térmica final	42
Equação 19: Eficiência volumétrica.....	44
Equação 20: Massa específica do ar admitido	45
Equação 21: Consumo específico	45
Equação 22: Consumo específico utilizando o poder calorífico interior do combustível.....	45
Equação 23: Consumo específico do combustível.....	46
Equação 24: Relação consumo específico do combustível/eficiência térmica	46

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABNT: Associação Brasileira de Normas Técnicas;

Ce: Consumo Específico;

CV: Cavalo Vapor;

°C: Graus Celsius;

D: Comprimento da Biela;

D: Diâmetro do Duto;

F: Força;

F_r: Força Resultante;

F_n: Força Normal;

F_{tan}: Força Tangencial;

HP: Horse Power;

Kg: Quilograma;

kcal/kg: Quilocaloria por quilograma;

kJ/kg: quilojoule por quilograma;

KPA: Quilopascal;

kW: Quilowatt;

m³: metro cúbico;

MCI: Motor de Combustão Interna;

N_a: Potência de Atrito;

N_{bi}: Potência Bruta Indicada;

N_e: Potência Efetiva;

N_i: Potência Indicada;

N.m: Newton metro;

PCI: Poder Calorífico Inferior;

PCS: Poder Calorífico Superior;

PME: Pressão Média Efetiva;

PMI: Ponto Morto Inferior;

PMS: Ponto Morto Superior;

Re: Reynolds;

RPM: Rotações por Minuto;

VA: Válvula de Admissão;

VE: Válvula de Escape;

ϵ : Rugosidade Absoluta;

α : Ângulo entre a biela e o eixo vertical;

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	17
1.1 OBJETIVOS DA PESQUISA	17
1.1.1 Objetivo Geral	17
1.1.2 Objetivos Específicos	17
1.2 JUSTIFICATIVA	18
1.3 CARACTERIZAÇÃO DO PROBLEMA	19
1.4 DELIMITAÇÃO DA PESQUISA	19
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	20
2.1 MOTOR DE COMBUSTÃO INTERNA.....	20
2.1.2 Motor de ciclo 4 tempos	25
2.1.3 Configurações dos motores	26
2.1.4 Curvas características	28
2.1.5 Parâmetros de desempenho de motores à combustão.....	29
2.1.6 Torque.....	29
2.1.7 Potência	31
2.1.8 Pressão média efetiva	32
2.2 TUBULAÇÃO DE ADMISSÃO	33
2.2.1 Perdas por atrito.....	33
2.2.2 Ajuste nos coletores de admissão	33
2.2.3 Número de Reynolds	34
2.2.4 Perdas por atrito em dutos	35
2.2.5 Perda de carga.....	36
2.3 SISTEMA DE ADMISSÃO.....	36
2.4 FUNDAMENTOS DA EFICIÊNCIA EM MOTORES DE COMBUSTÃO INTERNA..	37
2.4.1 Eficiências de motores de combustão interna.....	39
2.4.2 Eficiência mecânica do motor	40
2.4.3 Eficiência térmica	41
2.4.4 Eficiência volumétrica.....	42
2.5 CONSUMO ESPECÍFICO.....	45
3 METODOLOGIA.....	47
3.1 MATERIAIS UTILIZADOS.....	47

3.2 MÉTODOS UTILIZADOS	48
3.3 CARACTERÍSTICAS DO MOTOR DE COMBUSTÃO INTERNA	48
3.4 BANCADA DINAMOMÉTRICA	49
3.4.1 Dinamômetro	50
3.5 LEVANTAMENTO DE DADOS	53
4 RESULTADOS E DISCUSSÕES	54
4.1 UTILIZAÇÃO DOS CONDUTOS PARA AVALIAÇÃO DA POTÊNCIA	54
4.2 UTILIZAÇÃO DOS CONDUTOS PARA AVALIAÇÃO DO TORQUE.....	56
5 CONCLUSÃO.....	59
6 SUJESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS	60
7 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	61

1 INTRODUÇÃO

Motores de combustão interna são máquinas térmicas usadas há muitos anos nas mais diversas aplicações pelas vantagens que se tem em termos de tamanho, peso e capacidade de produzir trabalho de eixo. Para conhecimento das propriedades de um motor se faz necessária a utilização de instrumentos de medição a fim de quantificar os parâmetros deste, por exemplo, o torque e a potência que são entregues no eixo de saída.

A geometria do conduto de admissão está relacionada com a energia cinética do fluido, que por sua vez, possui uma influência no rendimento volumétrico do motor. A energia cinética da massa de ar que entra no cilindro possui uma correlação com o comprimento e a área da seção transversal do conduto. Para velocidades mais baixas de rotação do motor, o conduto que adota um maior comprimento, proporciona um maior grau de enchimento do motor. O mesmo efeito ocorre quando é adotado um conduto de área de seção transversal menor, produzindo um efeito inercial mais forte.

A eficiência dos motores de combustão interna depende diretamente do aproveitamento dos fenômenos inerciais e transientes que ocorrem no sistema de admissão e exaustão do motor. Estes sistemas possuem dimensionamento e configurações geométricas diferenciadas, com a finalidade de atender os objetivos do projeto, tais como a curva de potência, curva de torque e curva do consumo específico de combustível desejada.

Diante disso, a principal motivação deste trabalho é investigar a influência do comprimento do conduto de admissão na potência e no torque de um motor de combustão interna de ciclo Otto.

1.1 OBJETIVOS DA PESQUISA

1.1.1 Objetivo Geral

Investigar os efeitos do conduto de admissão sobre a performance do motor em estudo, variando o comprimento.

1.1.2 Objetivos Específicos

Para realizar o trabalho e alcançar seus objetivos serão necessários:

- Estudar o funcionamento do motor de combustão interna através de um dinamômetro de bancada.
- Verificar a influência do diâmetro do conduto e seu comprimento em rotações e potências produzidas;
- Avaliar os resultados obtidos experimentalmente com cada uma das tubulações de admissão, original e com o aumento do comprimento.

1.2 JUSTIFICATIVA

Pode-se dizer que o motor de combustão interna teve início com a invenção das armas de fogo, contudo a energia térmica da explosão transformava-se em trabalho (deslocação do projétil). Porém, as primeiras tentativas em realizar trabalho útil através de um combustível, foi na segunda metade do século dezessete, usando a explosão de pólvora para elevar um pistão dentro de um cilindro. O motor de combustão interna à pistão, foi inventado no século dezenove e foi das invenções que mais gerou impacto na sociedade e no nível de vida das populações. Atualmente, embora já ultrapassado por outras tecnologias ao nível da aviação (turbinas), dentre outros, continua sem concorrência no campo do transporte rodoviário. Estes motores vêm sendo aperfeiçoados constantemente na tentativa de se obter maiores rendimentos e menor consumo de combustível (MARTINS, 2006).

Depois da máquina a vapor o motor de combustão interna foi à invenção que mais marcou o desenvolvimento tecnológico da sociedade moderna. As principais vantagens do motor de combustão interna, quando comparado à máquina a vapor são: tamanho e peso reduzidos, elevado rendimento e um combustível fácil de transportar, diferente das máquinas a vapor que necessitavam transportar tanto o combustível quanto a água. Foram estas características do motor de combustão interna que proporcionaram as condições para o aperfeiçoamento dos meios de transporte, assim como, do desenvolvimento de outros dispositivos e máquinas.

O primeiro motor com ciclo quatro tempos foi construído por August Otto e Eugen Langen na Alemanha em 1876. Como resultado, o motor de quatro tempos é geralmente chamado de motor ciclo Otto. O primeiro motor a gasolina que realmente foi um sucesso e que funcionava no ciclo quatro tempos foi construído em 1865 na Alemanha por Gottlieb Daimler, que se associou com Otto e Langen (NHAMBIU, 2011).

O motor de combustão interna é muito presente no cotidiano das pessoas, é de extrema importância sua utilização para a evolução da sociedade, pois grande parte utiliza um meio de

locomoção que é dependente de um motor de combustão interna, também é aproveitado por inúmeras utilizações, das quais, sem dúvida, a mais importante é ser fonte de potência para locomoção de veículos. Neste campo, o motor de combustão interna usa-se em automóveis, motos, caminhões, locomotivas, navios, aviões, além de ter utilizações em outros campos tais como a produção de eletricidade (larga e pequena escala) e outras menores utilizações (bombear água, produzir ar comprimido, mover máquinas, cortar árvores, etc). Embora seja reconhecido que o motor de combustão interna seja dos maiores responsáveis pela poluição atmosférica e pela diminuição das reservas de petróleo bruto, o seu uso continua a intensificar-se, principalmente nos transportes. O grande desenvolvimento e uso dos aviões na primeira guerra mundial, contribuíram bastante para o aprimoramento dos motores de combustão interna. Apesar das novas inovações e tecnologias que foram aperfeiçoando cada vez mais os automóveis, embarcações, ônibus, caminhões, máquinas de trabalho rural, assim como na indústria em geral e até mesmo na aviação, ainda é utilizado o mesmo princípio de funcionamento, em motores de combustão interna, de cento e cinquenta anos atrás.

Para o meio acadêmico, este trabalho contribui de certa forma com um novo olhar para este tema e assunto, podendo assim despertar novos interesses para futuros acadêmicos que desejam fazer um estudo mais aprofundado diante desse assunto.

1.3 CARACTERIZAÇÃO DO PROBLEMA

Como a instalação através de tubulações de admissões podem influenciar na eficiência ou desempenho em um motor de combustão interna ciclo Otto?

1.4 DELIMITAÇÃO DA PESQUISA

O presente estudo foi praticado no Centro Universitário Assis Gurgacz, na cidade de Cascavel, localizado ao oeste do estado do Paraná e foi voltado à análise da influência das dimensões da tubulação de admissão na potência de um motor de combustão interna. Para tal, foram realizadas coletas de dados através de um dinamômetro de bancada, sendo armazenados na instituição. Com base nestes dados foram investigados a influência dos condutos de admissão relacionados a performance do motor utilizado. Após a verificação é possível realizar conclusões sobre o efeito que o conduto de admissão tem, trabalhando em determinadas velocidades de rotações.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Neste capítulo apresenta-se uma breve introdução sobre os assuntos favoráveis ao estudo em questão trazendo algumas definições relevantes para o entendimento do leitor sobre a metodologia utilizada.

2.1 MOTOR DE COMBUSTÃO INTERNA

Os motores de combustão interna (MCI) são máquinas intensamente usadas no mundo sendo simultaneamente uma fonte de satisfação, mas também de problemas como os ambientais. Os motores de combustão interna podem ser classificados das seguintes maneiras, sendo de combustão interna, máquinas térmicas, volumétricos e alternativos (MARTINS, 2006).

Apesar da crescente preocupação com relação às emissões de poluentes e com a diminuição das reservas de petróleo, para os próximos trinta anos ainda não se espera que qualquer outra forma de energia substitua, de maneira econômica e viável, o combustível fóssil (KUTLAR, ARSLAN E CALIK, 2005).

Atualmente os motores de combustão interna produzem aproximadamente 85% da energia consumida no planeta. Sendo assim, diversas pesquisas são realizadas a fim de se aumentar a eficiência dos motores de combustão na tentativa de reduzir o consumo de combustível e as emissões de poluentes (CORONADO, 2009).

Os motores de combustão interna são máquinas que geram energia mecânica a partir da queima de porções da mistura combustível/ar e da consequente expansão dos gases que ocorre em função da elevação da pressão no interior da câmara de combustão, transformando assim a energia térmica (calor) em trabalho mecânico conforme **Figura 1**.

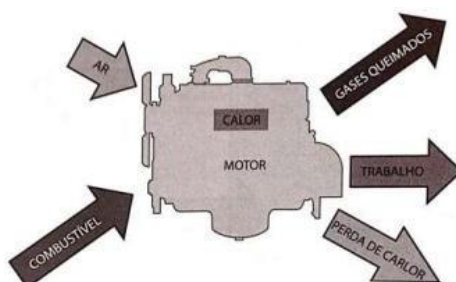


Figura 1: Fluxos de massa e energia em um MCI.

O MCI é uma máquina que absorve ou admite o ar da atmosfera, o combustível do tanque une estes dois elementos formando a mistura proporcional de ar mais combustível o mais ideal possível e comprime a mesma em um local denominado câmara de combustão.

O motor é constituído por cilindros, dentro dos quais deslizam ligados à uma manivela (veio motor, aqui denominado cambota) pelas bielas. Se fizermos rodar a cambota, os pistões sobem e descem nos diversos cilindros, inversamente, o pistão submetido à elevadas pressões, faz rodar a cambota. O funcionamento de um motor de combustão interna é realizado pela queima de um combustível dentro de um cilindro, composto de válvulas para troca gasosa, isto é, admissão da mistura ar combustível e exaustão dos gases queimados. A queima dos gases resultará no aumento da pressão, movimentando assim o pistão que está ligado a um sistema biela manivela, que por sua vez gera torque. (MARTINS, 2006).

Os componentes fundamentais de um motor de combustão interna ciclo Otto estão ilustrados na **Figura 2**.

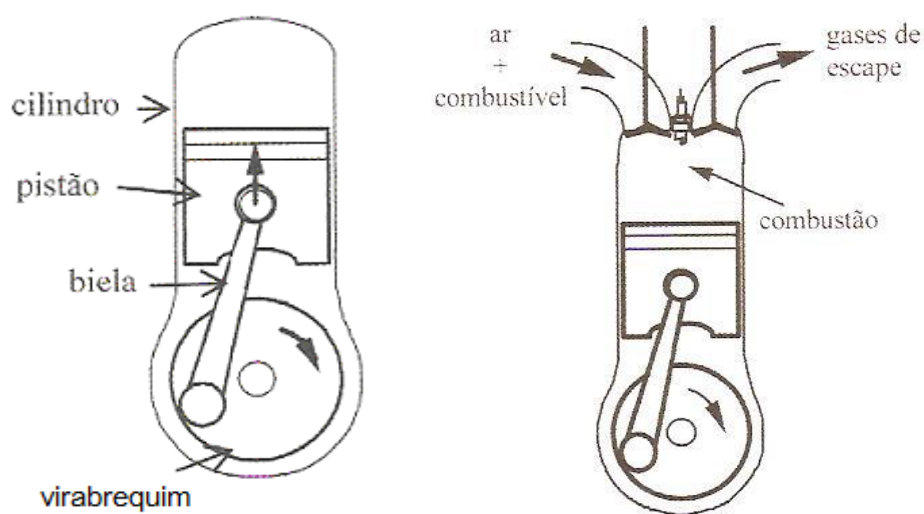


Figura 2: Componentes fundamentais de um motor de combustão interna.

(Fonte: MARTINS, 2013)

O virabrequim é uma peça como aquelas usadas nas máquinas a vapor apoiado em mancais que é praticamente universal para todos os motores de combustão interna. Um volante é montado com o mesmo centro do virabrequim, para equilibrar a energia recebida do ciclo termodinâmico e distribuir como energia mecânica.

O cilindro consiste de um tubo cilíndrico no qual os pistões deslizam de um ponto morto interno até um ponto morto externo, sendo este percurso denominado de curso do

pistão. Na parte superior do cilindro existe um espaço onde a ignição e combustão da mistura ar mais combustível tem lugar. Na prática é necessário partir de uma câmara com geometria hemisférica ideal a fim de acomodar as válvulas, de admissão e de escape, assim como a vela de ignição ou o bico injetor, no caso utilizando-se em motores mais modernos.

O pistão na sua forma usual nos motores de combustão interna tem semelhança à um copo invertido, usinado com tolerâncias estreitas a fim de se acomodar no cilindro. A pressão dos gases é retida por anéis de pistão que se encaixam convenientemente nas ranhuras do pistão. A pressão dos gases é transmitida para a parte superior da biela através do pino do pistão, com o furo menor a biela fica livre para se movimentar.

A biela transmite a carga do pistão para o eixo de virabrequim, fazendo com que este gire, assim convertendo o movimento alternativo do pistão em movimento rotativo do eixo. O furo maior da biela gira em torno do munhão do virabrequim.

O virabrequim na maioria de uso é conformado a partir de um forjamento ou fundido. Este eixo gira apoiado em dois ou mais mancais dependendo do número e arranjo dos cilindros montados na estrutura principal ou bloco de cilindros. O volante fixado na extremidade do virabrequim é uma massa cilíndrica rotativa, o mesmo absorve as variações de impulso transmitidas ao eixo pelos gases e forças de inércia, também guia os pistões durante os pontos mortos e cursos sem energia. Em motores veiculares o volante normalmente forma um conjunto que faz parte da embreagem através da energia, na qual é transmitida para as rodas do veículo.

Segundo Mialhe (1980), os principais componentes ou partes fundamentais, são responsáveis pelo fornecimento das condições favoráveis para que o processo de transformação da energia química dos combustíveis nos motores se realize de forma eficiente e contínua. Os principais componentes de um motor de combustão interna se dividem em dois grupos, os componentes fixos e móveis. Compostos pelos seguintes elementos: bloco do motor, cabeçote e o cárter. E os componentes móveis: pistão (êmbolo), camisas, biela, árvore de manivelas (virabrequim), válvulas de admissão, válvulas de escape, árvore de comando de válvulas, guias e sede das válvulas, porcas, molas, bucha do balancim, parafuso regulador, mancais, tuchos, bronzinas, juntas, etc.

O bloco, (**Figura 3**) é considerado a principal estrutura ou o corpo do motor, são acoplados os componentes que compõem o motor diretamente ou indiretamente.

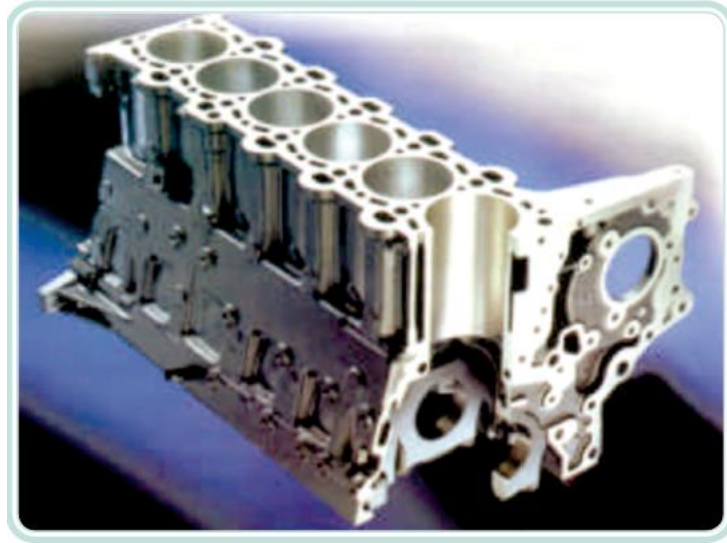


Figura 3: Bloco do motor.

(Fonte: DAIMLER CHRYSLER, 2008)

O cabeçote (**Figura 4**) tem a função de tampar os cilindros, formando a câmara de combustão na parte superior do bloco do motor. Nele, ocorrem altas pressões por conta do pistão que comprime a mistura, no caso do ciclo Otto, e os demais ciclos.



Figura 4: Cabeçote (motor 4 cilindros) ciclo Otto.

(Fonte: DAIMLER CHRYSLER, 2008)

O cárter de um motor (**Figura 5**) pode ser constituído de ferro ou alumínio fundidos, formando a parte principal do bloco do motor que contém o virabrequim e a bomba de óleo. A parte inferior do cárter forma o depósito de óleo lubrificante, que é constituída por chapa de

liga de alumínio, que possui uma melhor condutividade térmica para dissipar mais calor, e manter o nível de refrigeração adequado do motor.

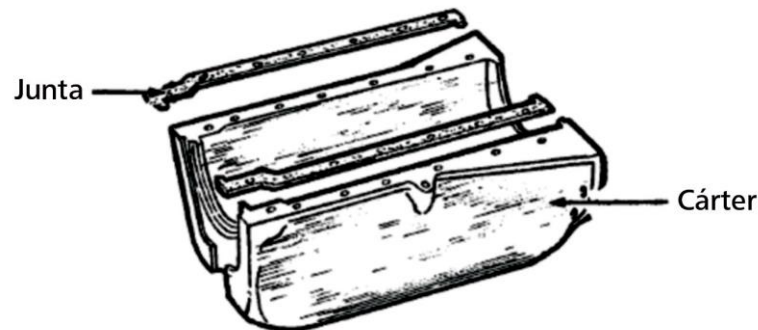


Figura 5: Cárter e junta de vedação

(Fonte: MERCEDES BENZ DO BRASIL, 2006).

A união do bloco com o cárter, necessita de total vedação, entretanto, requer uma junta com material que evite vazamentos por razão do aquecimento e dilatação dos metais.

Na **Figura 6** é ilustrado alguns dos principais componentes móveis de um motor de combustão interna.

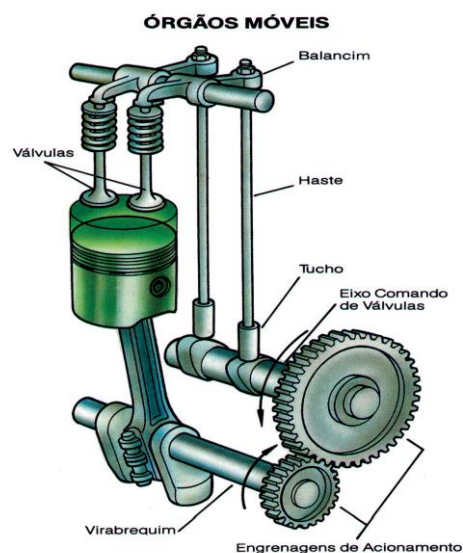


Figura 6: Eixos, tuchos e válvulas.

(Fonte: MAHLE, 2007)

2.1.2 Motor de ciclo 4 tempos

O princípio de funcionamento do motor com o ciclo de quatro tempos, são respectivamente: admissão, compressão, explosão e escape descarga. Neste tipo de motores, as quatro fases realizam-se em quatro tempos, ou seja, em quatro cursos de pistão, ou duas rotações. De acordo com Museu do motor Universidade Federal do Rio Grande do Sul UFRGS, (2011) esse ciclo ficou conhecido como Ciclo Otto.

A válvula de admissão (VA) tem contato com o carburador, onde a mistura ar combustível é feita, ou seja, o combustível vaporizado é misturado com o ar. A válvula de escape (VE) se comunica com o meio exterior através do silencioso, onde os gases de escape são descarregados para a atmosfera. Estas válvulas são abertas e fechadas em intervalos convenientes por meio de mecanismos denominados eixo de comando de válvulas. Na **Figura 7** o ciclo quatro tempos é mostrado na ordem que eles ocorrem.

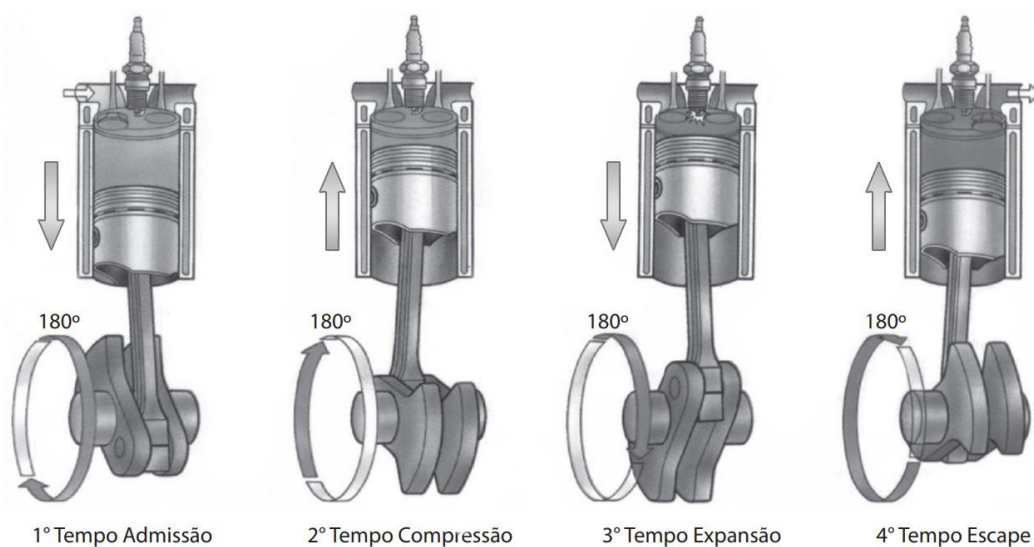


Figura 7: Os quatro tempos do motor alternativo.

(Fonte: BRUNETTI, 2013)

O autor Martins, (2006) afirma que as sequências de operações funcionam da seguinte maneira: no 1º tempo ocorre a admissão da mistura de ar com o combustível, o pistão desce e a válvula de admissão é aberta possibilitando a entrada da mistura. No 2º tempo ocorre a compressão, estando as válvulas fechadas, o pistão sobe e comprime a mistura de ar e combustível. No 3º tempo ocorre a explosão, o pistão atinge o ponto de compressão máximo

uma faísca elétrica provocada pela vela ocasiona a explosão do combustível, a explosão empurra o pistão para baixo. No 4º tempo ocorre a exaustão, no qual a válvula de escape está aberta possibilitando a expulsão dos gases resultantes da explosão, reiniciando o ciclo.

Em um motor de quatro cilindros, cada um dos cilindros se encontra em um dos quatro tempos em um dado momento. Cabe ressaltar que, durante um ciclo o pistão percorreu o curso quatro vezes e o eixo do motor realizou duas voltas (em um motor de 4 tempos). A **Figura 8** mostra os quatro tempos de um MCI de 4 cilindros variando conforme o ângulo do virabrequim. (BRUNETTI, 2013).

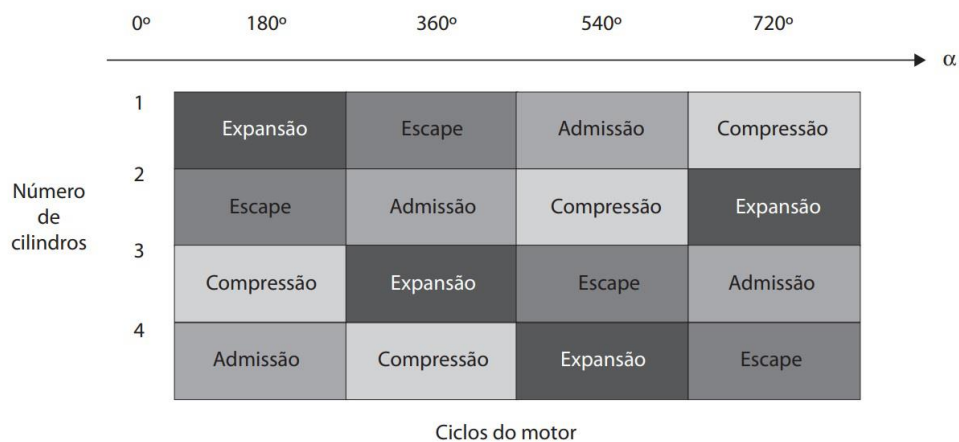


Figura 8: Tempos do motor em cada cilindro por ângulo do virabrequim.

(Fonte: BRUNETTI, 2013).

2.1.3 Configurações dos motores

Os motores de ignição por centelha a gasolina podem ser classificados principalmente quanto ao número e à disposição dos cilindros, quanto à aplicação nas diversas máquinas e veículos e quanto ao tipo de refrigeração. Há diversas formas construtivas de um motor, de acordo ao número e disposição dos cilindros, o mesmo é ilustrado na próxima figura.

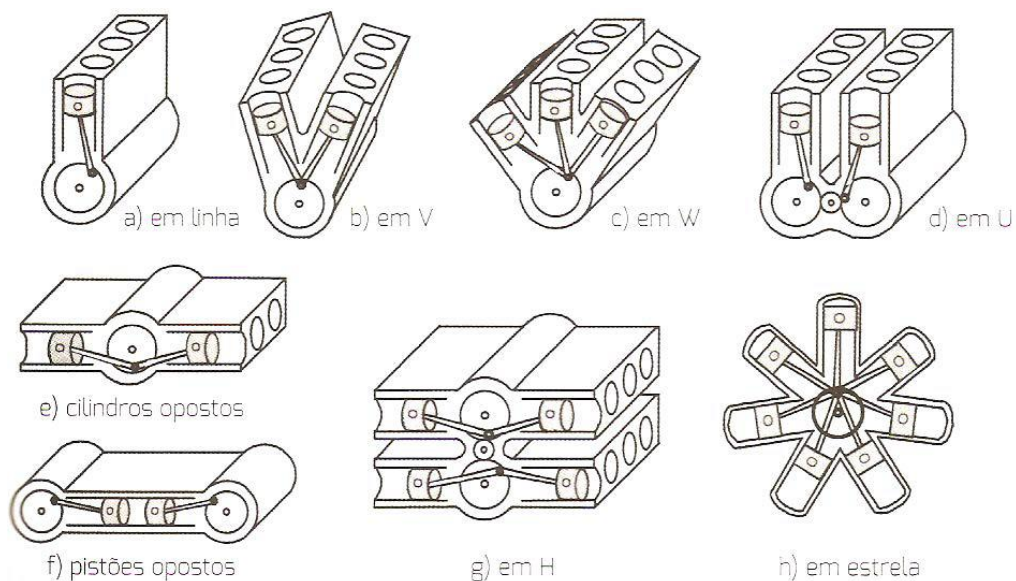


Figura 9: Formas construtivas dos motores de combustão interna.

(Fonte: MARTINS, 2013)

Os cilindros dispostos em linha, e opostos em V são os mais utilizados na atualidade, sendo que destes, o motor 4 cilindros em linha é o mais produzido, seguido por motores 4, 6, 8 e 12 cilindros em V, sendo estes últimos para veículos de alta performance.

Os motores com cilindros dispostos radialmente (também conhecidos por estrela) foram amplamente utilizados no século passado nas décadas de 10 até 50, principalmente nas grandes guerras para aviões de combate e de transporte. Quanto ao tipo de refrigeração usa-se água e ar, sendo que a refrigeração a ar atualmente está focada em motocicletas de baixa cilindrada e motores estacionários usados em geração de energia elétrica, máquinas agrícolas, bombas de água e aeromodelos. Toda essa diversidade de aspectos construtivos dos motores tem por finalidade adequar a relação custo benefício com a aplicação do motor.

Quanto a estrutura dos motores de ignição por centelha 4 tempos, é visualizado na **Figura 10**.

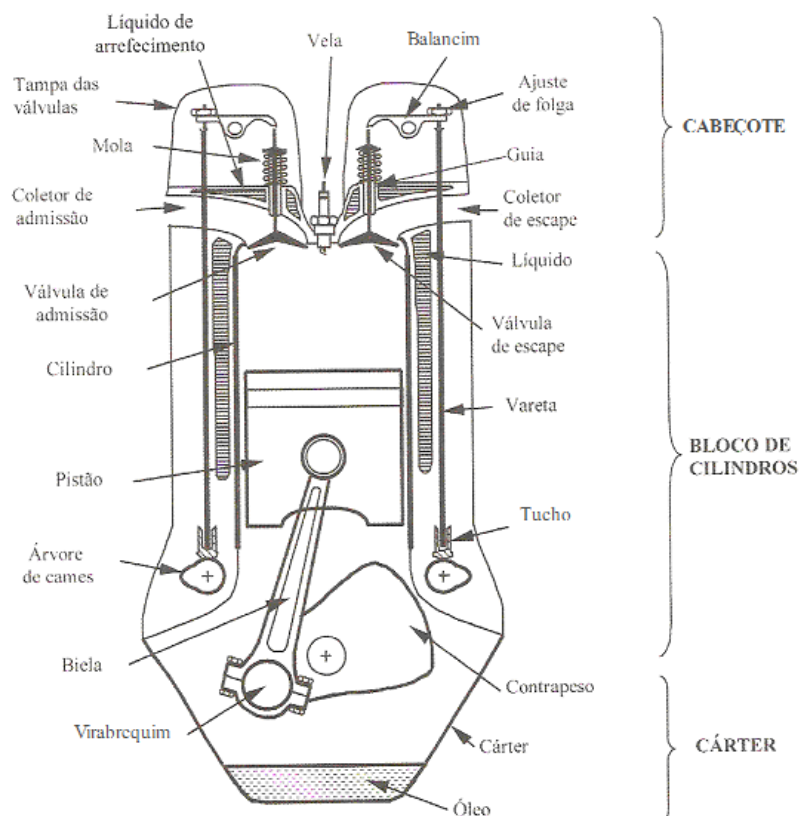


Figura 10: Estrutura dos motores de ignição por centelha.

(Fonte: MARTINS, 2013)

Cabeçote é onde estão alojadas as válvulas para troca gasosa, balancim, molas, guias, sedes de válvulas, dutos de escape e admissão, a câmara de combustão e a vela de ignição. Bloco está composto pelo cilindro, cujo interior está o pistão, a biela e a manivela. Cáster, reservatório de óleo para lubrificação.

2.1.4 Curvas características

O torque e a potência mecânica de um motor ou veículo automotivo são representados por suas curvas características. Essas curvas mostram a variação do torque e da potência em função da velocidade de rotação e são geradas a partir de testes em dinamômetros mantendo a carga constante, isto é, com a borboleta completamente aberta. Durante o ensaio é obtido o torque resistente do dinamômetro, que corresponde ao torque do motor, e a potência é calculada a partir deste parâmetro (MARTINS, 2006).

A **Figura 11** apresenta um exemplo das curvas características, a curva em azul representa o torque, e a potência mecânica é representada pela curva em vermelho, sendo de motores ou veículos automotivos, em função da velocidade de rotação.

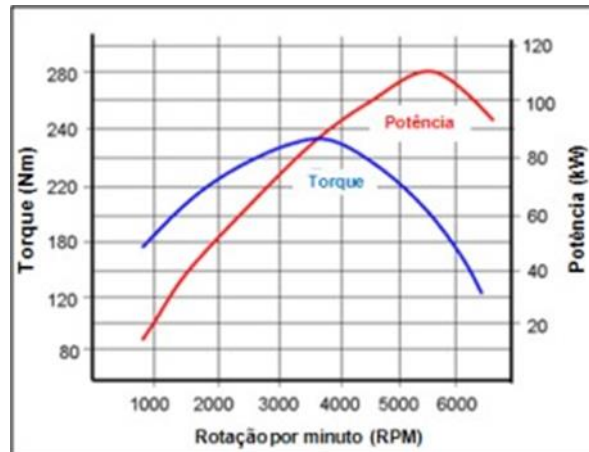


Figura 11: Curvas características dos motores ou veículos automotivos.

(Fonte: GOLÇALVES, 2013).

2.1.5 Parâmetros de desempenho de motores à combustão

Como forma de analisar o comportamento de motores à combustão, utiliza-se parâmetros de desempenho (performance), entre eles podemos citar o torque, a potência e a pressão média efetiva.

2.1.6 Torque

O primeiro parâmetro a ser estudado é denominado torque, que está intimamente ligado à geometria do pistão e biela e como as forças são aplicadas. Os motores alternativos ciclo Otto se baseiam no uso de um sistema biela manivela para estabelecer um momento de torque no eixo do virabrequim, este surge a partir de uma força F gerada pela energia do combustível após sua queima. A geometria de biela manivela bem como a força F podem ser vistas na figura abaixo.

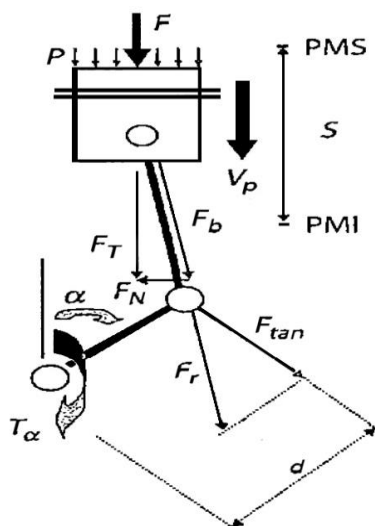


Figura 12: Forças aplicadas ao pistão.

(Fonte: BRUNETTI, 2013)

Conforme o autor Brunetti (2013), a força F resultante no pistão composta pela força resultante (F_r) e pela força normal (F_n) transmite à biela, em seguida para a manivela, dando origem a uma força tangencial (F_{tan}) e consequentemente a um momento instantâneo no eixo do motor.

A força de pressão F depende da posição angular da manivela e, portanto, a F_{tan} é variável. Logo, apesar do comprimento da biela (d) ser fixo, o momento no eixo do motor varia com o ângulo entre a biela e o eixo vertical (α), 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 (PMS) do mecanismo de biela e manivela. Com o motor em funcionamento, adquire-se um momento de torque médio positivo.

Para a determinação do torque, normalmente o motor é fixado numa bancada e conectado ao rotor do dinamômetro que por sua vez é acoplado ao seu estator, por diversas maneiras: eletromagneticamente, hidraulicamente ou por atrito mecânico. Deste modo, o torque exercido no estator com o rotor girando é medido balanceando o estator com pesos, molas ou meios pneumáticos, como mostra a **Figura 13** (SIMÕES, 2010).

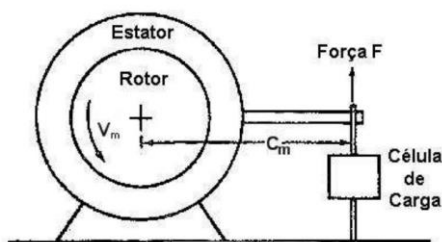


Figura 13: Esquema do princípio de operação do dinamômetro.

(Fonte: Adaptado de HEYWOOD, 1988)

Logo o torque é definido como sendo a habilidade do motor na realização de trabalho e pode ser representado pela equação 1:

$$W_e = F \cdot d \quad (1)$$

Onde:

W_e = Torque efetivo desenvolvido pelo motor na saída do eixo de manivelas (J)

F = Força medida na célula de carga do dinamômetro (N)

d = Distância do ponto de medição da força ao centro do eixo de manivelas (m)

No desenvolvimento de um motor automotivo busca-se uma relação entre curva de torque e velocidade (a mais plana possível), e alcançar um torque alto para baixas e altas rotações (PULKRABEK, 2003)

2.1.7 Potência

A potência de um motor pode ser obtida através de duas abordagens diferentes, a primeira leva em conta a medição no eixo do motor, denominada potência efetiva (N_e), já a segunda faz uso do ciclo termodinâmico do motor e é chamada de potência indicada (N_i).

Brunetti (2013) menciona que a potência indicada é a potência desenvolvida pelo ciclo termodinâmico do fluido ativo. Essa potência pode ser medida com um indicador de pressões, no qual permita traçar o ciclo do fluido ativo.

A potência de maior interesse prático é a potência no eixo, disponível na saída do eixo de manivelas do motor, calculada pela equação abaixo.

$$P_e = W_e \cdot \omega \quad (2)$$

Onde:

P_e = Potência no eixo (W)

W_e = Torque efetivo (J)

ω = Velocidade angular (rad/s)

A velocidade angular é calculada pela equação 3:

$$\omega = \frac{2 \cdot \pi \cdot N}{60} \quad (3)$$

Onde:

N = Velocidade de rotação do eixo de manivelas (rev/min)

Por fim, pode-se descrever a equação da seguinte forma:

$$P_e = W_e \cdot \frac{2 \cdot \pi \cdot N}{60} \quad (4)$$

2.1.8 Pressão média efetiva

A pressão média efetiva (BPME) é uma medida de desempenho bastante utilizada em motores de combustão interna. Logo tem-se a pressão média efetiva indicada e a pressão média efetiva no eixo, derivadas da potência indicada e da potência no eixo, respectivamente.

A pressão média efetiva no eixo é um parâmetro importante de medição para o desempenho do motor, porque é obtida pela razão do trabalho por ciclo pelo volume deslocado no cilindro, ou seja, é a potência produzida pelo motor em função do seu tamanho. A pressão média efetiva no eixo é dada pela equação 5:

$$BMEP = \frac{2 \cdot 60 \cdot P_e}{V \cdot N} \quad (5)$$

Onde:

BMEP = Pressão média efetiva no eixo (Pa)

V = Volume do motor (cm³)

2.2 TUBULAÇÃO DE ADMISSÃO

As tubulações de admissão em motores de combustão interna servem para conduzir o ar da atmosfera até os cilindros, após isso é distribuída, entre eles, a massa de ar admitida. Além disso, as tubulações também otimizam a eficiência volumétrica dos motores, gerando baixas perdas de pressão ao longo do escoamento do ar. Esse escoamento é feito através de sistemas geométricos. Isto significa que o comprimento e o diâmetro do conduto, e eventualmente câmaras intermediárias, têm um papel fundamental no desenvolvimento deste sistema. Leva-se em conta os efeitos de escoamento pulsante com variações temporal e espacial (HANRIOT, 2001).

O ar no interior da tubulação de admissão possui uma energia cinética (energia de movimento). Esse conteúdo energético, se oportunamente aproveitado, pode determinar uma maior compressão no interior do cilindro exatamente no momento em que a válvula de admissão se fecha. Após isso cria-se então uma fonte de sobre alimentação natural devido à inércia dos gases de admissão, melhorando a eficiência volumétrica (HEYWOOD, 1988).

Benajes et al, (1997) analisou as tubulações de admissão levando em conta dois subsistemas separados, o pistão e a válvula, que se movem periodicamente e atuam como fonte de excitação, e também a tubulação de admissão, que por sua vez responde à excitação em função devido a sua geometria. Esta interação tem uma grande influência na condição de escoamento transiente ocorrida na porta da válvula, conseqüentemente, afeta todo o processo de admissão do gás da atmosfera para o interior da tubulação de admissão.

2.2.1 Perdas por atrito

Durante o tempo de admissão, devido ao atrito em cada parte do sistema de admissão, a pressão no cilindro é menor que a atmosférica. A queda de pressão total é a soma das perdas de pressão em cada componente do sistema de admissão, tais como: filtro de ar, corpo de borboleta, válvula aceleradora, coletor, entrada e válvula de admissão.

2.2.2 Afinação nos coletores de admissão

Segundo o autor Heywood (1988), os efeitos do fluxo sobre a eficiência volumétrica dependem da velocidade do ar no coletor de admissão, na porta da válvula e válvula. Velocidades locais para fluxos uniformes são iguais a taxa de fluxo volumétrico dividida pela

área transversal local. Desde que as dimensões do sistema de admissão e a válvula tenham uma relação com o diâmetro do cilindro, as velocidades no coletor terão relação diretamente com a velocidade do cilindro.

Um exemplo de afinação de coletor de admissão é apresentado pelo autor na **Figura 14**, neste exemplo foi variado o comprimento dos dutos primários, seguindo a razão de duas vezes o anterior. Observa-se que o coletor com 34 cm de comprimento do primário apresentou um achatamento do pico da curva em relação aos outros coletores, isso favorece o desempenho do motor, pois a eficiência se manteve relativamente alta em várias rotações.

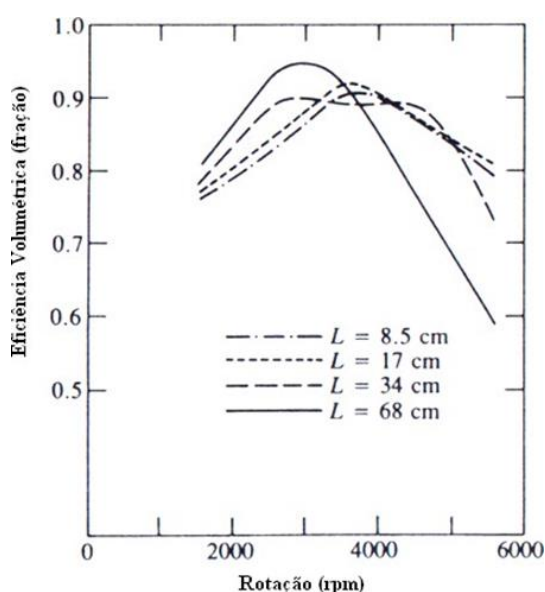


Figura 14: Efeito do comprimento dos dutos primários na eficiência volumétrica.

(Fonte: HEYWOOD, 1988)

2.2.3 Número de Reynolds

O número de Reynolds é um número adimensional utilizado para calcular o regime de escoamento de um determinado fluido dentro de um tubo ou sobre uma superfície, utiliza a seguinte equação:

$$Re = \frac{D \cdot v \cdot \rho}{\mu} \quad (6)$$

Onde:

ρ = Massa específica do fluido (kg/m³)

μ = Viscosidade dinâmica do fluido (N·s/m²)

v = velocidade do escoamento (m/s)

D = diâmetro da tubulação (m)

2.2.4 Perdas por atrito em dutos

Segundo Munson et al. (1994), analisando o diagrama de Moody (1944), as seguintes relações entre número de Reynolds (Re), rugosidade absoluta (ϵ) e diâmetro do duto (D) são válidas para os seguintes regimes de escoamento:

Para escoamento laminar, onde $Re < 2.000$ utiliza a seguinte equação:

$$f = \frac{64}{Re} \quad (7)$$

Onde:

f = Fator de atrito (adimensional)

Observa-se que em escoamentos laminares o fator de atrito independe da rugosidade relativa (s/D).

Para regime turbulento, onde $Re > 4.000$ utiliza a equação:

$$\frac{1}{\sqrt{f}} = 2 \cdot \log \cdot (Re \cdot \sqrt{f}) - 0,8 \quad (8)$$

Nos casos em que $Re < 10^5$, aplica-se a equação de Blasius:

$$f = 0,316 \cdot Re^{-0,25} \quad (9)$$

Na faixa entre $2.000 < Re < 4.000$ o escoamento está em regime de transição e pode assumir o comportamento laminar ou turbulento.

2.2.5 Perda de carga

As perdas de carga podem ocorrer em restrições, curvas ou em seções transversais irregulares. Quando esse parâmetro é inserido, os cálculos são estimados baseando-se em Munson (1994) e Miller (1990), mas não inclui os efeitos de atrito com a parede, calculados separadamente (para contrações imprevistas deve-se usar coeficientes de descarga para calcular a perda). O coeficiente de perda da carga é definido por:

$$C_p = \frac{\Delta p}{\rho \cdot V^2 / 2} \quad (10)$$

Onde:

Δp = Diferença entre a pressão total de entrada e a pressão total de saída

ρ = Massa específica (kg/m³)

V = Velocidade de entrada (km/h)

2.3 SISTEMA DE ADMISSÃO

O coletor de admissão tem a função fundamental de conduzir o ar até os cilindros de forma homogênea, oferecendo o mínimo de resistência à passagem. O Coletor de Admissão é composto esquematicamente por uma entrada de ar onde geralmente está fixada a válvula controladora de vazão de ar, conhecida como corpo de borboleta, um volume denominado de câmara, que tem como principal função de responder às oscilações de pressão. Este volume está conectado aos condutos que são a porção final do trajeto do ar até os cilindros. Geralmente, os coletores de admissão têm um conduto para cada cilindro (CAVAGLIERI, 2014). Os componentes citados podem ser observados na próxima figura.

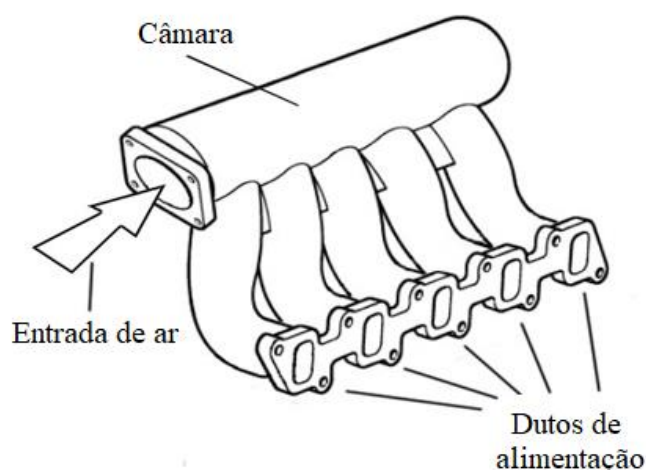


Figura 15: Exemplo, sistema de admissão.

(Fonte: Autor, 2019).

Conforme apresentado anteriormente, diversos componentes do sistema de admissão contribuem com a redução da pressão do ar admitido e consequentemente impactam na quantidade de ar entregue ao cilindro, ou seja, a eficiência volumétrica é diretamente afetada e assim como outros parâmetros como potência e torque sofrem uma diminuição por conta destas perdas.

Coletores de admissão e de exaustão são encarregados de gerar os maiores efeitos sobre o desempenho, tais como poluição sonora e emissões de poluentes de motores alternativos. Todos os gases admitidos e expulsados pelo movimento dos pistões sofrem influência direta dos condutos de admissão e exaustão. Sobretudo, melhorar o desempenho de um sistema de admissão é proporcionar altas pressões de massa de ar sobre a válvula de admissão, elevando assim a quantidade de gás que entra no cilindro. O período em que se deve manter essa elevada pressão é entre o Ponto Morto Inferior (PMI) que ocorre na admissão, e um instante após o fechamento da válvula, isso proporciona que o processo de aspiração se estenda imensamente além do PMI, armazenando assim uma quantia de ar significativa sob alta pressão que evita qualquer aparecimento de fluxo reverso dentro do coletor (WINTERBONE e PEARSON, 1999).

2.4 FUNDAMENTOS DA EFICIÊNCIA EM MOTORES DE COMBUSTÃO INTERNA

A eficiência, também se caracteriza por rendimento, representa o grau de sucesso com que um processo de transferência ou conversão de energia é realizado. De um modo geral a

expressão da eficiência pode ser apresentada através da relação entre os termos de um resultado desejado e de um fornecimento necessário (ÇENGEL e BOLES, 2006).

$$\eta = \frac{\textit{resultado desejado}}{\textit{Fornecimento necessário}} \quad (11)$$

Onde:

η = Eficiência

Resultado desejado = Potência de saída do motor (kW, CV, kcal/h)

Fornecimento necessário = Recurso que foi disponibilizado para a realização do objetivo proposto, no caso dos MCI é a própria energia do combustível (kW, CV, kcal/h)

Ainda pelo mesmo autor a definição de eficiência pode ser aplicada na avaliação de inúmeros processos e em diferentes formas de conversão de energia. Um tradicional exemplo é aplicado em um equipamento que envolve a queima de um combustível, onde a eficiência é baseada no poder calorífico do combustível. Dessa forma, o desempenho do equipamento de combustão pode ser caracterizado pela eficiência da combustão.

$$\eta_c = \frac{Q}{PC} \quad (12)$$

Onde:

η_c = Eficiência da combustão

Q = Quantidade de calor liberada durante a combustão (kcal/k)

PC = Poder calorífico do combustível (kcal/kg)

De acordo com Heywood (1988), nos motores de combustão interna a eficiência térmica pode ser definida pela relação entre a potência de saída do motor pela energia de entrada do combustível. Essa medida de eficiência do motor, também é chamada de eficiência de conversão do combustível, sua equação é dada por:

$$\eta_t = \frac{W}{\dot{m} \cdot PC} \quad (13)$$

Onde:

η_t = Eficiência térmica

$\dot{m}$ = Vazão mássica de combustível (kg/h)

PC = Poder calorífico do combustível (kcal/kg)

W = Potência de saída do motor obtida no dinamômetro (kW, CV, kcal/h)

Um fator de extrema importância para a denominação da eficiência de um motor de combustão é o tipo de combustível a ser utilizado. Cada combustível possui propriedades e constituição química diferentes que, de acordo com sua energia e característica de sua combustão, resultam em diversos parâmetros de desempenho, emissões e eficiência.

2.4.1 Eficiências de motores de combustão interna

Desde a geração dos primeiros projetos e protótipos de MCI já havia uma certa preocupação com a eficiência. Atualmente a busca por motores mais eficientes é uma necessidade não somente do ponto de vista econômico e tecnológico, mas, também do ponto de vista da sustentabilidade do meio ambiente. Portanto, na maioria dos países os índices de emissões veiculares são regulamentados, impondo que os fabricantes de veículos cumpram os limites normatizados para obterem o direito de comercializar os veículos. Nesse contexto, tendo em vista a preocupação ambiental, a demanda de MCI mais econômicos e menos poluentes tem conduzido à busca de motores cada vez menores e mais eficientes. Diversas tecnologias têm sido utilizadas na melhoria do desempenho e eficiência de motores, tendo como exemplo sistemas de otimização do rendimento através da variação no sincronismo de válvulas, sistemas de admissão com sobre alimentação e com geometria variável, aliados a sistemas eletrônicos de gerenciamento e controle, que otimizam a combustão em vários regimes de trabalho do motor (PULKRABEK, 2003).

Conforme Heywood (1988), outro ponto de melhoria da eficiência é a diminuição dos atritos do sistema, segundo o autor as perdas devidas aos atritos afetam diretamente a máxima potência do motor e o consumo de combustível. O que diferencia um bom projeto de motor de um projeto “razoável” é a diferença entre as perdas por atritos. Podem ser considerados como trabalho de atrito toda a diferença entre o trabalho do fluido motor nos cilindros (compressão e expansão) e o trabalho entregue no virabrequim. Como exemplos, estão os atritos devidos a

efeitos de bombeamento, atritos entre os diversos componentes do sistema e atritos devidos aos acessórios que são acoplados no motor. O melhor aproveitamento do combustível está associado ao melhor desempenho e menor consumo. Assim essa maior eficiência também permite menores quantidades de emissões de gases nocivos ao meio ambiente. Diante disso, o rendimento do motor pode ser visto como um produto de vários outros rendimentos, que indicam o resultado específico a cada parâmetro, tais como as perdas por atritos, a eficiência do enchimento dos cilindros por ar, a eficiência da combustão, etc.

2.4.2 Eficiência mecânica do motor

Segundo Heywood (1988), é dificultoso determinar a parcela do trabalho devido aos atritos no motor. Uma das formas bastante utilizada é a colocação do motor em um dinamômetro ativo (operando sem a ignição do motor) e a medição da potência que o dinamômetro precisa aplicar para superar todas as forças de atrito. Nesses ensaios é importante reproduzir as condições em que o motor estaria trabalhando normalmente num teste, como rotação do motor, umidade relativa, pressão barométrica, condições do ambiente e as temperaturas do óleo e da água do motor. Essa estimativa dos atritos é chamada de trabalho ou potência de atrito (N_a). A indicação da potência bruta indicada (N_{bi}) pode ser representada através da soma da potência no freio (dinamômetro) com a potência de atrito (N_a) conforme equação a seguir:

$$N_{bi} = N_e + N_a \quad (14)$$

Onde:

N_{bi} = Potência bruta indicada (kW, CV, kcal/h)

N_e = Potência medida no dinamômetro do motor (kW, CV, kcal/h)

N_a = Potência devida aos atritos (kW, CV, kcal/h)

Heywood (1988), relata que a relação entre potência medida no dinamômetro e a potência indicada é chamada de eficiência mecânica.

$$\eta_m = \frac{N_e}{N_{bi}} = 1 - \frac{N_a}{N_{bi}} \quad (15)$$

Onde:

η_m = Eficiência mecânica do motor

Os efeitos de bombeamento estão contidos no trabalho de atrito. Portanto a posição da borboleta e os regimes de velocidades do motor têm influência nos valores. Tipicamente em motores modernos são avistados valores próximos a 90% de eficiência mecânica em rotações entre 1800 rpm a 2400 rpm com a borboleta totalmente aberta, diminuindo-se para valores de 75% em rotações mais elevadas, próximas da faixa de potência máxima do motor. Em conformidade com a variação do ângulo da borboleta de motores ciclo Otto, os valores da eficiência mecânica decrescem, podendo chegar ocasionalmente a zero, com a borboleta completamente fechada (HEYWOOD,1988).

O desempenho de um sistema de controle do motor depende também do modelo de controle de torque adotado. O autor Stotsky (2005), afirma que as diversas perdas por atrito devem ser estabelecidas e modeladas no sistema. A calibração dos parâmetros de torque é uma função da velocidade do motor, carga (torque indicado) e temperatura do óleo do motor. Alterações em componentes do motor também podem resultar em variações nos atritos do motor.

2.4.3 Eficiência térmica

Os MCI's são máquinas térmicas que, dependem do fornecimento de calor, advindo da combustão da mistura combustível-ar, e sua posterior transformação em trabalho para então gerar potência.

Logo, as máquinas térmicas devem idealmente converter todo o calor fornecido em trabalho, entretanto, não é o que ocorre. Parte do calor fornecido é dissipado por combustões que ocorrem de forma incompleta, pelos gases de escape, pelo sistema de arrefecimento e também por radiação que cede calor à fonte fria. Portanto, a eficiência térmica é a relação entre a energia térmica convertida pelo motor em trabalho pela energia térmica total gerada na combustão, conforme a equação abaixo:

$$Q = mc \cdot pci \quad (16)$$

Onde:

Q = Calor fornecido (kcal/s, kcal/h, CV, MJ/s, kW)

mc = Consumo, fluxo ou vazão em massa (kg/s, kg/h)

pci = Poder calorífico do combustível (kcal/kg, MJ/kg)

E também, como a potência indicada é dada por:

$$W_i = W_e + W_a \quad (17)$$

Onde:

W_i = Potência indicada (kW, CV, kcal/h)

W_e = Potência específica (kW, CV, kcal/h)

W_a = Potência de atrito (kW, CV, kcal/h)

Portanto, a eficiência térmica pode ser calculada por:

$$\eta_t = \frac{W_i}{Q} \quad (18)$$

Onde:

η_t = Eficiência térmica

W_i = Potência indicada (kW, CV, kcal/h)

Q = Calor fornecido (kcal/s, kcal/h, CV, MJ/s, kW)

2.4.4 Eficiência volumétrica

Segundo o autor Taylor, (1985) a eficiência volumétrica, também é conhecida como capacidade de admissão ou rendimento volumétrico, é uma relação entre a capacidade real de um motor em admitir ar ou mistura combustível-ar e sua capacidade teórica de admitir ar ou mistura nas condições atmosféricas do local onde o motor funciona.

A eficiência volumétrica tem um efeito direto na potência de saída do motor, na medida que a massa de ar no cilindro determina a quantidade de combustível que pode ser queimada. A melhor seleção dos tempos de abertura e fechamento das válvulas de admissão e escapamento de cada projeto é fundamental para maximizar-se a eficiência volumétrica durante variados regimes de carga do motor.

De acordo com Stone e Ball (2004), a eficiência volumétrica de um veículo é medida através da potência disponível nas rodas de tração em relação à taxa de geração de energia adquirida com o combustível utilizado. Cerca de 70% das perdas de um veículo origina-se do motor de combustão interna distribuídas em perdas térmicas, mecânicas e volumétricas. A avaliação da eficiência térmica é baseada na quantidade de energia existente na mistura combustível-ar convertida em trabalho durante a combustão. A **Figura 16**, ilustra de forma bem simples, porém objetiva, onde as perdas na conversão de energia estão localizadas.

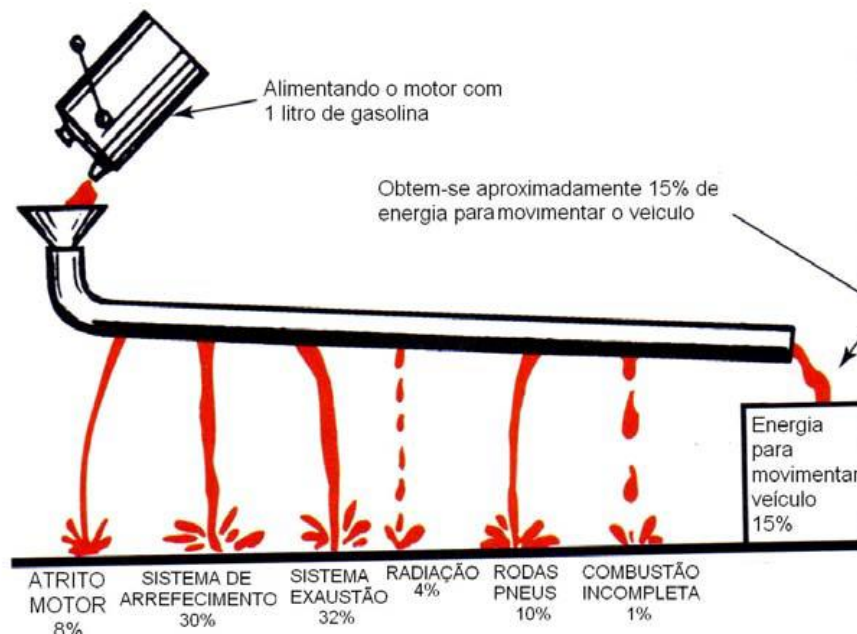


Figura 16: Energia perdida entre o MCI e as rodas de tração do veículo.

(Fonte: STOCKEL, 1996)

Ainda pelo autor é possível observar que em uma determinada rotação adquire-se um valor máximo para esta eficiência. Com o aumento da velocidade do pistão e para uma fixada configuração dos componentes do sistema de admissão, ocorre então o aumento dos efeitos de atrito sobre o escoamento que implicam na redução da vazão em massa de ar ou combustível admitido. A **Figura 17** indica uma curva genérica de eficiência volumétrica.

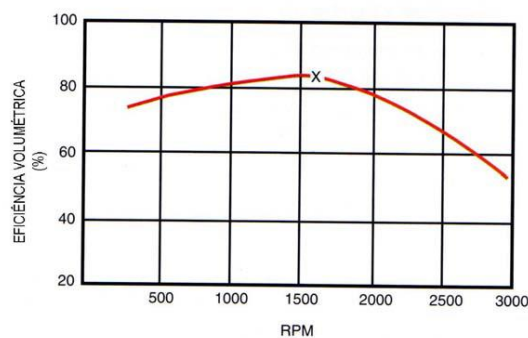


Figura 17: Curva genérica de eficiência volumétrica.

(Fonte: STOCKEL, 1996)

A remoção dos gases queimados ao final do ciclo de combustão e a admissão de nova carga de ar ou mistura combustível-ar no início do ciclo de admissão são, respectivamente, as funções dos ciclos de exaustão e admissão. Estes processos também conhecidos como processos de troca de gases. Sabe-se que o momento de força (torque) de um motor de combustão interna para uma determinada rotação é função crescente da massa de ar admitida. Desta forma, admitir uma maior quantidade de massa de ar durante ciclo de admissão e manter esta massa dentro da câmara de combustão podem ser consideradas metas fundamentais do processo de troca de gases de um motor. Ou seja, para definir o desempenho dos processos de troca de gases para motores alternativos de pistões, mede-se a eficiência volumétrica.

Taylor (1985) também explica que a eficiência volumétrica global pode ser utilizada quando se trata de um motor de combustão interna sem sobre alimentação, pois as variações de pressão e temperatura nos componentes do sistema de admissão (filtro de ar, válvula de aceleração e coletor de admissão), são pequenas. É possível avaliar a eficiência volumétrica para qualquer motor de combustão interna sob determinado conjunto de condições de operação, desde que a massa de ar por unidade de tempo e a massa específica deste fluido possam ser medidas. A eficiência volumétrica pode ser expressa pela equação 18:

$$e_v = \frac{2 \cdot \dot{M}_i}{N \cdot V_d \cdot \rho_i} \quad (19)$$

Onde:

$\dot{M}_i$ = Vazão mássica da mistura ambiente por unidade de tempo (g/s)

N = Número de revoluções por unidade de tempo (rpm)

V_d = Volume total da câmara de combustão (cm³)

ρ = Massa específica do ar na admissão do motor (kg/m³, g/cm³)

A massa específica do ar admitido é calculada pela equação de estado dos gases perfeitos:

$$P_{ar} = \frac{P_{ar}}{R \cdot T_{ar}} \quad (20)$$

Onde:

P_{ar} = Pressão absoluta do ar (bar)

T_{ar} = Temperatura absoluta do ar (°C, K)

R = Constante universal do ar como uma mistura de gases perfeitos (288J/kg °C)

2.5 CONSUMO ESPECÍFICO

Consumo específico (C_e) é a relação entre o consumo de combustível e a potência efetiva (N_e). A potência efetiva é medida no dinamômetro e o consumo de combustível é medido de maneira gravimétrica ou volumetricamente. O consumo específico pode ser calculado pela fórmula abaixo:

$$C_e = \frac{1}{pci \cdot \eta_g} \quad (21)$$

Se pci estiver em kcal/kg e C_e em kg/CVh, então:

$$C_e = \frac{632}{pci \cdot \eta_g} \quad (22)$$

Onde:

C_e = Consumo específico (kg/cv, kg/kWh)

η_g = Eficiência térmica efetiva

pci = Poder calorífico interior do combustível (kcal/kg, MJ/kg)

O consumo específico corresponde o consumo mássico de combustível por unidade de trabalho de saída. É um indicador utilizado na observação do comportamento de MCI em diferentes regimes de funcionamento (rotação e carga) e na comparação de diferentes combustíveis.

Conforme o autor Heywood (1988), essa medida representa o quanto de eficiência apresenta um motor levando-se em consideração o combustível utilizado.

$$CE = \frac{\dot{m}_f}{W} \quad (23)$$

Onde:

CE = Consumo específico do combustível (g/kWh)

$\dot{m}_f$ = Vazão mássica do combustível (g/h)

W = Potência em unidade de energia (kW)

Ainda pelo autor, a relação entre o consumo específico de combustível e a eficiência da conversão de combustível, ou eficiência térmica, pode ser dada pela equação a seguir:

$$\eta_t = \frac{1}{CE \cdot PC} \quad (24)$$

Onde:

η_t = Eficiência da conversão de combustível/ eficiência térmica

CE = Consumo específico do combustível (g/kWh)

PC = Poder calorífico do combustível (kcal/kg)

3 METODOLOGIA

A análise que será feita com as tubulações admissíveis se enquadra no método experimental, com pesquisa qualitativa.

Segundo o autor GIL (2002) pode-se definir pesquisa como o procedimento racional e sistemático que tem como objetivo proporcionar respostas aos problemas que são propostos. A pesquisa é desenvolvida mediante o concurso dos conhecimentos disponíveis e a utilização cuidadosa de métodos, técnicas e outros procedimentos científicos.

O que hoje denominamos estudos qualitativos começaram a aparecer no cenário da investigação social a partir da segunda metade do século dezenove. A pesquisa qualitativa é descritiva, a palavra escrita ocupa lugar de destaque nessa abordagem, desempenhando um papel fundamental tanto no processo de obtenção dos dados quanto na disseminação dos resultados. A pesquisa qualitativa tem o ambiente natural como fonte direta de dados e o pesquisador como instrumento fundamental. Hoje em dia, a abordagem qualitativa, por meio de seus diferentes subtipos de pesquisa, tem lugar assegurado como uma forma viável e promissora de trabalhar em ciências sociais. A pesquisa qualitativa leva em consideração que os pontos de vista e as práticas no campo são diferentes devido às diversas perspectivas e contextos sociais a eles relacionados (GODOY, 1995).

O método experimental consiste, especialmente, em submeter os objetos de estudo à influência de certas variáveis, em condições controladas e conhecidas pelo investigador, para observar os resultados que a variável produz no objeto (PRODANOV, 2013).

3.1 MATERIAIS UTILIZADOS

Para o levantamento dos dados e avaliação dos resultados foram utilizados os seguintes equipamentos:

- Motor de combustão interna;
- Dinamômetro de bancada;
- Paquímetro;
- Condutor de admissão;
- Abraçadeiras.

3.2 MÉTODOS UTILIZADOS

Com a teoria abordada na revisão bibliográfica e o auxílio dos materiais que serão necessários, os métodos utilizados para a execução deste trabalho são organizados em tópicos conforme abaixo.

3.3 CARACTERÍSTICAS DO MOTOR DE COMBUSTÃO INTERNA

O motor utilizado na realização dos testes, trata-se de um motor de combustão interna de ciclo Otto, VHC 1.0 L, 8 válvulas, quatro cilindros em linha (**Figura 18**).

As características originais desse motor garantem o funcionamento com os combustíveis álcool e gasolina em diferentes proporções. O motor está localizado no centro universitário Assis Gurgacz, pertencente a Cascavel - PR.



Figura 18: Motor VHC 1.0 L utilizado nos testes no dinamômetro.

(Fonte: Autor, 2019)

Por se tratar de um motor que anteriormente foi utilizado para fins didáticos, houve a desmontagem, verificação dos componentes internos, medição dos componentes desse

motor e remontagem conforme o manual do fabricante. A **Tabela 1** mostra as especificações do motor.

Tabela 1: Especificações do Motor Utilizado nos Testes.

Motor de Combustão dos Testes	
Fabricante:	GM Powertrain
Número de cilindros:	Quatro (4)
Cilindrada:	1000 cm ³
Potência máxima com Gasolina em Kw:	70
Potência máxima com Álcool em Kw:	70
Torque máximo com Gasolina em Kgfm:	8,8
Torque máximo com Álcool em Kgfm:	9,0
Taxa de Compressão:	12,6:1
Rotação Máx. Permitida pelo Gerenciamento Eletrônico do Motor:	6400 RPM
Consumo médio com Gasolina em km/l	15,6
Consumo médio com Álcool em km/l	10,9

(Fonte: GM do Brasil, 2010)

3.4 BANCADA DINAMOMÉTRICA

Nos testes experimentais desse estudo, utilizou-se o dinamômetro de bancada modelo 2030 (**Figura 19**). Os principais componentes da bancada dinamométrica são constituídos pelos (as):

- 1) Cardan de acoplamento, onde será feita a ligação entre o freio e o motor corrigindo qualquer problema de leve inclinação.
- 2) Barra de calibração, que serve para fazer a calibração da célula de carga que está acoplada ao freio magnético.
- 3) Célula de carga, onde realizará as medições de força aplicada no freio e assim calcular os parâmetros de potência e torque.
- 4) Sensor de rotação, responsável por fazer as leituras de rotação do motor.
- 5) Estação barométrica, responsável pelas leituras das condições climáticas do ambiente (temperatura, pressão e umidade).
- 6) Estrutura principal, maior peça do equipamento onde fica o chassi e o freio eletromagnético.
- 7) Manopla do acelerador, tem a função de auxiliar nos testes para aceleração do motor.

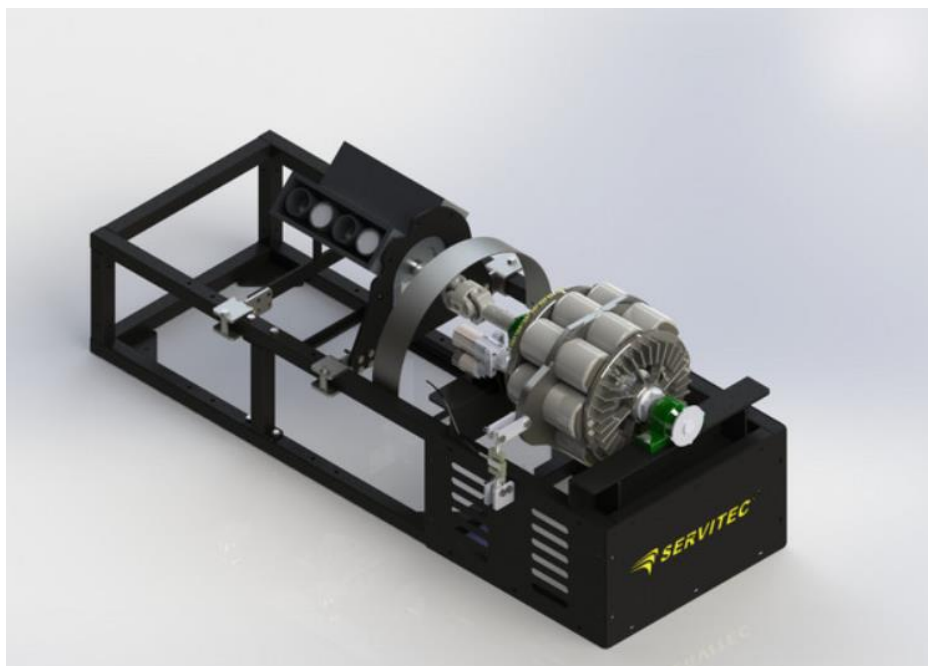


Figura 19: Dinamômetro de bancada modelo 2030.

(Fonte: SERVITEC, 2019)

3.4.1 Dinamômetro

Os dinamômetros são máquinas construídas com a finalidade básica de mensurar a potência ou torque produzido pelos MCI's, em diversas condições de rotação e carga do mesmo. Esse dispositivo já é utilizado há muito tempo, e possui diversas maneiras de ser construído, utilizando simples atrito, sistemas hidráulicos ou sistemas elétricos.

Seu funcionamento se dá através da imposição de uma força contrária ao sentido de giro do eixo do motor, fazendo com que este sofra uma força de frenagem. Devido ao fato de existirem variados modelos, a escolha do dinamômetro mais adequado é de fundamental importância, pois este irá delimitar as opções de testes que este será capaz de submeter os motores. Além disso, a escolha do dinamômetro tem influência na forma de controle do banco e também na medição de diversas propriedades, entre elas o torque.

Os diferentes dinamômetros existentes podem ser separados em quadrantes, de acordo com a sua forma de atuação. A **Figura 20** mostra basicamente que, os dinamômetros do primeiro e segundo quadrante atuam de forma a frear o MCI em teste, por isso, são classificados como dinamômetros passivos. No entanto, os modelos presentes no terceiro e

quarto quadrantes são conhecidos como dinamômetros ativos, devido à capacidade de atuarem tanto como geradores quanto como motores.

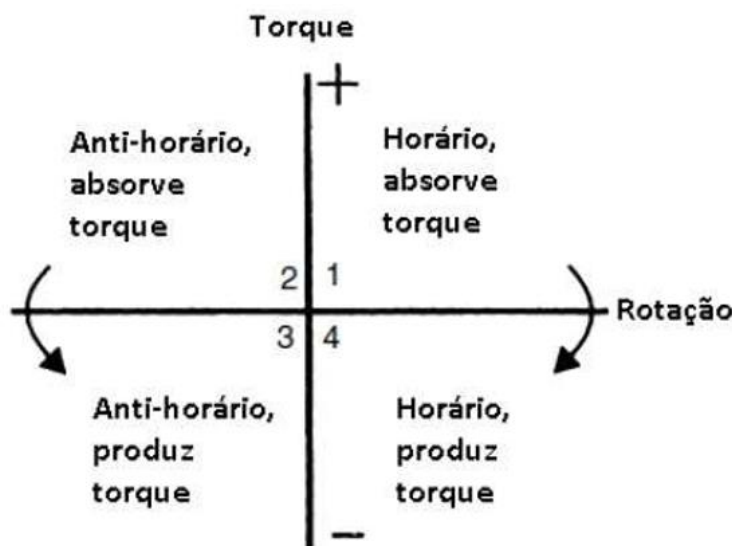


Figura 20: Quadrantes de operação dos dinamômetros.

Fonte: (Autor, 2019).

Entre os dinamômetros ativos e passivos, destacam-se alguns modelos principais, são eles:

- Dinamômetros Hidrocinéticos;
- Dinamômetros de Correntes Parasitas;
- Dinamômetros Elétricos – Corrente Alternada (CA);
- Dinamômetros Elétricos – Corrente Contínua (CC).

O dinamômetro utilizado nos testes é de fabricação Servitec modelo 2030. Sua capacidade de medida para potência máxima (estimada) à uma rotação de 2000 rpm equivale a 300 HP e para uma rotação à 5000 rpm equivale a 700 HP. O torque relacionado com a capacidade do freio equivale a 1078,73 N.m. O peso do dinamômetro sem acessórios tem aproximadamente 400 kg. A figura abaixo mostra o motor acoplado ao dinamômetro.



Figura 21: Motor acoplado ao dinamômetro.

(Fonte: Autor, 2019)

Na **Figura 22**, pode-se observar informações no display do sistema de automação do dinamômetro com relação ao funcionamento do motor na bancada: velocidade do motor (RPM), torque e potência calculada pelo sistema. No sistema de automação é realizado também controle do sistema, onde existem parâmetros como “ganhos” proporcionais, integrais e derivativos que são utilizados para controlar melhor as interações entre o motor e o dinamômetro.



Figura 22: Sistema de Controle do Dinamômetro.

(Fonte: Autor, 2019)

3.5 LEVANTAMENTO DE DADOS

O levantamento de dados teve como objetivo, estudar a performance desse motor através de um conduto, assim possibilitando a obtenção de resultados graficamente gerados, para então obter conclusões finais sobre o estudo realizado. Os primeiros passos foram iniciados através do uso do dinamômetro, o motor foi instalado no dinamômetro na mesma posição na qual está montado no veículo, o alinhamento e nivelamento são de extrema importância para que não cause possíveis vibrações nos sistemas de transmissão e também para não ocorrer erros de medição. Os testes foram realizados com o conduto original do motor, e com um conduto acrescentado. Para estudar os efeitos do conduto de admissão sobre a performance do motor, utilizou-se um conduto com diâmetro de sessenta milímetros e comprimento de um metro e meio fabricado em PVC. O uso do paquímetro foi útil para a medição das dimensões, e a utilização das abraçadeiras para fixar o conduto ao motor. O tempo de funcionamento do motor será monitorado, também foram realizadas as coletas de dados como umidade relativa, temperatura do óleo, pressão barométrica, temperatura do ar de admissão, pressão de combustível, dentre outros. O tempo estimado para a realização do estudo será de aproximadamente cinco dias. Ao final do processo os dados obtidos foram comparados e analisados para a conclusão dos resultados, sendo os parâmetros de funcionamento do motor verificados em conformidade do fabricante.

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Com a aplicação dos métodos propostos no encaminhamento metodológico, os resultados obtidos podem ser descritos a seguir.

As curvas de desempenho foram executadas com o acelerador totalmente acionado para possibilitar que a borboleta se encontrasse plenamente aberta durante todo o teste, proporcionando uma vazão máxima de ar naturalmente aspirado.

Todos os testes mantiveram a temperatura da água dentro de uma faixa de $70^{\circ}\text{C} \pm 5^{\circ}\text{C}$, a umidade relativa entre 47,5 % a 53 %, a pressão atmosférica em torno de 94 kpa, a temperatura do ar de admissão a $35^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$ e a pressão absoluta presente no coletor de admissão (MAP) em torno de 41 kpa. Para os testes realizados, foi desprezado a utilização do filtro de ar.

Para determinar a potência nas condições atmosféricas de referência, a potência observada (lida) foi multiplicada por um fator de correção NBR ISO 1585 (ABNT, 1996) que permaneceu em torno de 1,10 nestes experimentos. Esta Norma especifica um método de ensaio de motores projetadas para veículos automotores. Ela se aplica à avaliação do seu desempenho, observando, em particular, a apresentação das curvas de potência a plena carga em função da rotação do motor.

4.1 UTILIZAÇÃO DOS CONDUTOS PARA AVALIAÇÃO DA POTÊNCIA

Foi observado que a partir da velocidade de rotação do motor de 3750 rpm o conduto de admissão original apresentou valores superiores de potência e o conduto de 1,5 metros (tamanho do conduto escolhido pelo autor, poderia ser de comprimento maior ou menor) gerou valores inferiores. Os resultados são analisados no **Gráfico 1**.

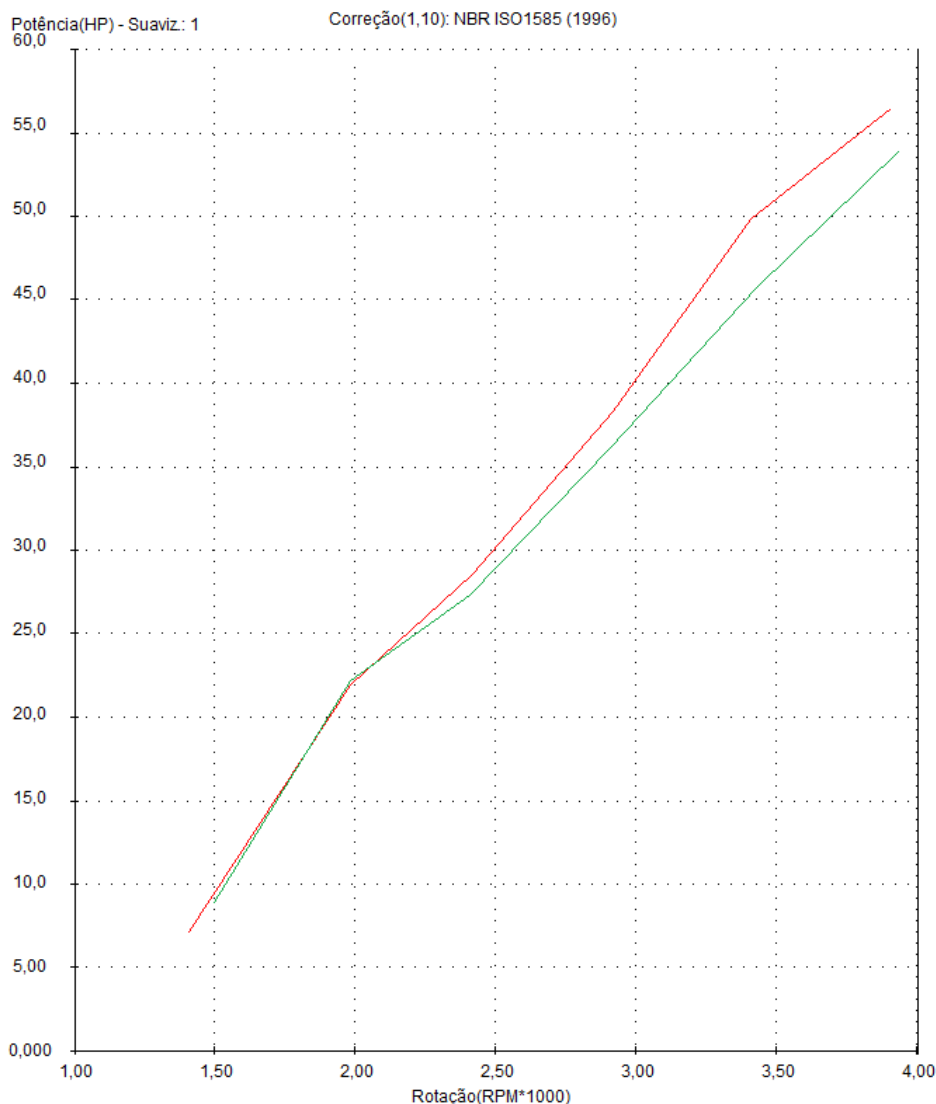


Gráfico 1: Comparativo de Potência variando o comprimento do conduto de admissão.

(Fonte: Autor, 2019)

Para os resultados adquiridos, a leitura de dados iniciou a partir de 1500 a 4000 rpm, onde a linha verde representa o conduto de 1,5 metros e a linha vermelha o conduto original. Ao atingir 3750 rpm o conduto original obteve uma potência de 54,36 HP que convertida para cavalo-vapor obtém-se 55,11 CV. Por outro lado, o conduto de maior comprimento atingiu uma potência de 50,93 HP (51,63 CV). Esse efeito pode ser explicado devido à perda de carga proveniente do atrito do fluido com as paredes do conduto sendo maior. Na **Figura 23** é possível visualizar o motor em funcionamento, com o conduto de admissão original.



Figura 23: Testes realizados utilizando-se conduto original.

(Fonte: Autor, 2019)

4.2 UTILIZAÇÃO DOS CONDUTOS PARA AVALIAÇÃO DO TORQUE

Utilizando o conduto de maior comprimento verificou-se que o mesmo proporciona maior torque em velocidades de rotação mais baixas, conforme o gráfico abaixo.

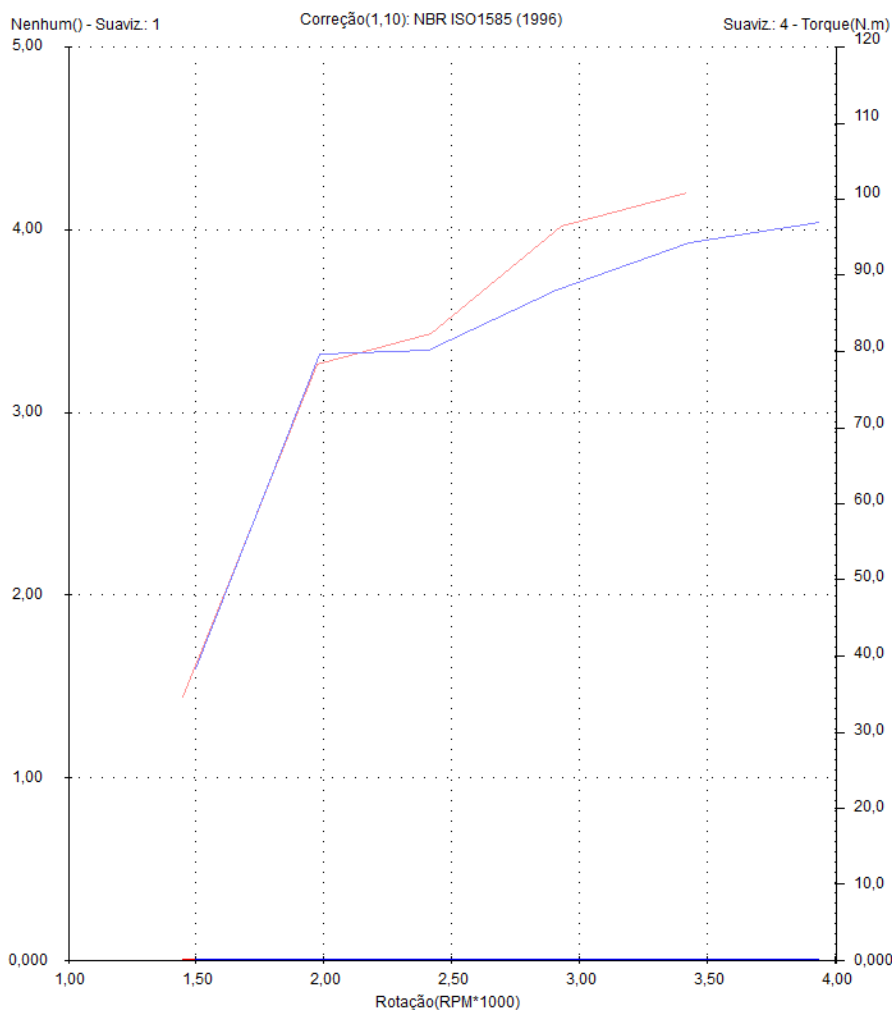


Gráfico 2: Comparativo de Torque variando o comprimento do conduto de admissão.

(Fonte: Autor, 2019)

A linha azul representa o conduto de maior comprimento, que ao atingir 2000 rotações por minuto adquire um torque de 79,72 N.m enquanto que o conduto original representado pela linha vermelha resulta em 78,61 N.m.

Este resultado pode-se atribuir devido a melhor eficiência volumétrica do conduto de maior comprimento nesta região de funcionamento do motor. Isto demonstra que, em baixas velocidades de rotação do motor, quanto maior for o conduto, maior será o efeito inercial da massa de ar.

A **Figura 24** é possível visualizar o motor em funcionamento com a adaptação do conduto maior.



Figura 24: Testes realizados utilizando-se o conduto maior.

(Fonte: Autor, 2019)

5 CONCLUSÃO

Através dos resultados experimentais adquiridos, é possível perceber que o comprimento do conduto de admissão influenciou significativamente o desempenho do motor.

Para os condutos avaliados, constatou-se que o conduto de maior comprimento desenvolveu um melhor torque em baixas velocidades de rotação do motor. Por outro lado, o conduto original resultou em melhor torque e potência em altas velocidades de rotação do motor.

Esses resultados explicam a tendência atual de diversas montadoras de adotar coletores de geometria variável que permitem a variação do comprimento dos dutos de admissão conforme a rotação do motor. Esse recurso permite um rendimento volumétrico ideal em todas as faixas de utilização.

Portanto, tanto o objetivo geral quanto os objetivos específicos do presente trabalho foram alcançados.

SUJESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

- Avaliação de um motor de combustão interna ciclo Otto utilizando diferentes tipos de combustíveis.
- Estudo experimental e numérico do sistema de admissão de um motor de combustão interna.
- Avaliação dos parâmetros de um motor de combustão interna ciclo Otto utilizando-se três tipos de condutos de admissões, modificando o comprimento de cada conduto.
- Realização de uma análise fluidodinâmica da admissão, utilizando-se o mesmo sistema.

7 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABNT, “**Veículos Rodoviários – Código de Ensaio de Motores – Potência Líquida Efetiva**”, ABNT, Norma NBR ISO 1585, Associação Brasileira de Normas Técnicas, 1996.

BENAJES, J., REYES, E., GALINDO, J. e PEIDRO, J. “**Predesign Model for Intake Manifolds in Internal Combustion Engines**”, Engine Modeling, SAE Paper 970055, Society of Automotive Engineers, Inc., U.S.A., 1997.

BRUNETTI, F. **MOTORES DE COMBUSTÃO INTERNA Volume 1**. SÃO PAULO: BLUCHER, 2012.

BRUNETTI, F. **MOTORES DE COMBUSTÃO INTERNA Volume 2**. SÃO PAULO: BLUCHER, 2012.

CAVAGLIERI, M. R. **ESTUDO EXPERIMENTAL DO FENÔMENO DE ONDA EM COLETORES DE ADMISSÃO PARA MOTORES DE COMBUSTÃO INTERNA**. Dissertação (Mestrado) — Universidade Estadual de Campinas, Campinas, São Paulo, 2014.

ÇENGEL Y.A., BOLES M. A. **Termodinâmica**. 5ª ed., MC Graw Hill, 2006.

CORONADO, Christian Rodriguez et al. Determination of ecological efficiency in internal combustion engines: The use of biodiesel. **Applied Thermal Engineering**, v. 29, p.1887-1892. Nov. 2009.

GIL, A. C. **Como elaborar projetos de pesquisa**. 4º. Ed. São Paulo: Atlas, 2002.

GODOY, A. S. **Pesquisa Qualitativa Tipos Fundamentais**. *Revista de Administração de Empresas*, 20-29, 1995.

HANRIOT, S. M., **Estudo dos Fenômenos Pulsantes do Escoamento de ar nos Condutos de Admissão em Motores de Combustão Interna**, Tese de Doutorado, Departamento de Engenharia Mecânica, UFMG, Belo Horizonte, MG, Brasil, 2001.

HEYWOOD, J.B. **Internal Combustion Engine Fundamentals**, McGraw-Hill Book Company, U.S.A., 1988.

KUTLAR, Osman Akin; ARSLAN, Hikmet; CALIK, Alper Tolga. Methods to improve efficiency of four stroke, spark ignition engines at part load. **Energy Conversion and Management**, v. 46, p.3202-3220, Mar. 2005.

MARTINS, J. **Motores de combustão Interna**. Porto: PUBLINDÚSTRIA. EDIÇÕES TÉCNICAS, 2006.

MIALHE, L.G. **Máquinas motoras na agricultura**. São Paulo: EPU/EDUSP, 1980. 289 p.

MILLER, D.S. (1990). **Internal flow systems**. Second Edition, BHR Group Limited.

MOODY, L.F. (1944). Friction factors for pipe flow. **Transactions of ASME**, Vol. 66.

MUNSON, B.R.; YOUNG, D.F.; OKIISHI, T.H. **Fundamentos da mecânica dos fluidos**. Vol. 2, São Paulo – SP: Editora Edgard Blücher, 1994.

MUSEU do Motor. **Motor Otto**: o Resgate de uma Era. Porto Alegre, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2011.

NHAMBIU, J. O. P. **Introdução aos motores térmicos**: História. Maputo, Universidade Eduardo Mondlane, 2011.

PRODANOV, Cleber Cristiano; DE FREITAS, Ernani Cesar. **Metodologia do Trabalho Científico: Métodos e Técnicas da Pesquisa e do Trabalho Acadêmico-2ª Edição**. Editora Feevale, 2013.

PULKRABEK, W. W. **Engineering Fundamentals of the Internal Combustion Engine**. New York: Prentice Hall, 2003.

SIMÕES, T. A. F. **Aspectos a serem considerados no desenvolvimento de m coletor de admissão plástico soldado por vibração**. Dissertação (Mestrado) — Universidade de São Paulo, São Carlos, São Paulo, 2010.

STOTSKY, A. **Adaptive Estimation of the Engine Friction Torque**. Proceedings of the 44th IEEE Conference on Decision and Control, and the European Control Conference, 2005.

TAYLOR, C. F. **Análise dos motores de combustão interna**. São Paulo: Edgard Blücher, 1971 – 1976.

WINTERBONE, D.E.; PEARSON, R.J. (1999). **Design techniques for engine manifold: Wafe action methods for IC engines**. Warrendale: Society of Automotive Engineers, Inc.

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

Eu, Carlos Alberto Breda professor do Centro Universitário Assis Gurgacz e orientador do acadêmico William Matheus da Silva no Trabalho de Conclusão de Curso, declaro que as correções solicitadas pela banca foram efetuadas corretamente.



Assinatura do Professor

Cascavel, 02 de Julho de 2019.