

UNESP
Faculdade de Engenharia do Campus de Guaratinguetá

JOÃO EYGIO LOPES NETO

**PROJETO E USINAGEM DO CABEÇOTE PARA UM MOTOR 4 TEMPOS, A
GASOLINA, MONOCILÍNDRICO DE 400 CC E REFRIGERADO A AR**

Guaratinguetá
2015

UNESP
Faculdade de Engenharia do Campus de Guaratinguetá

JOÃO EYGIO LOPES NETO

**PROJETO E USINAGEM DO CABEÇOTE PARA UM MOTOR 4 TEMPOS, A
GASOLINA, MONOCILÍNDRICO DE 400 CC E REFRIGERADO A AR**

Dissertação apresentada à Faculdade de
Engenharia do Campus de Guaratinguetá,
Universidade Estadual Paulista, para a
obtenção do título de Mestre em
Engenharia Mecânica na área de Projetos.

Orientador: Prof. Dr. João Zangrandi Filho

Guaratinguetá
2015

L864p	Lopes Neto, João Egydio Projeto e usinagem do cabeçote para um motor 4 tempos, a gasolina, monocilíndrico de 400 cc e refrigerado a ar / João Egydio Lopes Neto– Guaratinguetá, 2015. 70 f. : il. Bibliografia : f. 61-62 Dissertação (Mestrado) – Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Engenharia de Guaratinguetá, 2015. Orientador: Prof. Dr. João Zangrandi Filho 1. Motores de combustão interna – projetos 2. Usinagem 3. Cabeçotes (Máquinas-ferramenta) I. Título CDU 621.43(043)
-------	---

JOÃO EGYDIO LOPES NETO

ESTA DISSERTAÇÃO FOI JULGADA ADEQUADA PARA A OBTENÇÃO DO TÍTULO DE
“MESTRE EM CIÊNCIAS”

PROGRAMA: ENGENHARIA MECÂNICA
ÁREA: PROJETOS

APROVADA EM SUA FORMA FINAL PELO PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO


Prof. Dr. Edson Cocchieri Botelho
Coordenador

BANCA EXAMINADORA:


Prof. Dr. JOÃO ZANGRANDI FILHO
Orientador / UNESP-FEG


Prof. Dr. JOSÉ VITOR CANDIDO DE SOUZA
UNESP-FEG


Prof. Dr. MIGUEL JUSTINO RIBEIRO BARBOZA
FEEEL / USP

Maio / 2015

JOÃO EGYDIO LOPES NETO

FILIAÇÃO JOÃO EGYDIO LOPES JÚNIOR
VALÉRIA APARECIDA RODRIGUES EGYDIO
LOPES

2012 Licenciatura Plena – mecânica

Programa Especial de Formação Pedagógica para as
Disciplinas do Currículo da Educação Profissional de
Nível Médio - FATEC Guaratinguetá

*À minha esposa Maria Raquel Abdala Nascimento Egydio
Lopes e minha filha Alice Nascimento Egydio Lopes pelo
amor que me foi dedicado durante esta trajetória. Aos meus
pais e aos meus sogros pelo exemplo de perseverança.*

AGRADECIMENTOS

A *Deus*, porque Ele é bom e tudo que Ele faz é bom.

Aos meus familiares pelo incentivo e amor prestados.

À *Lúcia Helena de Paula Coelho*, ela foi o anjo do Senhor nessa etapa da minha carreira.

Ao Departamento de Engenharia Mecânica da UNESP – FEG, pelo apoio e incentivo; especialmente ao *Prof. Dr. João Zangrandi Filho*, pela orientação, paciência e atenção durante todos esses anos de trabalho e a secretária do departamento *Eliane da Silva Leite Paterniani Rita* pela ajuda e incentivo.

Aos técnicos *Urbano Gonçalves de Oliveira* e *Gabriel Höfig de Castilho*, do Departamento de Engenharia Mecânica, e aos técnicos *José Manoel Bernardes*, *Odir Vieira da Silva*, e *Domingos Hasmann Neto* do Departamento de Engenharia dos Materiais e Tecnologia, pelo acolhimento e carinho dedicados a este trabalho.

À empresa *Kedal*, Lorena SP, aos cuidados do Sr. *Lorenzo*, pela ajuda no ferramental usado para a conclusão desse projeto.

Ao corpo docente e administrativo da Escola Técnica *ETEC Prof. Alfredo de Barros Santos*, pela paciência desprendida.

Aos funcionários da Seção de Pós-Graduação da FEG/UNESP, *Regina Célia Galvão F. Alves*, *Maria Cristina Silva de Oliva*, *Renata Pereira da R. Barbosa* e *Rodrigo José Nunes* pela dedicação e presteza no atendimento.

Finalmente, a todos que direta ou indiretamente contribuíram para que esse trabalho fosse realizado.

“Ciência pertence à humanidade; tecnologia pertence a um grupo, a uma sociedade, a um país”.

João Zangrandi Filho

EGYDIO LOPES NETO, J. **Projeto e Usinagem do Cabeçote para um Motor 4 Tempos, a Gasolina, Monocilíndrico de 400 cc e Refrigerado a Ar.** 2015. 88p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) – Faculdade de Engenharia do Campus de Guaratinguetá, Universidade Estadual Paulista, Guaratinguetá, 2015.

RESUMO

A ciência que rege o funcionamento dos motores de combustão interna, tanto os de ignição por faísca, quanto os de ignição por compressão, já está consolidada a mais de um século, entretanto a tecnologia de projeto e construção de motores no Brasil é praticamente toda importada da Europa ou dos Estados Unidos. Reconhecendo a realidade nacional foi usinado, a partir de um tarugo cilíndrico de ferro fundido cinzento, o cabeçote para um motor a gasolina, monocilíndrico de 400 cc e refrigerado a ar, de acordo com a capacidade operacional da Faculdade de Engenharia de Guaratinguetá, UNESP. O projeto foi referenciado em motores estacionários e automotivos consagrados pela indústria, bem como em literatura científica. Após a usinagem o cabeçote foi montado com as válvulas e os componentes relacionados, evidenciando assim a possibilidade de desenvolvimento de tecnologia nacional quanto a projeto e fabricação de motores de combustão interna.

PALAVRAS-CHAVE: Projeto. Motor. Gasolina. Cabeçote. Processo de Usinagem.

EGYDIO LOPES NETO, J. **Design and Machining the cylinder head of a single cylinder four stroke air cooled engine 400 [cc]**. 2015. 88p. M.Sc (Master in Mechanical Engineering) – Faculdade de Engenharia do Campus de Guaratinguetá, Universidade Estadual Paulista, Guaratinguetá, 2015.

ABSTRACT

The technology related to internal combustion engine, both the spark ignition system and the compression ignition one, is already established since one century ago, but the technology referring to the design and manufacture of this kind of engine in Brazil is imported mainly from United State and Europe. Taking into account our reality, starting from a cylindrical gray cast iron sample, the cylinder head of single cylinder air cooled engine, which stand for a 400 [cc] displacement, was machined according to the machining capacity of a group of machines belonging to this University. The present work was based on small and mobile engines that are well known in the Brazilian industry as well as on the technological literature. Finally, after being machined, the cylinder head was assembled together with the valves and related parts.

KEYWORDS: Design, Engine. Gasoline. Cylinder Head. Machining Process.

LISTA DE FIGURAS

Figura 01	Componentes fundamentais de um motor de combustão interna.....	12
Figura 02	Tempos de um motor de combustão interna.....	14
Figura 03	Formas construtivas dos motores de combustão interna.....	16
Figura 04	Configuração de um motor de combustão interna.....	18
Figura 05	Protótipo do motor brasileiro.....	19
Figura 06	Parte alternativa do motor.....	20
Figura 07	Folgas no conjunto cabeçote bloco de um motor de combustão interna.....	23
Figura 08	Abertura da válvula.....	24
Figura 09	Pré-câmara de combustão.....	25
Figura 10	Geometria do duto de admissão.....	26
Figura 11	Influência da geometria na formação de turbulência.....	27
Figura 12	Ferramenta para colocação da mola da válvula.....	27
Figura 13	Cabeçote de motor radial aeronáutico.....	28
Figura 14	Cabeçote de um motor Chevrolet 6 cilindros.....	29
Figura 15	cabeçote do motor Gordini.....	30
Figura 16	Cabeçote do motor Ford Corcel.....	30
Figura 17	Motor estacionário Bernard.....	31
Figura 18	Motor estacionário BROWETT.....	31
Figura 19	Cabeçote do motor Volkswagen.....	32
Figura 20	Corte do cabeçote mostrando detalhes da câmara e válvulas.....	34
Figura 21	Cotas principais do conjunto cabeçote bloco.....	36
Figura 22	Componentes já usinados.....	37
Figura 23	Cotas do desenho de conjunto.....	37
Figura 24	Conjunto cabeçote, bloco e cárter.....	38
Figura 25	Modelamento do cabeçote.....	39
Figura 26	Modelo em corte.....	39
Figura 27	Corte parcial do cabeçote.....	40
Figura 28	Dimensões externas principais do tarugo (apêndice 1).....	51
Figura 29	Usinagem do tarugo de ferro fundido cinzento.....	42
Figura 30	Blank usinado.....	42
Figura 31	Dimensões dos elementos da parte superior do cabeçote (apêndice 2).....	43

Figura 32	Sequência de usinagem da parte superior do cabeçote.....	44
Figura 33	Usinagem da parte superior do cabeçote.....	44
Figura 34	Parte superior do cabeçote usinada.....	44
Figura 35	Dimensões do flange (apêndice 3).....	45
Figura 36	Sequência de usinagem do flange e dutos de admissão e escape.....	45
Figura 37	Usinagem do flange para os dutos de admissão e escape.....	46
Figura 38	Usinagem dos furos para admissão e escape.....	46
Figura 39	Dimensões das aletas de refrigeração (apêndice 4).....	47
Figura 40	Sequência de usinagem das aletas de refrigeração.....	47
Figura 41	Usinagem das aletas de refrigeração.....	48
Figura 42	Dimensões da câmara de combustão (apêndice 5).....	48
Figura 43	Usinagem da câmara de combustão.....	49
Figura 44	Dimensões para furo da vela de ignição (apêndice 6).....	49
Figura 45	Usinagem do furo da vela de ignição.....	50
Figura 46	Vela de ignição montada.....	50
Figura 47	Componentes do conjunto do cabeçote.....	51
Figura 48	Hastes das válvulas inseridas nos respectivos furos guias.....	51
Figura 49	Posicionamento das molas das válvulas.....	52
Figura 50	Ferramenta de montagem na posição comprimindo a mola.....	53
Figura 51	Válvula de escape e acessórios montados.....	53
Figura 52	Vela de ignição rosqueada no cabeçote.....	54
Figura 53	Motor montado.....	54
Figura 54	Câmara de combustão, sede de válvulas e posição da vela.....	55
Figura 55	Guias de válvulas, depósito de óleo do cabeçote, fixação do suporte de balancim.....	55
Figura 56	Flange dos dutos de admissão e escape, aletas de refrigeração.....	56
Figura 57	Posição da vela de ignição.....	57
Figura 58	Motor radial.....	63
Figura 59	Motor W.....	63
Figura 60	Motor H.....	64
Figura 61	Motor U.....	64

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	12
1.1	Motor de ciclo 4 tempos.....	13
1.2	Configuração dos motores.....	15
1.3	Motivação e possíveis contribuições.....	19
1.4	Trabalhos anteriores realizados.....	20
1.5	Objetivo.....	21
1.5.1	Objetivos específicos.....	21
1.6	Metodologia utilizada.....	21
2	REVISÃO DE LITERATURA.....	23
2.1	Pesquisa táctil visual de cabeçotes.....	27
3	DESENVOLVIMENTO.....	33
3.1	Cálculo das dimensões principais do cabeçote.....	33
3.1.1	Cálculo dos parafusos do cabeçote.....	34
3.2	Desenho de conjunto do cabeçote.....	35
3.3	Usinagem do Cabeçote.....	40
4	RESULTADOS.....	51
4.1	Montagem do cabeçote.....	51
4.2	Discussões.....	55
5	CONCLUSÕES.....	60
6	REFERÊNCIAS.....	61
7	ANEXOS.....	63
8	APÊNDICES.....	65

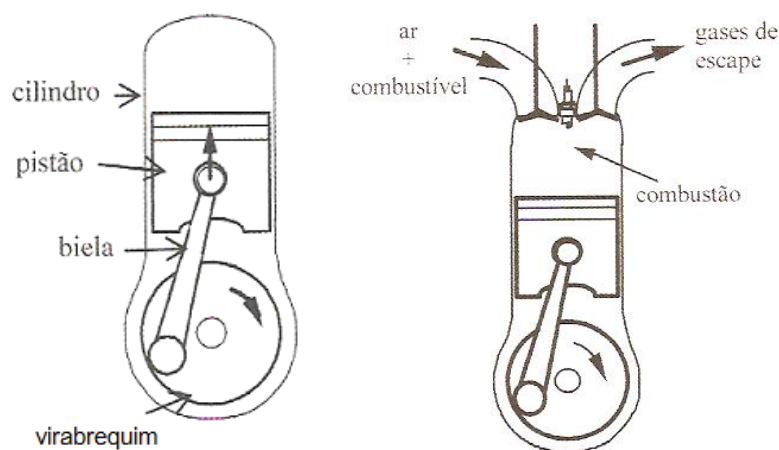
1 INTRODUÇÃO

O motor de combustão interna é uma das invenções de maior impacto na sociedade. Aplicado principalmente para locomoção de automóveis, estes motores vêm sendo aperfeiçoados constantemente na tentativa de se obter maiores rendimentos e menor consumo de combustível. Isto porque, os motores são os principais responsáveis pela poluição atmosférica e pela diminuição das reservas de petróleo.

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 funcionamento de um motor de combustão interna se dá basicamente pela queima de um combustível dentro de um cilindro, dotado 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. Os componentes fundamentais de um motor de combustão interna estão ilustrados na figura 1.

Figura 1 – 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 concêntrico com o virabrequim para equilibrar a energia recebida do ciclo termodinâmico e distribuir como energia mecânica.

O cilindro consiste de um tubo cilíndrico onde 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 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.

O pistão na sua forma usual nos motores de combustão interna é semelhante a 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 onde o furo menor da biela fica livre para se movimentar.

A biela transmite a carga do pistão para o eixo de virabrequim, fazendo com que este gire, e então, 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.

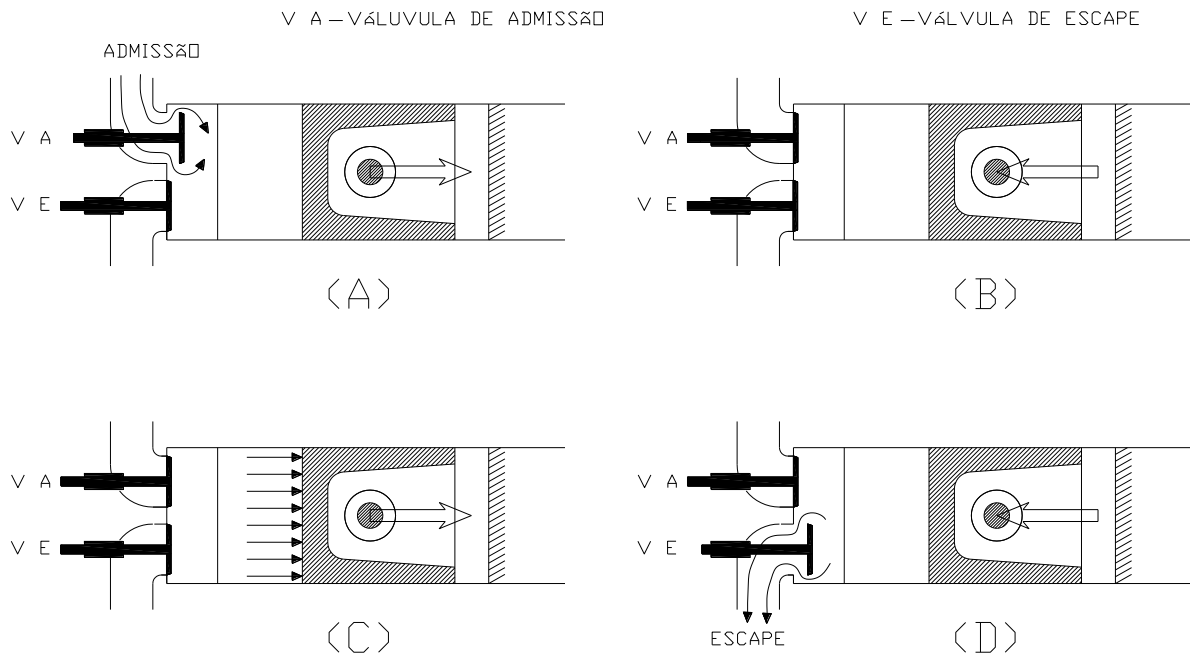
O volante fixado na extremidade do virabrequim é uma massa cilíndrica rotativa cuja função é absorver as variações de impulso transmitidas ao eixo pelos gases e forças de inércia e guiar os pistões durante os pontos mortos e cursos sem energia. Em motores veiculares o volante normalmente forma um conjunto que faz parte da embreagem através da qual a energia é transmitida para as rodas do veículo.

1.1 Motor de ciclo 4 tempos

A válvula de admissão (VA) se comunica com o carburador, onde a mistura ar combustível é feita, isto é, 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 através de mecanismos denominados eixo de comando de válvulas. O ciclo 4 tempos é mostrada na sequência da figura 2.

Figura 2 – Tempos de um motor de combustão interna.



Fonte: (PRÓPRIO AUTOR).

Conforme figura acima pode-se observar o ciclo 4 tempos:

- a) admissão – válvula de admissão aberta e válvula de escape fechada:

O giro inicial do virabrequim durante a partida do motor faz com que a biela puxe o pistão a partir do ponto morto superior (pistão totalmente estendido) estabelecendo um vácuo que faz a sucção da mistura ar combustível do carburador. A pressão estará abaixo da atmosférica com um valor que depende da abertura da borboleta do carburador;

- b) compressão – ambas as válvulas fechadas:

O pistão retorna, ainda movido pela energia do volante e comprime a mistura na câmara de combustão. A pressão cresce para um valor que depende da razão de

compressão. Nos primeiros motores a razão de compressão varia de 6 a 9. Nos motores mais modernos alcança em torno de 12;

c) expansão ou combustão - ambas as válvulas fechadas:

Um pouco antes do curso de compressão, a ignição da mistura é feita por meio de uma faísca elétrica, e um rápido aumento da temperatura e da pressão ocorre dentro do cilindro. A combustão é completada enquanto o pistão ainda está em torno do ponto morto superior e é seguida da expansão dos gases quentes ao mesmo tempo em que o pistão se move para o ponto morto inferior. A pressão dos gases move o pistão e gira o virabrequim fornecendo energia mecânica para o carro ou outro elemento, assim como fornecendo também parte da energia mecânica ao volante que a armazena;

d) escape – válvula de admissão fechada e válvula de escape aberta:

O pistão retorna, novamente o a energia do volante, e descarrega os gases queimados através da válvula de escape. A pressão estará um pouco acima da atmosférica dependendo da resistência do escoamento oferecida pela válvula de escape e do silencioso. Observa-se que há apenas um curso de energia para cada 4 cursos do pistão, cada duas voltas do eixo de virabrequim. Os três cursos restantes são cursos que apenas consomem energia, embora façam parte do ciclo.

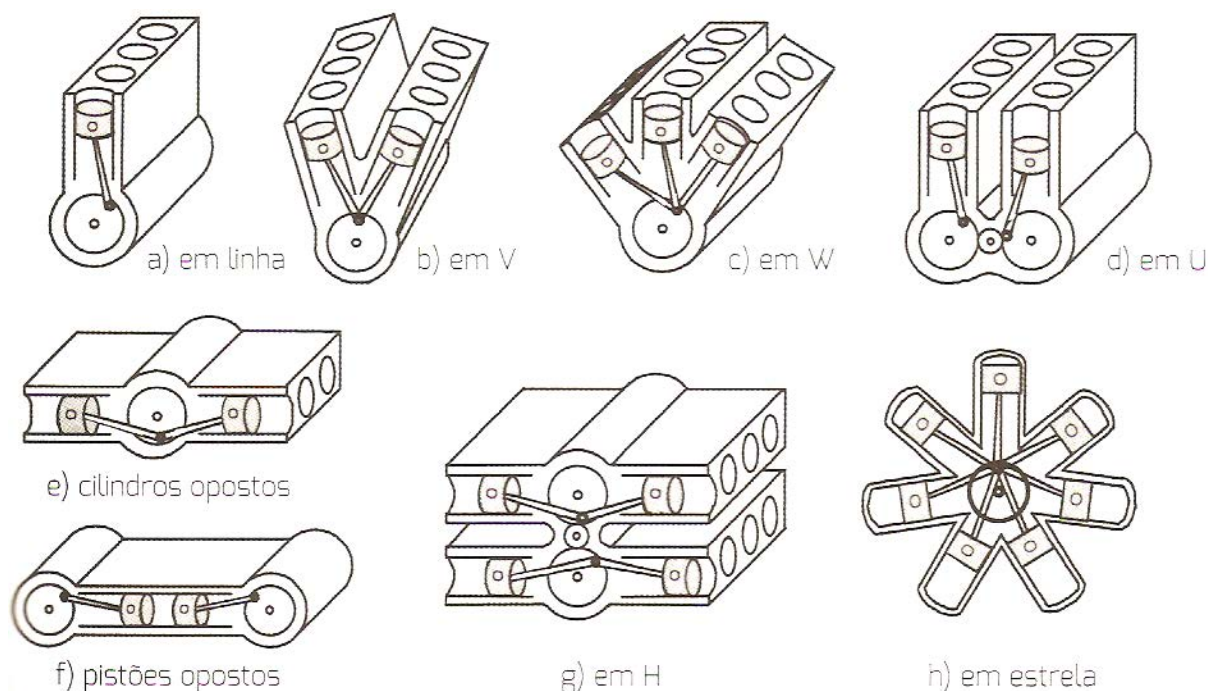
Os motores de combustão interna são divididos basicamente em 2 tipos:

- motores de ignição por centelha - motores 4 tempos, também conhecidos por ciclo Otto, e motores 2 tempos; sendo que a principal diferença entre estes é a maneira como se dá a troca de gases no cilindro;
- Motores de ignição por compressão - conhecidos por motor Diesel –desenvolvido por Rudolf Diesel em 1892.

1.2 Configuração 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. As diversas formas construtivas do motor, quanto a número e disposição dos cilindros é ilustrado pela figura 3.

Figura 3 – Formas construtivas dos motores de combustão interna.



Fonte: (MARTINS, 2013).

Os cilindros dispostos e linha, em V e opostos 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 alto desempenho (exemplos de motores com configurações Radial, W, H e U, ver anexos páginas). 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 tem-se a água e a 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.

O desenvolvimento do motor de combustão interna teve grande avanço durante o século dezenove. Uma dessas máquinas foi descrita em 1820 pelo padre W. Cecil num discurso perante a sociedade filosófica de Cambridge na Inglaterra. Este motor utilizava uma mistura de hidrogênio e ar. Em 1838 o inventor inglês William Barnett, construiu um motor monocilíndrico a gás que tinha câmara de combustão tanto na cabeça quanto na base do pistão. Este motor queimava uma mistura gasosa em vez de combustível líquido.

O primeiro motor à gás prático, foi construído em 1860 por um francês chamado Jean Joseph Étienne Lenoir. Este motor utilizava gás como combustível onde a ignição do combustível era fornecida por um sistema com bateria. Dentro de poucos anos, aproximadamente 400 desses motores foram construídos para operar uma variedade de máquinas, tais como tornos e máquinas de impressão.

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. Otto e Langen também construíram um motor de dois tempos.

Nos Estados Unidos, George B. Brayton, um engenheiro, construiu um motor a gasolina e o exibiu em 1876 numa exposição na Filadélfia. 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. Um motor semelhante foi construído por Karl Benz na Alemanha no mesmo ano.

O primeiro motor usado com sucesso na aviação foi aquele usado pelos irmãos Wright em 17 de dezembro de 1903. Este motor foi projetado e construído pelos irmãos Wright e pelo mecânico Charles Taylor. O motor tinha quatro cilindros em linha, refrigerado a água e com 3932 cc de cilindrada; tinha válvula na cabeça e ignição por meio de um sistema usando magneto.

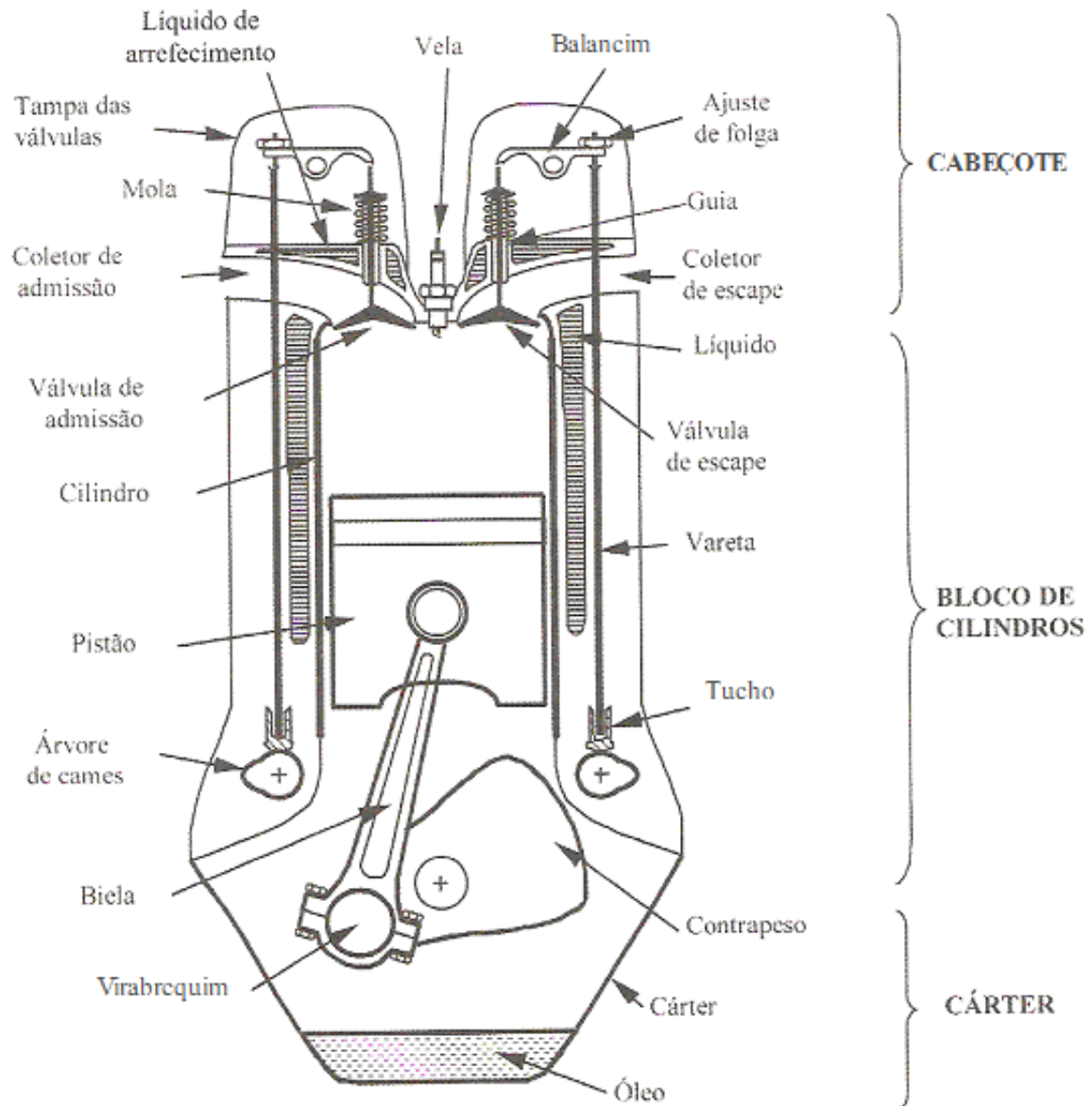
O grande desenvolvimento e uso dos aviões na primeira guerra mundial, contribuíram bastante para o aprimoramento dos motores de combustão interna. Um tipo de motor que foi muito utilizado era o motor radial refrigerado a ar. Os motores radiais rotativos ficaram conhecidos e foram fabricados por LeRhône, Gnome-Monosoupape e Bentley. Nestes motores o virabrequim era fixado na estrutura do avião e a hélice era presa à carcaça do motor. Estes motores tinham duas desvantagens: o efeito giroscópico das massas rotativas e o uso de óleo vegetal como lubrificante que quando respirado pelos pilotos, provocava náuseas.

Um grande número de motores em V também foi desenvolvido durante a primeira guerra mundial. Entre estes motores estavam os Hispano-Suiza V-8, os Rolls-Royce V-12 e muitos outros incluindo Mercedes Benz e BMW.

Após a primeira guerra mundial, White (1994), outros diferentes tipos de motores foram desenvolvidos. Alguns destes motores com configurações não muito usuais, tais como:- a) Szekeley, radial e três cilindros; b) Napier - Rapier, inglês e de 16 cilindros em H; c) Napier – Lion, inglês de 12 cilindros em W; d) Viking, americano de 16 cilindros em X.

Quanto a estrutura dos motores de ignição por centelha 4 tempos tem-se evidenciado na figura 4.

Figura 4 – Configuração de um motor de combustão interna.



Fonte: (MARTINS, 2013).

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

1.3 Motivação e possíveis contribuições

A principal motivação para o presente trabalho foi a ausência de uma tecnologia nacional específica para desenvolvimento de motores de combustão interna. Através de uma pesquisa verificou-se que existem empresas que fabricam este tipo de motor. Ora, se os motores produzidos por estas empresas são absorvidos pelo mercado mundial porque o Brasil não poderia também fazer parte deste grupo?

Um dos poucos registros, senão o único de projeto e fabricação de um motor com tecnologia nacional, é datado da década de 1970. Este motor foi desenvolvido pelo DCTA, São José dos Campos - SP, para funcionar com álcool, com o intuito de abastecer a frota de automóveis pesados, para transporte de carga ou pessoas, quanto da crise do petróleo. Infelizmente apenas poucas unidades foram realmente instaladas e testadas antes que o projeto fosse cortado das prioridades do governo e esquecido nas prateleiras do DCTA. Atualmente o motor está em exposição no Memorial Aeroespacial Brasileiro (MAB), São José dos Campos SP, figura 5.

Figura 5 – Protótipo do motor brasileiro.



Fonte: (ANDRADE, 2012).

Uma contribuição esperada deste trabalho é a obtenção e divulgação da tecnologia para a fabricação de motores de combustão interna e assim tornar o Brasil independente dos países que atualmente são fornecedores deste tipo de equipamento.

1.4 Trabalhos anteriores relacionados

O cabeçote deste trabalho é parte integrante de um projeto desenvolvido pelo Prof. Dr. João Zangrandi Filho desde 2008. A primeira parte do projeto foi realizada por Everaldo Pinheiro Bruno (BRUNO, 2008) e foi constituída da parte alternativa do motor, figura 6. A segunda parte do projeto consta do presente trabalho.

Figura 6 - Parte alternativa do motor



Fonte: (PRÓPRIO AUTOR).

Para construção da parte alternativa foram usados os seguintes materiais: a estrutura foi soldada a partir de chapas de aço SAE 1020, o cilindro que foi usinado a partir de um tarugo cilíndrico de ferro fundido cinzento G3000 e a biela e o virabrequim foram usinados em aço SAE 1045.

A segunda parte do projeto é referenciada no trabalho do Everaldo, isto se deve pelos parâmetros de funcionamento, dimensões externas e pelas características de montagem já estabelecidas.

A manufatura, tanto da parte alternativa quanto do cabeçote proposto neste trabalho, levou em consideração a capacidade operacional dos laboratórios e oficinas da Faculdade de Engenharia de Guaratinguetá –FEG UNESP.

1.5 Objetivo

Desenvolver o projeto e usinar um cabeçote para um motor estacionário de 400 [cc] de 4 tempos com válvulas na cabeça e refrigerado a ar.

1.5.1 Objetivos específicos

- ✓ Desenvolver dentro do Campus da Faculdade de Engenharia de Guaratinguetá - UNESP, uma tecnologia para construção deste cabeçote;
- ✓ Elaborar uma metodologia, ou melhor, o processo para a usinagem deste cabeçote utilizando as máquinas disponíveis neste campus;
- ✓ Através da utilização de dados de trabalhos anteriores relativos ao projeto do motor, determinar os parâmetros necessários para se obter o desenho de conjunto do cabeçote;
- ✓ Estudar como obter os ajustes necessários com as ferramentas disponíveis;
- ✓ Montar o cabeçote seguindo um roteiro previamente definido.

1.6 Metodologia utilizada

A metodologia utilizada para a realização das várias etapas deste trabalho foi:

- ✓ **Pesquisa bibliográfica:** desenvolvida com a finalidade de se obter o maior número de informações possíveis sobre o projeto deste tipo de máquina. Através da análise minuciosa dos catálogos de fabricantes foi possível verificar os desenhos em corte e entender o funcionamento dos mecanismos. Também foram realizadas visitas nas bibliotecas da UNESP e UNIFEI, assim como sites da internet, com o objetivo de estudar a literatura existente sobre tipos de cabeçotes;
- ✓ **Pesquisa tátil-visual:** onde vários cabeçotes foram desmontados para se estudar os tipos de usinagem, graus de acabamento das peças, mecanismos de funcionamento, materiais utilizados, tipos de vedação, etc. Esta etapa foi importante, pois a utilização de informações sobre máquinas já existentes racionaliza o tempo e

condiciona a confiabilidade na usinagem destas peças. Esta etapa foi realizada no laboratório da Faculdade de Engenharia de Guaratinguetá – UNESP, em Guaratinguetá;

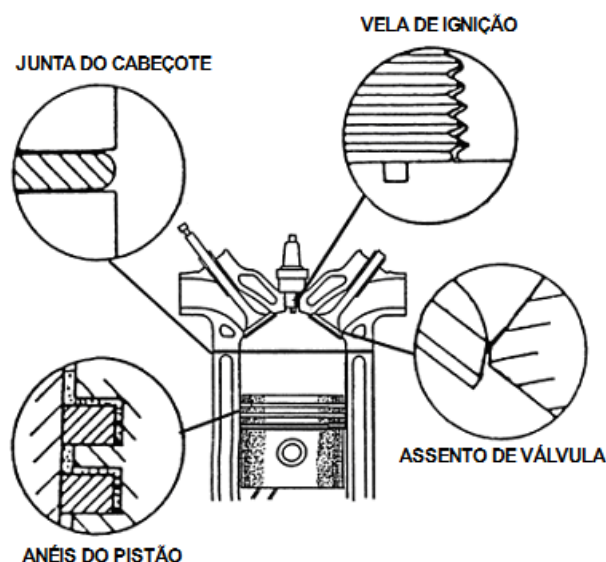
- ✓ **Pré-dimensionamento:** os cálculos foram executados a partir de dados de projeto anterior deste campus;
- ✓ **Fase desenho – cálculo – desenho:** O desenho foi iniciado utilizando-se os cálculos preliminares. Em seguida, é necessário parar o desenho, pois faltam dados para a sua continuidade. Deve-se, então, voltar aos cálculos. De posse das novas informações calculadas, pode-se regressar ao desenho. Este processo é dinâmico e continua até a finalização do desenho de conjunto;
- ✓ **Estudo dos ajustes:** nesta etapa o modo com que as peças são interligadas é analisado, de tal forma garantir a precisão nos ajustes da máquina;
- ✓ **Cotagem:** Os desenhos são cotados levando-se em consideração as tolerâncias determinadas na fase anterior;
- ✓ **Usinagem:** Foi realizado o planejamento de usinagem do cabeçote, de tal forma que a sua seqüência fossem rigidamente seguida, a fim de não perder o blank e não perder as etapas feitas anteriormente;
- ✓ **Montagem:** nesta etapa foi realizada a montagem do cabeçote, constituída do cabeçote propriamente dito, das válvulas, das molas e acessórios, e da vela;

2 REVISÃO DE LITERATURA

Apesar da crescente preocupação com relação às emissões de poluentes e com a diminuição das reservas de petróleo; para os próximos 30 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 (CORONADO, 2009). 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.

Segundo Alkidas (1998), em pesquisa sobre as causas de emissões de hidrocarbonetos pelos motores, os principais motivos apontados são a folga entre cilindro e pistão e a posição dos anéis no pistão, figura 7. O autor argumenta que alterando a posição dos anéis no pistão, bem como, chanfrar a parte superior do pistão são formas de queimar a mistura ar combustível acumulados nestes pontos e assim reduzir a liberação de hidrocarbonetos em aproximadamente 40%.

Figura 7 – Folgas no conjunto cabeçote bloco de um motor de combustão interna.



Fonte: (ALKIDAS, 1998).

Uma característica importante no desempenho dos motores é a taxa de compressão. Costa e Sodré (2011) sugerem a utilização de um dispositivo que altere a taxa de combustão dos motores, principalmente motores que utilizem dois combustíveis, não são para dar

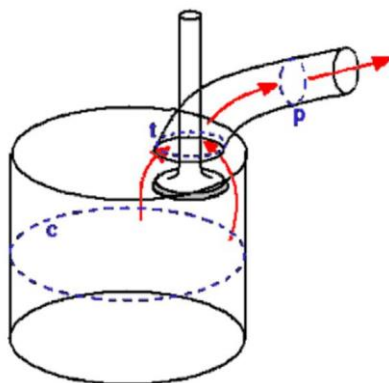
condições de extrair a máxima energia dos combustíveis, mas também evitar o surgimento do knocking e aumentar o rendimento do motor.

Em pesquisas realizadas por Kemal, Sayin e Canakci (2014) foi investigada a influência da taxa de compressão em motores que utilizam dois ou mais tipos de combustíveis misturados. A conclusão é que a taxa de compressão melhora significativamente o desempenho do motor. Os autores sugerem que para melhorar ainda mais o rendimento, deve-se ter o controle dos tempos de admissão e compressão, dependentes do tipo e da quantidade de cada combustível na mistura admitida no interior do cilindro.

Segundo Kutlar, Arslan e Calik (2005), a melhora na performance dos motores está no uso associado de diversas tecnologias. Entre as tecnologias pesquisadas pelos autores estão: a variação da taxa de compressão, o controle dos tempos de admissão, compressão e exaustão, a variação do tempo e comprimento de abertura das válvulas de admissão e exaustão dependendo da carga do motor, o uso de turbo-compressor, a admissão de carga estratificada e o controle dos cilindros em operação quando do tipo de carga do motor. Os autores concluem que destas tecnologias a admissão de carga estratificada e o controle dos cilindros em funcionamento dependendo do tipo de carga no motor, são as que apresentam melhor relação entre performance, emissões e consumo do motor.

O aumento do diâmetro das válvulas e comprimento de abertura, dependendo do tipo de carga do motor, são relevantes no rendimento dos motores (CAIRNS, 2013; NAJJAR, GHAZAL e AL-KHISHALI, 2013), figura 8. O aumento no diâmetro das válvulas reduz as perdas por bombagem do motor e evita o uso de turbo-compressor, já a variação do comprimento de abertura das válvulas permite a admissão de quantidade ideal de mistura ar combustível, reduzindo assim o consumo de combustível e as emissões do motor.

Figura 8 – Abertura da válvula.



Fonte: (NAJJAR, GHAZAL e AL-KHISHALI, 2013).

Chun, Kim e Hong (2007) pesquisaram os efeitos do número de ciclos do motor nas sedes e guias de válvulas. A pesquisa evidenciou que o desgaste das válvulas cresce de maneira linear ao aumento do número de ciclos do motor. Os fatores associados a esse desgaste são, principalmente, lubrificação, desalinhamento das válvulas com relação aos seus insertos, afinidade entre os materiais das válvulas e dos respectivos insertos e a rotação do motor, sendo este último o de maior influência.

A combustão de mistura pobre num motor é um dos métodos para se reduzir as emissões (principalmente NOx) e aumentar a eficiência do motor pela queda do pico de temperatura de combustão. Entretanto a combustão da mistura pobre é lenta, incompleta e instável, assim diminuindo o BMP (SZWAJA, JAMROZIK E TUTAK, 2013). Afim de se obter uma combustão rápida e estável de misturas ar combustível pobres, os autores usaram um sistema de pré-câmara de combustão (similar ao usado em alguns, motores Diesel), figura 9. Na pré-câmara de combustão é admitido uma mistura ar combustível praticamente estequiométrica, enquanto no cilindro é admitido uma mistura pobre, maior quantidade de ar. A combustão da mistura estequiométrica na pré-câmara inicia a combustão da mistura pobre do cilindro, esta de forma rápida e estável. A conclusão da pesquisa indica a diminuição das emissões de NOx, a manutenção da potência do motor (quando comparado ao motor sem o dispositivo de pré-câmara de combustão) e que o consumo de combustível e permaneceu o mesmo.

Figura 9 – Pré-câmara de combustão.

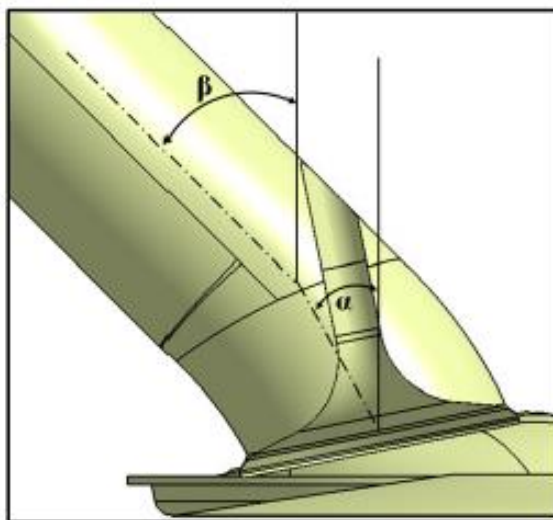


Fonte: (SZWAJA, JAMROZIK E TUTAK, 2013).

Caton (2012, 2013) estudou a influência dos tempos de admissão compressão e exaustão no rendimento dos motores. Os resultados da pesquisa evidenciam que o tempo de abertura das válvulas influencia significativamente a performance do motor, dependendo da carga do motor. Contudo, não foi levado em questão a qualidade nem o monitoramento da mistura ar combustível no cilindro (velocidade de combustão da mistura).

A maneira mais eficiente de promover uma combustão rápida e estável é pela formação de turbulência na mistura ar combustível, Brusiani, Falfari e Cazzoli (2014). A fim de promover essa turbulência os autores estudaram os efeitos da geometria do duto de admissão, cuja principal conclusão é que a angulação da válvula com relação ao eixo do cilindro (ângulo α°) é o que mais influenciou na formação da turbulência, figura 10.

Figura 10 – Geometria do duto de admissão.

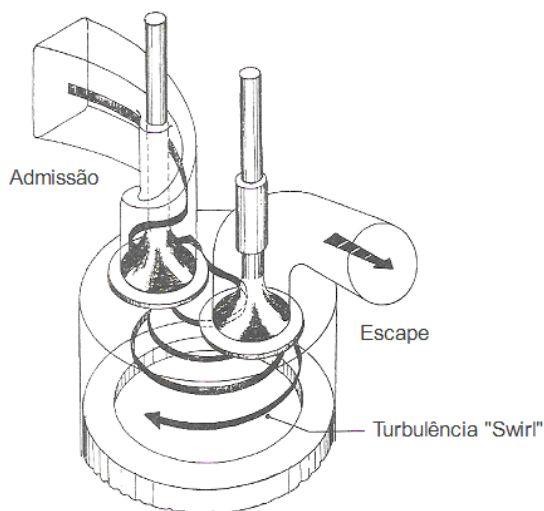


Fonte: (BRUSIANI, FALFARI E CAZZOLI, 2014).

Stone (1993), mostra uma introdução aos motores de combustão interna; analisa princípios termodinâmicos, os processos de admissão e exaustão assim como considerações sobre o projeto mecânico.

Heisler (1995), é um livro que fornece muitas informações úteis ao projetista; analisa de forma bastante clara o mecanismo das válvulas e do comando de válvulas, bem como a influência exercida pelo arranjo e geometria das válvulas e câmara de combustão na formação de turbulência na mistura ar combustível, figura 11; descreve também de modo muito claro o balanceamento e vibração dos motores monocilíndricos e multicilíndricos; analisa o desenho das câmaras de combustão assim como o sistema de ignição.

Figura 11 – Influência da geometria na formação de turbulência.



Fonte: (HEISLER, 1995).

2.1 Pesquisa tátil-visual de cabeçotes

Manuais antigos são ótimas referências de informações para a área de projeto. No manual Motor's Auto Repair, uma publicação americana de 1962, pode-se estudar os cortes de vários motores, assim como fotos e desenhos detalhados. Estas figuras foram úteis para se estudar o mecanismo de abertura e fechamento das válvulas, assim como informações sobre o curso de abertura. Também mostra os procedimentos de montagem e desmontagens das válvulas, auxiliando no projeto de uma ferramenta utilizada neste trabalho, figura 12.

Figura 12 – Ferramenta para colocação da mola da válvula.



Fonte: (PRÓPRIO AUTOR).

Uma importante etapa deste trabalho, ao contrário da pesquisa bibliográfica, permitiu ter contato direto com as peças estudadas. Foram feitos cortes de peças além daquelas que o departamento possuía em seu laboratório. Permitiu um estudo aprofundado do funcionamento dos vários cabeçotes, tais como, cabeçote de alguns motores: aeronáutico radial, Chevrolet 6 cilindros em linha, Chevette, Renault Gordini, Ford Corcel, Bernard e Browett. Todos estes motores foram cortados em planos previamente estudados.

O cabeçote do motor aeronáutico radial, figura 13, é de liga de alumínio MAS 4220 ou equivalente, com válvulas na cabeça. Os guias de válvulas são feitos de uma liga de alumínio – bronze, estanho bronze, ou aço. Devido a liga de alumínio do cabeçote não ser apropriada para suportar as cargas e as elevadas temperaturas dos gases de escape, as sedes de válvulas, são feitas de uma liga de aço cromo molibdênio e prensadas nos em suas posições. A parte interna do cabeçote, ou a câmara de combustão pode ser chata ou hemisférica. Um ponto que chama atenção neste cabeçote é a forma que eles são fixados no cilindro, normalmente rosqueados. Outra observação importante refere-se aos canais de admissão e de escape deste motor refrigerado ar; o duto de escape é aletado para refrigeração e o duto de admissão não é aletado.

Figura 13 -Cabeçote de motor radial aeronáutico.



Fonte: (PRÓPRIO AUTOR).

Através da pesquisa tátil-visual foi possível comparar os mecanismos de funcionamento, assim como os materiais diferentes utilizados em cada um destes elementos. Apesar de materiais diferentes todos eles comprovadamente funcionaram e ainda funcionam. Estas conclusões, por exemplo, o tipo de material, serviram para a decisão a ser tomada com referência a este projeto.

Outra análise importante, que não se pode concluir utilizando apenas informações bibliográficas, refere-se ao acabamento de cada ponto do cabeçote. Nesta pesquisa observa-se que o acabamento externo em geral é de fundição, em ferro fundido cinzento ou liga de alumínio. Praticamente não se encontra usinagem nestas regiões. As superfícies usinadas e normalmente paralelas são as de fixação, sendo estas a superfície inferior, onde o cabeçote será fixado ao bloco de cilindros, e a superfície superior onde será acoplada a tampa do cabeçote.

Pontos importantes, ainda com referência a acabamento, são as sedes das válvulas. São superfícies que devem ser retificadas. Também os furos de guia das válvulas necessitam de um cuidado especial quanto ao acabamento e o ajuste furo-haste, o qual deve ser deslizante e sem folga.

Quanto à lubrificação das partes adjacentes, tais como o balancim e seu eixo, é importante observar como eles são lubrificados, como o óleo chega nesses pontos e como ele retorna ao cárter do motor. No cabeçote do motor Chevrolet, 6 cilindros em linha, mostrado na figura 14, o óleo que a bomba impulsiona através de um duto de $\frac{1}{4}$ de polegada alimenta um tubo que serve de eixo para os balancins. Deste tubo o óleo alimenta através de pequenos furos cada balancim que por sua vez lubrifica seus dois extremos, aquele que pressiona o eixo da válvula e aquele que é acionado pela vareta.

Figura 14 - Cabeçote de um motor Chevrolet 6 cilindros.



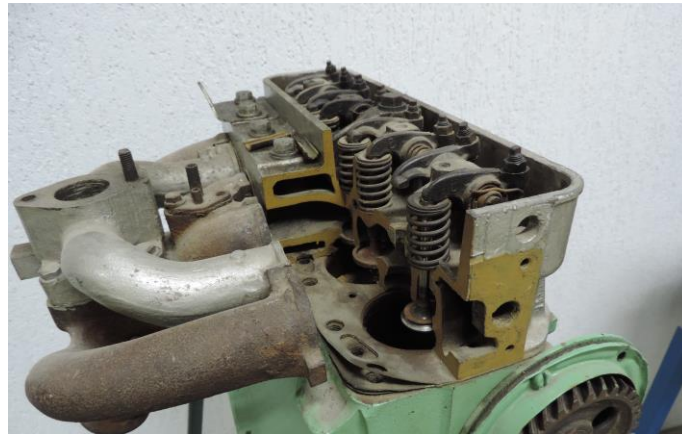
Fonte: (PRÓPRIO AUTOR).

No cabeçote do motor Gordini, 4 cilindros em linha, figura 15, pode-se observar claramente os insertos dos guias de válvulas que estão fixados diretamente no corpo de liga de

alumínio. Observa-se também que as sedes de válvulas não fazem parte diretamente do cabeçote; são insertos de outro material, normalmente de uma liga de aço.

Analizando o cabeçote do motor Ford Corcel, figura 16, nota-se muita semelhança com o motor Gordini. Ele não está cortado para mostrar os detalhes internos, mas os guias de válvulas, assim como as suas sedes, têm o mesmo tipo de construção e de matérias.

Figura 15 - cabeçote do motor Gordini.



Fonte: (PRÓPRIO AUTOR).

Figura 16 - Cabeçote do motor Ford Corcel.



Fonte: (PRÓPRIO AUTOR).

O motor estacionário Bernard apresenta uma configuração diferente de outros motores estacionários de mesma capacidade. A diferença mais significativa é a posição das válvulas. Elas são dispostas no cabeçote como na maioria dos motores veiculares. Uma observação também importante é o sistema de lubrificação do acionamento das válvulas. A lubrificação é

realizada por um sistema de névoa de óleo, não por salpique como acontece na lubrificação das peças internas no cárter. A figura 17 ilustra este motor de origem francesa.

Figura 17 - Motor estacionário Bernard.



Fonte: (PRÓPRIO AUTOR).

Outro motor estacionário de pequena potência que auxiliou nesta pesquisa é um motor de origem inglesa marca BROWETT. Este motor tem o cabeçote muito simplificado, pois as válvulas são colocadas no bloco, como mostrado na Figura 18. O que chama atenção neste motor são os guias das válvulas, onde o material do guia é o próprio material do cilindro, ferro fundido cinzento, como acontece nos motores veiculares Chevrolet 6 cilindros e no motor Chevrolet Chevette. O cabeçote é de liga de alumínio assim como o cárter.

Figura 18 - Motor estacionário BROWETT.



Fonte: (PRÓPRIO AUTOR).

O cabeçote de um motor Volkswagen, refrigerado a ar, é feito de uma liga de alumínio e possui aletas de refrigeração. Deve-se observar que os guias de válvulas também são de material mais resistente, no caso, uma liga bronze ao alumínio. As velas são rosqueadas no próprio material do cabeçote.

As válvulas são colocadas no cabeçote e a câmara de combustão não é hemisférica. Um item diferente neste tipo de cabeçote refrigerado a ar é que ele não tem junta de cabeçote, o próprio material do cabeçote é encaixado na camisa do cilindro de aço fazendo a vedação após aperto final. A figura 19 mostra um corte deste cabeçote.

Figura 19 - Cabeçote do motor Volkswagen.



Fonte: (PRÓPRIO AUTOR).

Esta análise tátil-visual foi importante para as decisões tomadas nas etapas seguintes de desenho de projeto, escolha de materiais, ajustes, usinagem, e montagem do cabeçote.

3 DESENVOLVIMENTO

3.1 Cálculo das dimensões principais do cabeçote

As características para o projeto e dimensionamento do cabeçote foram tomadas do trabalho do aluno Everaldo Pinheiro Bruno (BRUNO, 2008), orientado pelo Prof. Drº João Zangrandi Filho, e são:

- Taxa de compressão de 7:1;
- Potência no eixo do motor de 12 [cv];
- Refrigeração a ar forçado;
- Duas válvulas dispostas no cabeçote;
- Comando de válvulas no bloco do motor;
- Lubrificação forçada com bomba de óleo no bloco;
- Rotação nominal do motor de 3600 [rpm];
- Relação curso diâmetro 0,90 (86,0 [mm] e 77,5 [mm], respectivamente);
- Volume da câmara de combustão (V_{cc}) de 67610 [mm³];
- Pressão máxima na câmara de combustão (P_{2a}) igual a 43,52 [bar].

O torque do motor, a potência de saída e o consumo de combustível são profundamente influenciados pela taxa de compressão e pelas características e quantidade de válvulas de admissão e escape.

O objetivo do projeto de uma boa câmara de combustão é otimizar o preenchimento e o esvaziamento do cilindro com mistura fresca e gás queimado, respectivamente, sobre toda a faixa de operação do motor. Também é necessário criar condições no cilindro para que ar e combustível sejam completamente misturados e, também, condições para que esta carga seja queimada no menor tempo possível.

Para se adequar a capacidade operacional deste campus, na execução deste projeto, a câmara de combustão será de forma cilíndrica e concêntrica com o cilindro, acomodando as válvulas na parte superior, válvulas na cabeça, figura 20.

Como as válvulas e a vela praticamente não ocupam espaço dentro da câmara, a altura (h_{cc}) desta câmara será obtida pelas seguintes equações:

$$V_{cc} = 0,785 \times D_p^2 \times (h_{cc} - h_j)$$

Onde:

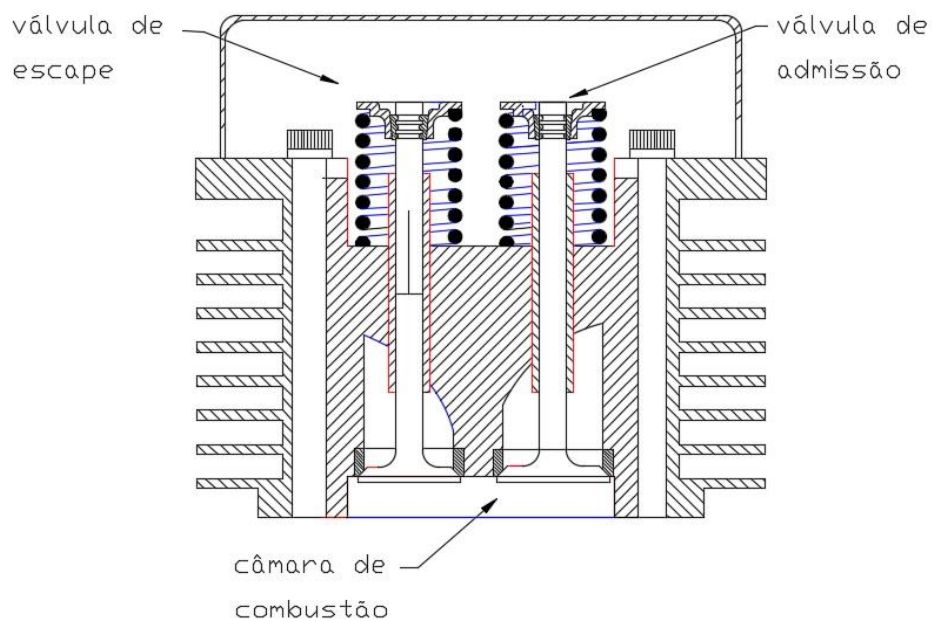
- : h_j é a altura da junta [mm];
- D_p é o diâmetro do pistão [mm].

$$h_{cc} = \frac{V_{cc}}{0,785 \times D_p^2} - h_j$$

$$h_{cc} = \frac{67610}{0,785 \times 77,5^2} - 1$$

$$h_{cc} = 13,3 \text{ [mm]}$$

Figura 20 - Corte do cabeçote mostrando detalhes da câmara e válvulas.



Fonte: (PRÓPRIO AUTOR).

3.1.1 Cálculo dos parafusos do cabeçote

Os parafusos que prendem o cabeçote ao cilindro devem resistir à força máxima devido à pressão máxima na câmara de combustão. Esta câmara tem uma área projetada (AP_{cc}) onde atua a pressão máxima igual a:

$$AP_{cc} = 0,785 \cdot D_p^2$$

Onde:

- D_p é o diâmetro do pistão [mm].

$$Ap_{cc} = 0,785 \times 77,5^2$$

$$Ap_{cc} = 4715 \text{ [mm}^2\text{]}$$

Sendo a pressão máxima na câmara de combustão (P_{2a}) igual a 43,52 [bar] ou 0,4352 [kgf/mm²], então a força máxima ($F_{\text{cabeçote}}$) será:

$$F_{\text{cabeçote}} = P_{2a} \cdot Ap_{cc}$$

$$F_{\text{cabeçote}} = 0,4352 \times 4715$$

Onde:

- AP_{cc} é a área projetada da câmara de combustão [mm²].

$$F_{\text{cabeçote}} = 2052 \text{ [kgf]}$$

Como os parafusos estarão submetidos a uma força muito variável, deve-se ter um coeficiente de segurança que leve em conta também a resistência à fadiga. O valor de coeficiente de segurança para este caso é $cs = 9,0$. Portanto a força nominal ($F_{\text{cabeçote nom}}$) será:

$$F_{\text{cabeçotenom.}} = 2052 \times 9,0$$

$$F_{\text{cabeçote nom.}} = 18468 \text{ [kgf]}$$

Adotando-se 6 parafusos de cabeça cilíndrica com sextavado interno, tem-se Força tensora (F_M):

$$F_M = 3078 \text{ [kgf]}$$

A partir do catálogo de parafusos TELLEP (2008), pág 44, obteve-se o parafuso *M10x1,5 com Classe de Resistência 12.9.*

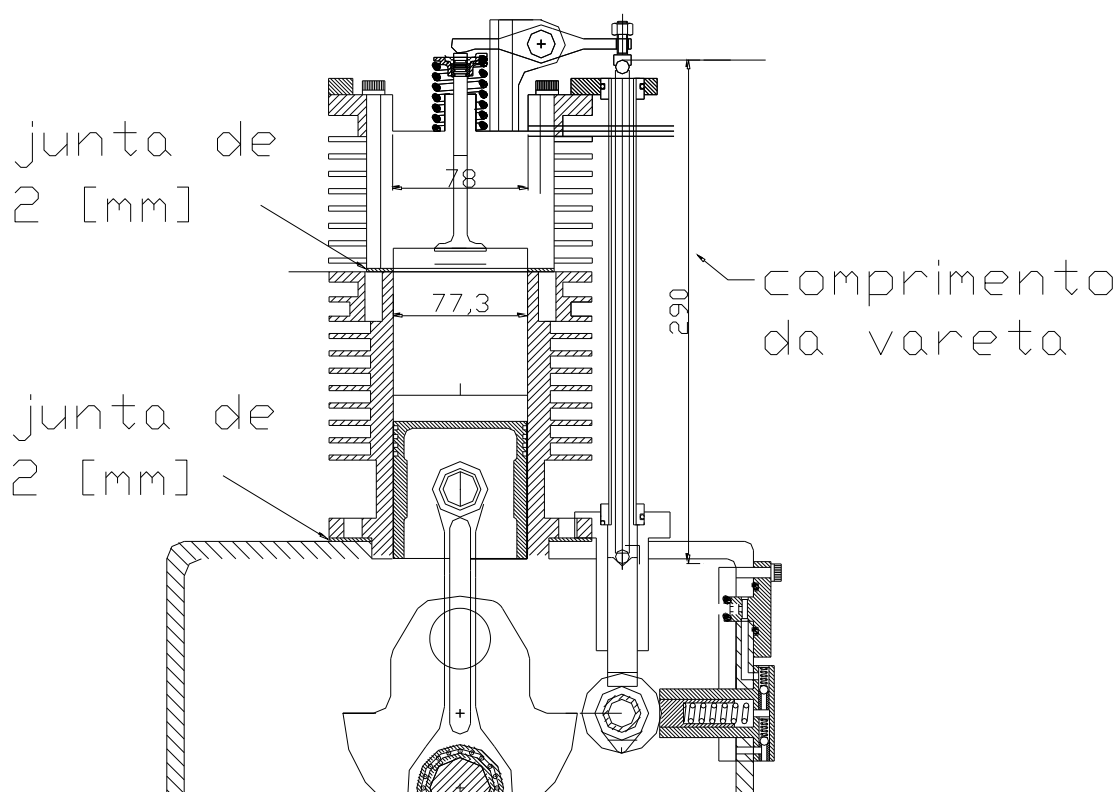
3.2 Desenho de conjunto do cabeçote

Utilizando os dados das pesquisas e do pré-dimensionamento torna-se possível iniciar o desenho de conjunto. É necessário levar em consideração que este cabeçote precisa ser confeccionado utilizando os equipamentos de usinagem disponíveis nos laboratórios e oficinas deste campus.

Como o cabeçote será totalmente usinado, nenhuma parte será fundida, ou forjada; este é um ponto que deve ser levado em consideração para o desenho do cabeçote. Os canais internos de escoamento tanto dos gases de admissão quanto os de escape deverão ser conformados por processo de usinagem. Da mesma forma as aletas de refrigeração deverão ser usinadas, as quais são fundidas ou injetadas nos cabeçotes de produção em série.

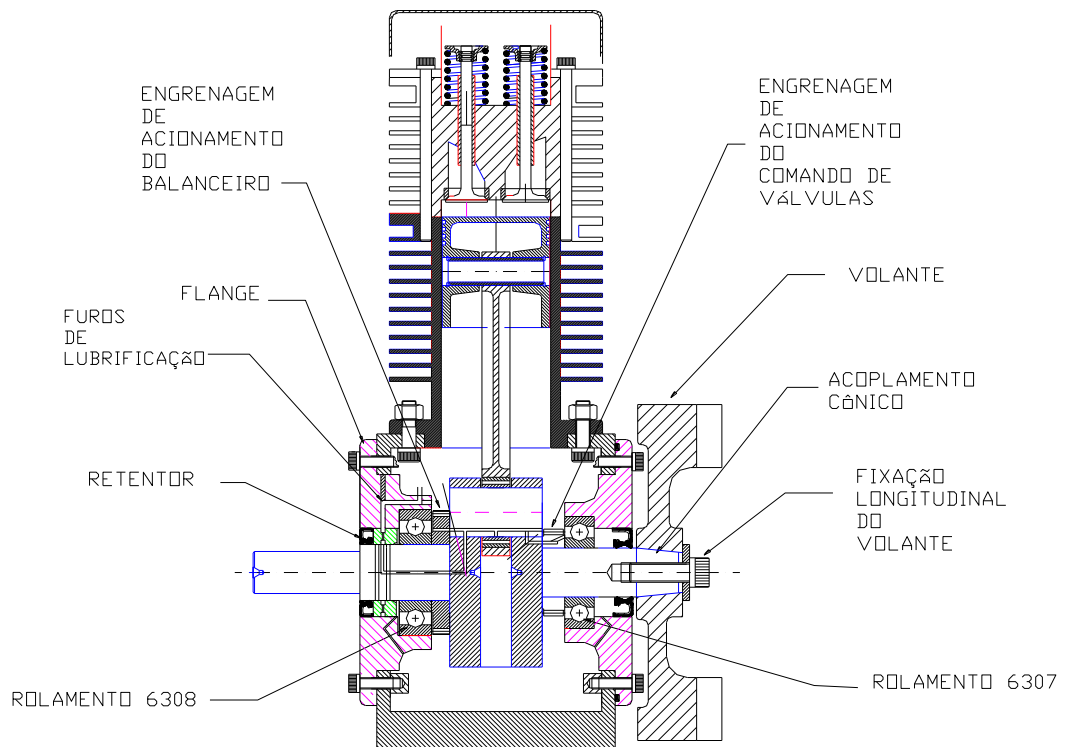
Assim como na indústria de produção seriada, onde as válvulas, as molas, os pratos de válvulas, as presilhas das hastes, e atualmente as sedes de válvulas, são peças adjacentes ao cabeçote, neste projeto estes componentes também serão agregados e não serão calculados. Todas as cotas dos componentes agregados serão extraídas da própria peça em questão e então inseridas no desenho de conjunto. No caso deste trabalho a sedes de válvulas não serão peças separadas, pois serão usinadas no próprio material do cabeçote, como no caso do Chevette e outros motores estacionários. Esta decisão facilita a execução do trabalho. A figura 21 mostra as medidas principais que o cabeçote necessita, tendo em vista a parte já construída do motor, figura 22, em trabalhos anteriores, Everaldo Pinheiro Bruno (BRUNO, 2008), orientado pelo Prof. Dr João Zangrandi Filho.

Figura 21 – Cotas principais do conjunto cabeçote bloco.



Fonte: (PRÓPRIO AUTOR).

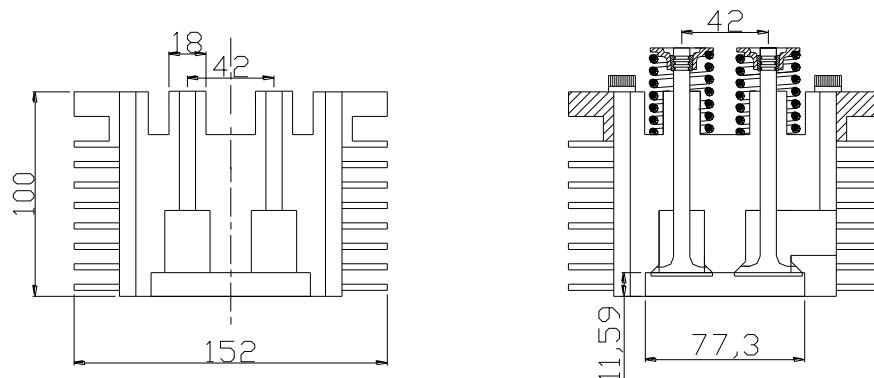
Figura 22 – Componentes já usinados.



Fonte: (BRUNO, 2008).

Para desenhar o cabeçote deve ser levado em conta o comprimento da vareta que aciona as válvulas, as dimensões do balancim, as medidas das válvulas, a câmara de combustão, os parafusos que prendem o cabeçote ao cilindro, o diâmetro do furo da haste das válvulas e dutos de admissão e escape. Todas essas considerações e informações iniciais são transformadas em cotas no desenho de conjunto, figura 23.

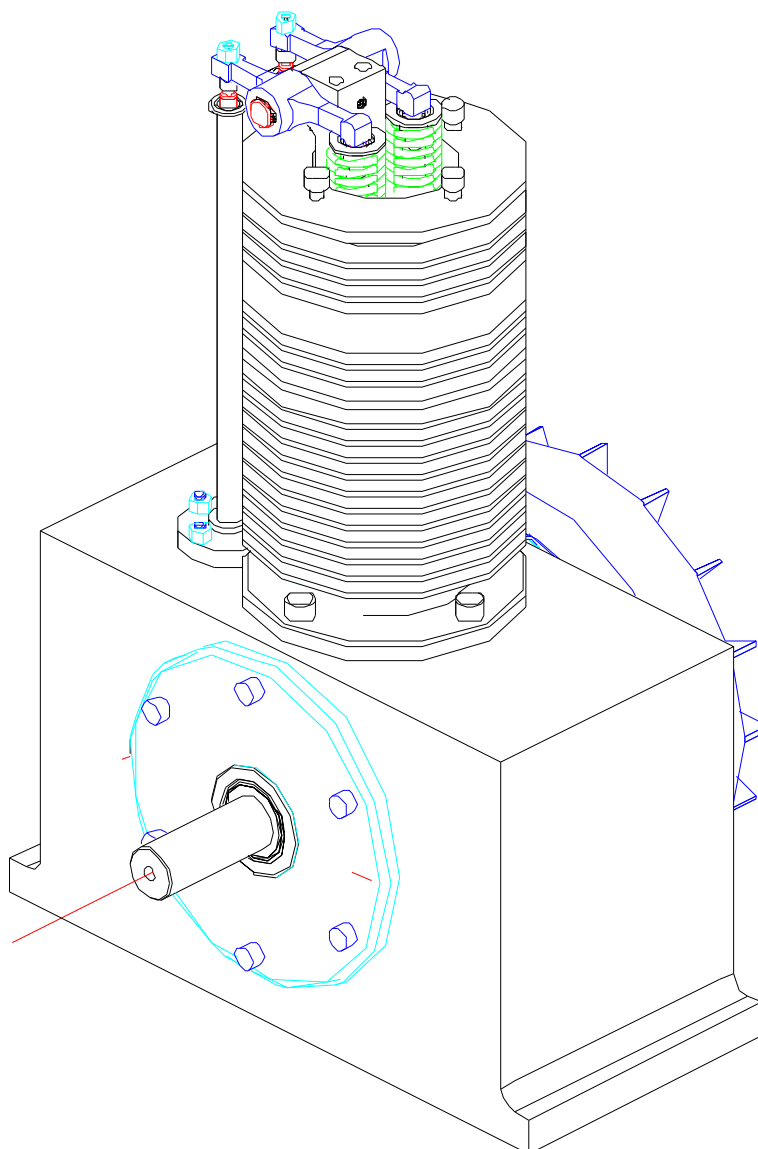
Figura 23 – Cotas do desenho de conjunto.



Fonte: (PRÓPRIO AUTOR).

Numa próxima etapa o auxílio de modelagem do cabeçote em 3D (usando o software AutoCad 2004) já pode ser aplicado, pois esta técnica é um caminho mais rápido para as definições do desenho de conjunto, figura 24. Com esta modelagem é possível detectar a interferência entre furos assim como descobrir outros problemas que não ficam claros apenas nos desenhos e vistas em 2D.

Figura 24 – Conjunto cabeçote, bloco e cárter.

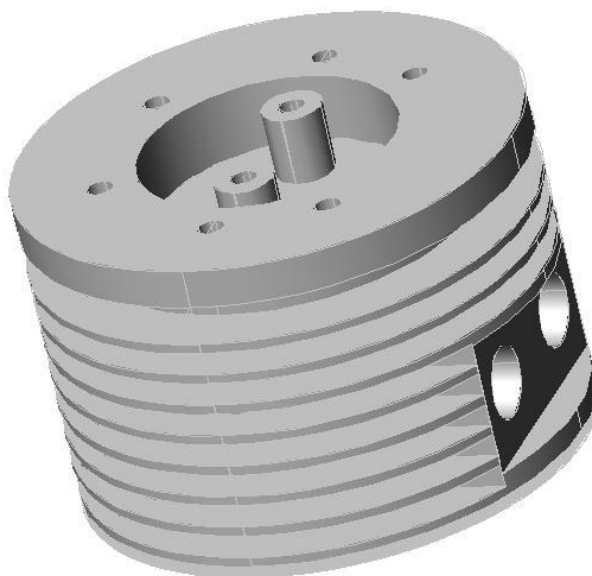


Fonte: (BRUNO, 2008).

Na figura 25, com auxílio da modelagem 3D, foi evidenciado que os 6 furos que fixam o cabeçote ao cilindro não poderiam ser igualmente espaçados, pois caso fossem, haveria interferência entre estes furos e os furos dos dutos de admissão e escape.

Analisando a modelagem 3D, figura 25, pode-se especificar a posição referente à face onde serão fixados o escapamento e o carburador, assim como os furos que se conectam as válvulas de admissão e escape.

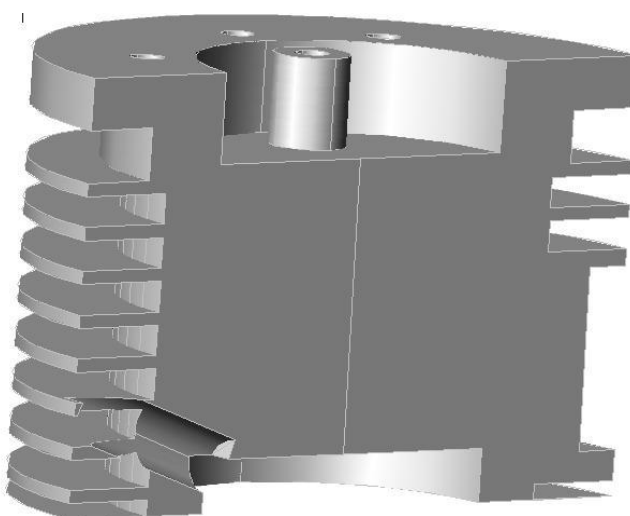
Figura 25 – Modelamento do cabeçote.



Fonte: (PRÓPRIO AUTOR).

E, ainda com este tipo de modelagem foi possível analisar, escolher e testar onde seria feito o furo para a fixação da vela de ignição, como mostrado na figura 26. A vela precisou ser colocada em um ângulo de 20° em relação à base inferior do cabeçote.

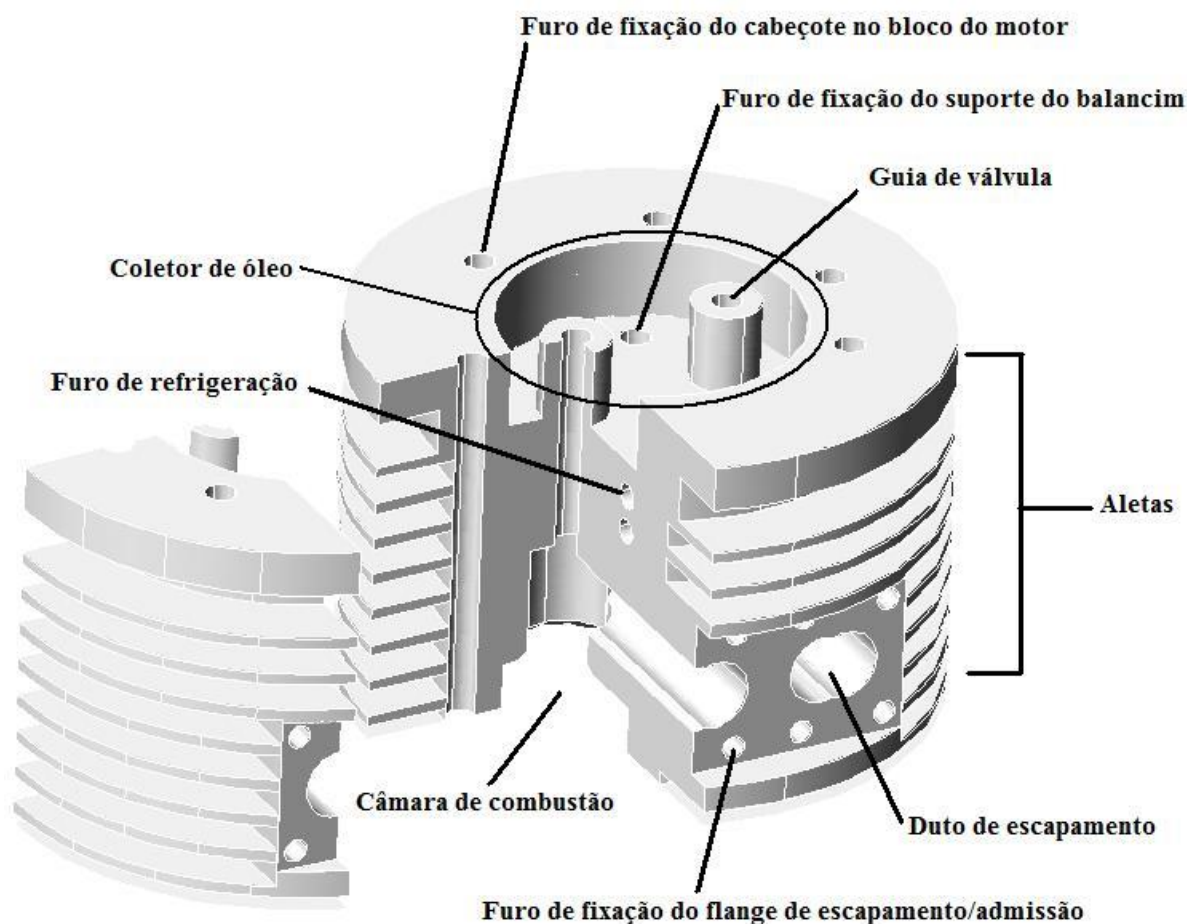
Figura 26 – Modelo em corte.



Fonte: (PRÓPRIO AUTOR).

Ao final do projeto obteve-se o modelamento do cabeçote, cujos principais elementos que o compõem estão evidenciados na figura 27.

Figura 27 – Corte parcial do cabeçote.



Fonte: (PRÓPRIO AUTOR).

Cada passo da modelagem foi analisado paralelamente com os procedimentos de usinagem, com a máquina-ferramenta a ser utilizada e com o roteiro de usinagem a ser seguido.

3.3 Usinagem do cabeçote

A usinagem do cabeçote se deu pelos seguintes passos e levou em consideração não somente a capacidade operacional dos laboratórios da faculdade como também o nível de complexidade das etapas de usinagem, começando pelas etapas mais complexas até as mais fáceis. Para a fabricação do cabeçote foram usados parâmetros de usinagem consagrados pela

literatura, levando em consideração que o material utilizado foi o Ferro Fundido Cinzento G3000 cujas propriedades estão descritas na tabela 1.

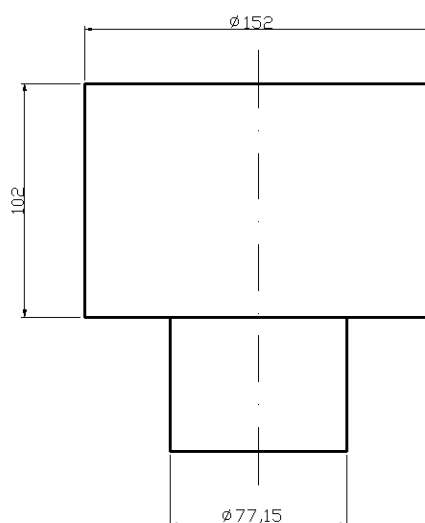
Tabela 1 – Características do Ferro Fundido Cinzento G 3000

Ferro Fundido Cinzento	Propriedades				Composição [%]				
	Limite de Resistência a Tração [kgf/mm ²]	Limite de Escoamento [kgf/mm ²]	Dureza Brinell	Resistência ao impacto [daJ/cm ²]	C	Si	Mn	P	S
G3000	200	9,0 – 11,5	170	0,2 – 0,6	3,10	1,90	0,60	0,15	0,15
			270		–	–	–		
					3,40	2,30	0,90		

1º PASSO

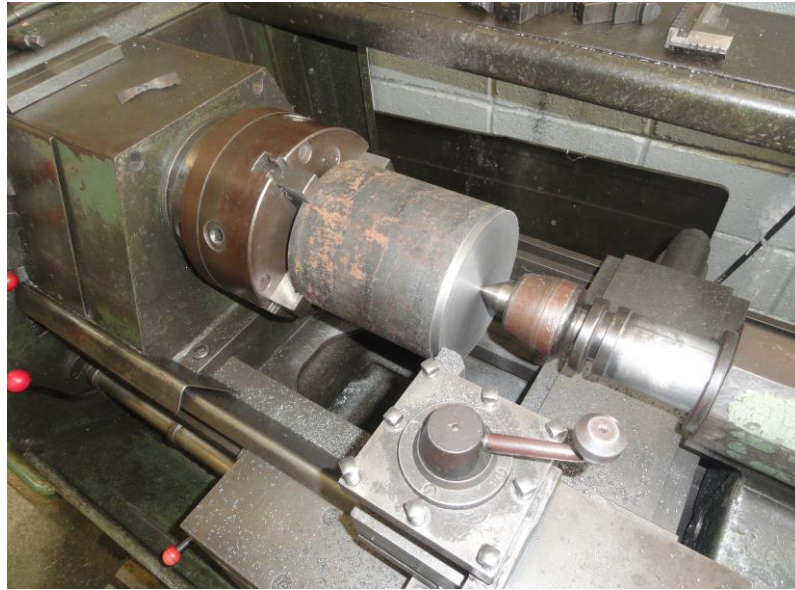
A partir do tarugo cilíndrico de ferro fundido cinzento com diâmetro de 180 mm e comprimento de 200 mm, figura 29, foi usinado um tarugo (blank). A usinagem foi executada num torno IMOR HBX com ferramenta de aço rápido. Depois de colocado na placa da máquina foi feito no tarugo um furo de centro usando uma broca de centro e posteriormente uma broca de 4 e 8 mm, isto para conseguir uma rigidez maior durante a usinagem. A etapa seguinte foi o desbaste do tarugo, em todo o seu comprimento, e a usinagem de uma parte cilíndrica menor (espiga) para melhorar a fixação do blank nas demais máquinas-ferramentas, segundo a figura 28 e 30. Por fim, foram realizados os faceamentos nas extremidades do blank.

Figura 28 - Dimensões externas principais do tarugo (apêndice 1).



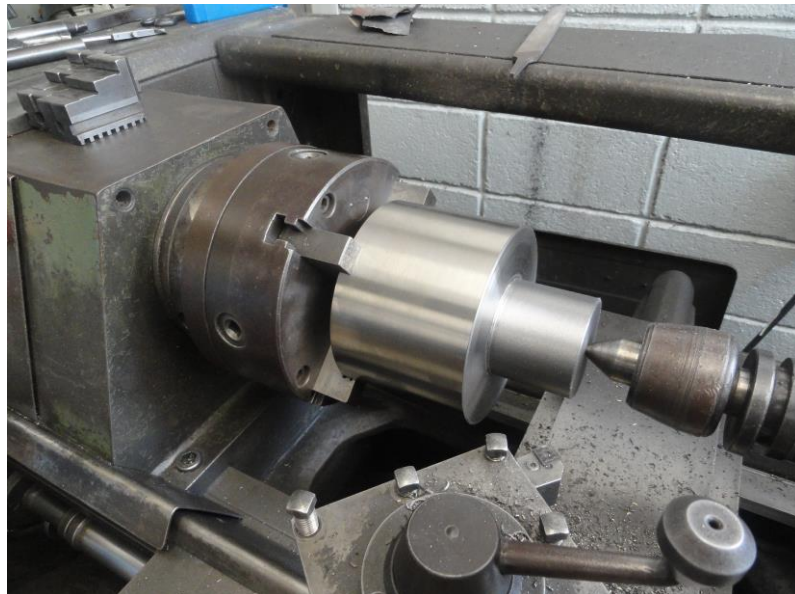
Fonte: (PRÓPRIO AUTOR).

Figura 29 - Usinagem do tarugo de ferro fundido cinzento.



Fonte: (PRÓPRIO AUTOR).

Figura 30 – Blank usinado.



Fonte: (PRÓPRIO AUTOR).

2º PASSO

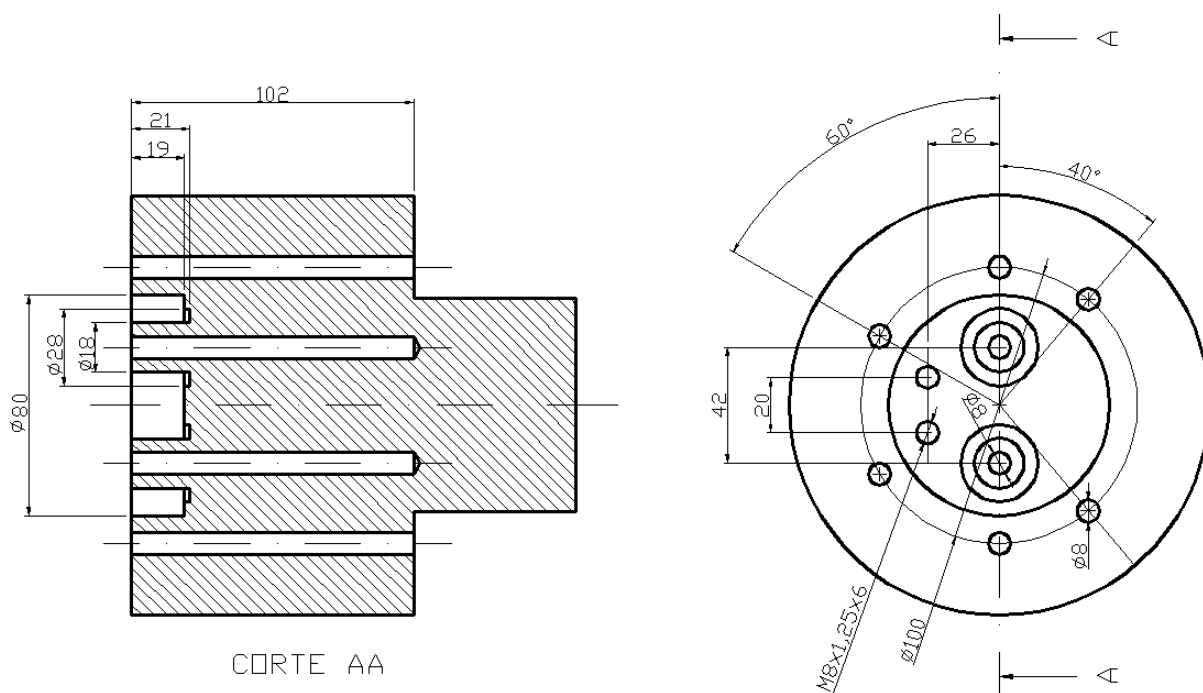
A parte superior do cabeçote, figura 31 foi usinada em uma broqueadeira VEB Mikomat 48. A fixação do blank na máquina-ferramenta se deu por uma placa de 3 castanhas presa a uma base giratória, esta fixada a mesa da broqueadeira e centrada com o eixo motriz (ferramenta). A procedimento para a usinagem da parte superior do cabeçote se deu em 3 partes, sendo elas, figura 32:

I: furos com broca de centro e posterior broca de 4 mm nas posições: centro do blank (referencial zero), guias de válvulas, furos de fixação do cabeçote no bloco do motor, furos de fixação do suporte de balancim e furos para alívio da usinagem do coletor de óleo; representados pela cor **vermelha** ;

II: para a execução do coletor de óleo primeiro foi feito a usinagem / rebaixo em torno dos guias de válvulas. Usando de uma ponta cônica no porta ferramenta (eixo motriz) foi alinhado o centro do furo do guia de válvula com o centro da mesa giratória, dessa forma, deslocando a mesa giratória em relação a ferramenta (fresa de topo com diâmetro de 10 mm) e aplicando rotação de 360° foi possível a usinagem em torno do guia de válvula, representa pela cor **azul escuro**. Usando da mesma posição e trocando a ferramenta por uma fresa de topo de diâmetro de 5 mm foi usinado o rebaixo para posicionamento da mola de fechamento da válvula, representado pela cor **azul claro**. Para a conclusão do coletor de óleo o centro do blank foi alinhado com o centro da mesa giratória e usando uma fresa de topo com diâmetro de 10 mm foram executadas as usinagens representadas pelas cores **magenta** e **verde**, respectivamente; Figura 33;

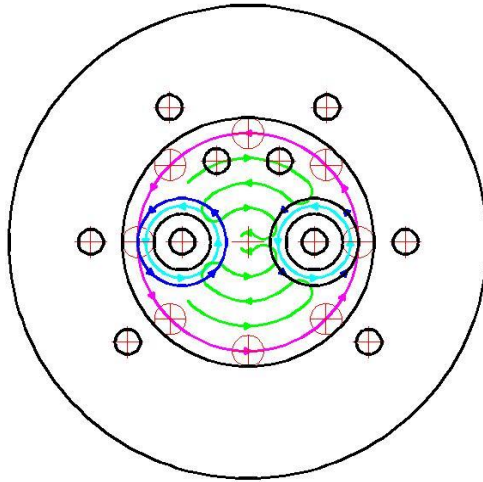
III: por fim os furos de guia de válvula, fixação do cabeçote no bloco do motor e fixação do suporte de balancim foram usinados com suas dimensões nominais, sendo 5/16", 10,0 mm e M8x1,25, respectivamente; figura 34.

Figura 31 - Dimensões dos elementos da parte superior do cabeçote (apêndice 2).



Fonte: (PRÓPRIO AUTOR).

Figura 32 – Sequência de usinagem da parte superior do cabeçote.



Fonte: (PRÓPRIO AUTOR).

Figura 33 - Usinagem da parte superior do cabeçote.



Fonte: (PRÓPRIO AUTOR).

Figura 34 - Parte superior do cabeçote usinada.



Fonte: (PRÓPRIO AUTOR).

3º PASSO

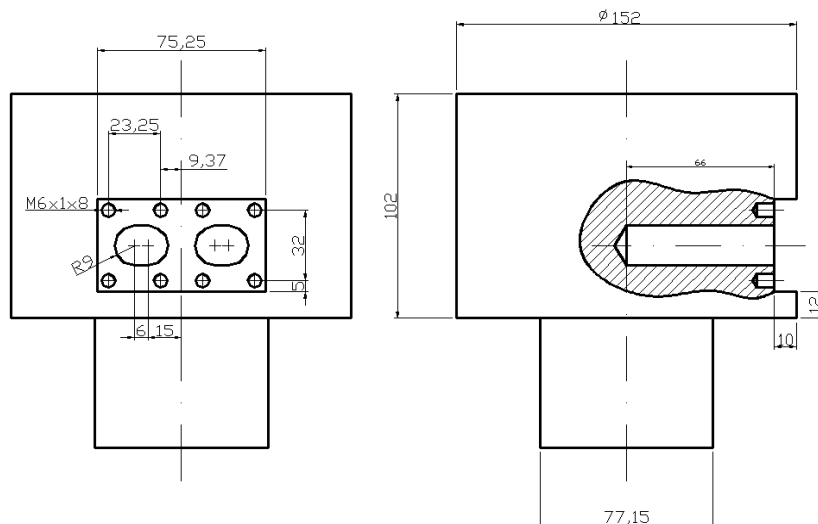
O flange para os dutos de escapamento e admissão, figura 35, foram usinados na broqueadeira, sendo que o cabeçote foi fixado na direção longitudinal por meio de uma morsa hidráulica. A usinagem foi realizada em 3 etapas (figura 36):

I: o faceamento do flange foi realizado com uma fresa de todo de diâmetro 20,0 mm, representado pela cor **verde**; figura 37;

II: furos de centro com broca de centro e posterior brocas de diâmetros 4 mm (furos de fixação do escapamento e carburador) e 4, 8, 12, 16 e 18 mm (furos dos dutos de admissão e escapamento), representados por **vermelha**; figura 38;

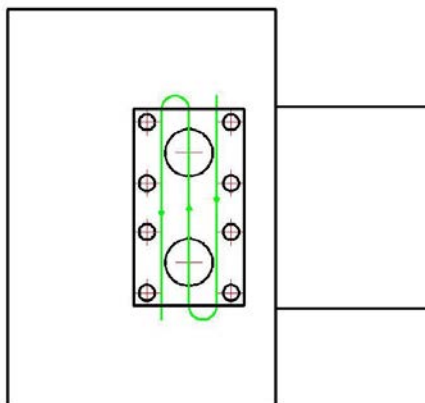
III: e por fim foram realizados os rosqueamentos nos furos de fixação do escapamento e do carburador;

Figura 35 - Dimensões do flange (apêndice 3).



Fonte: (PRÓPRIO AUTOR).

Figura 36 – Sequência de usinagem do flange e dutos de admissão e escape.



Fonte: (PRÓPRIO AUTOR).

Figura 37 - Usinagem do flange para os dutos de admissão e escape.



Fonte: (PRÓPRIO AUTOR).

Figura 38 – Usinagem dos furos para admissão e escape.



Fonte: (PRÓPRIO AUTOR).

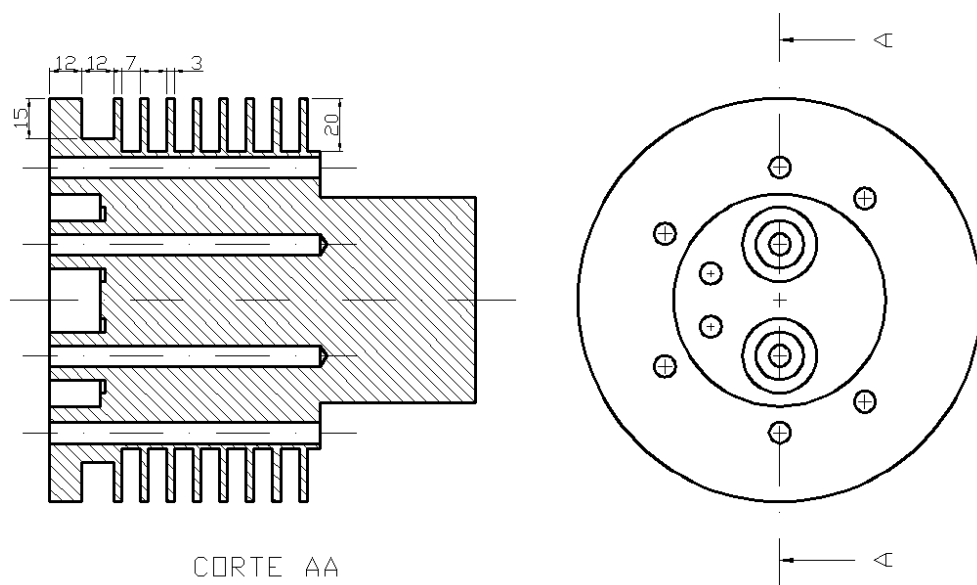
4º PASSO

As aletas de refrigeração foram usinadas no centro de usinagem DMG DMU50eco, conforme figura 39. Foi utilizado uma fresa de disco, diâmetro 110 mm e espessura de 7 mm, com um prolongador de eixo de 210 mm de comprimento para a usinagem das aletas, figura 41. As etapas da usinagem foram, figura 40:

I: fixação, centragem e programação da máquina (de acordo com software próprio da máquina);

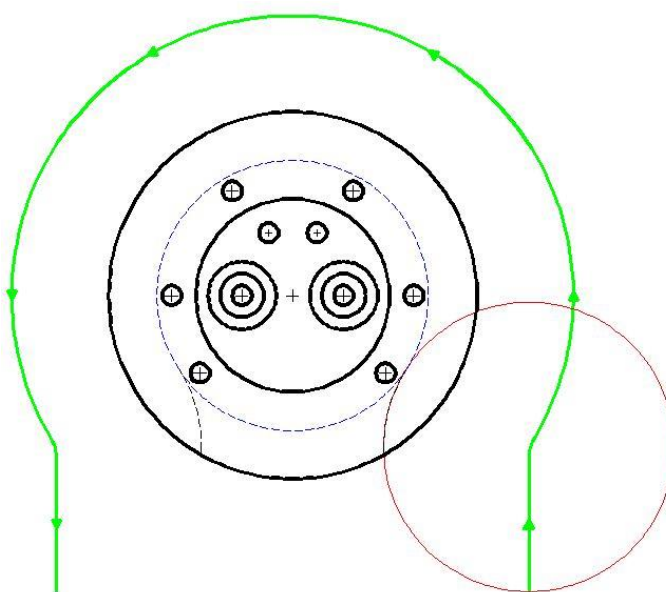
II: usinagem das aletas seguindo a trajetória representada pela cor **verde**, sendo a ferramenta representada pelo círculo **vermelho**; as 3 primeiras aletas (de cima para baixo) tiveram trajetória de 360°.

Figura 39 - Dimensões das aletas de refrigeração (apêndice 4).



Fonte: (PRÓPRIO AUTOR).

Figura 40 – Sequência de usinagem das aletas de refrigeração.



Fonte: (PRÓPRIO AUTOR).

Figura 41 - Usinagem das aletas de refrigeração.

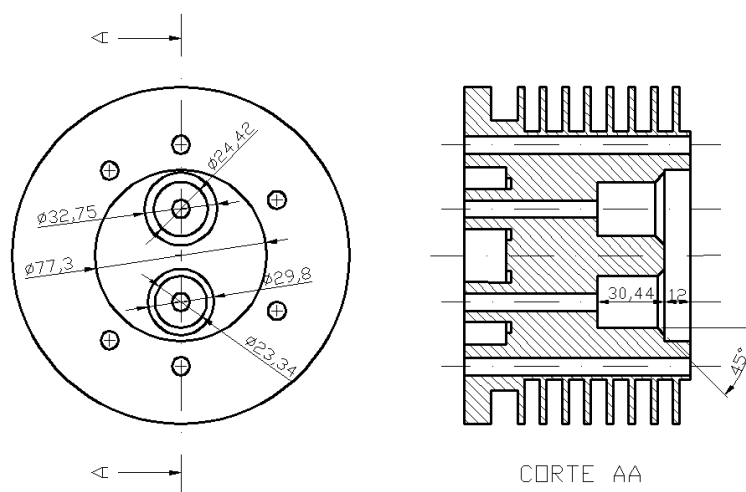


Fonte: (PRÓPRIO AUTOR).

5º PASSO

A retirada da espiga, bem como da câmara de combustão foi realizada no torno IMOR HBX, utilizando uma ferramenta de aço rápido, figura 42. Para a furação dos dutos de escapamento e admissão utilizou-se a marcação do furo de guia de válvula para a centragem do cabeçote na broqueadeira seguindo a seqüência de brocas 12, 16, 18, 20 e 22 mm, figura 43. A sede de válvula foi usinada com um escareador de 45°, duas arestas de corte e diâmetro de 26 mm, fornecida pela empresa Kedal, Lorena SP, parceira da FEG, aos cuidados do sr. Lorenzo.

Figura 42 - Dimensões da câmara de combustão (apêndice 5).



Fonte: (PRÓPRIO AUTOR).

Figura 43 - Usinagem da câmara de combustão.

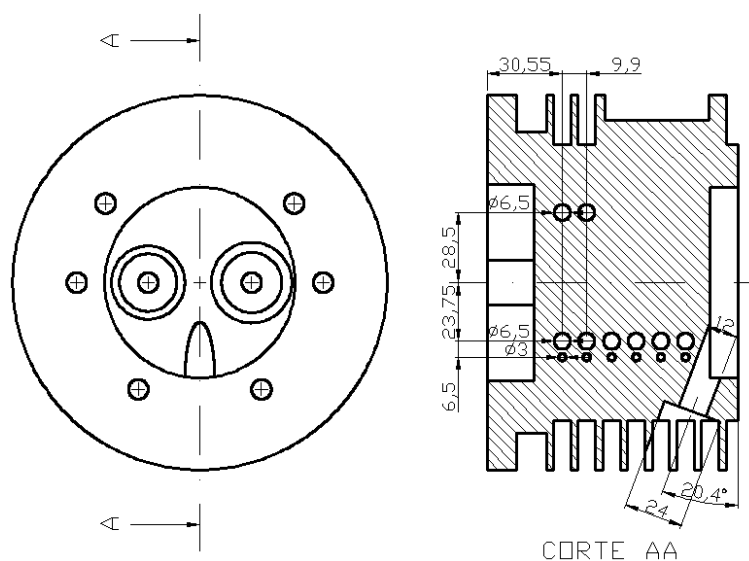


Fonte: (PRÓPRIO AUTOR).

6º PASSO

Para o furo da vela foram utilizados: uma mesa de seno, laboratório de metrologia do departamento de materiais e tecnologia, e a broqueadeira. Para executar a usinagem com a angulação de 20° , figura 44, primeiramente foram rebaixadas algumas aletas usando uma fresa de topo de diâmetro 24 mm e posteriormente, usando uma broca de centro e a seqüência de brocas de diâmetros 4, 6, 8 e 10 mm fez a furação e por fim realizou-se a rosca para a vela de ignição, figura 45 e 46. Utilizando-se da fixação do cabeçote, fez-se as furações para a circulação do ar para refrigeração do motor, seguindo a seqüência de brocas: broca de centro e 1,5 mm (furos de diâmetro menor) e broca de centro, 2, 3 mm (furos de diâmetro maior) tomando o cuidado de não passar nem pelos dutos, nem pelos guias de válvula.

Figura 44 – Dimensões para furo da vela de ignição (apêndice 6).



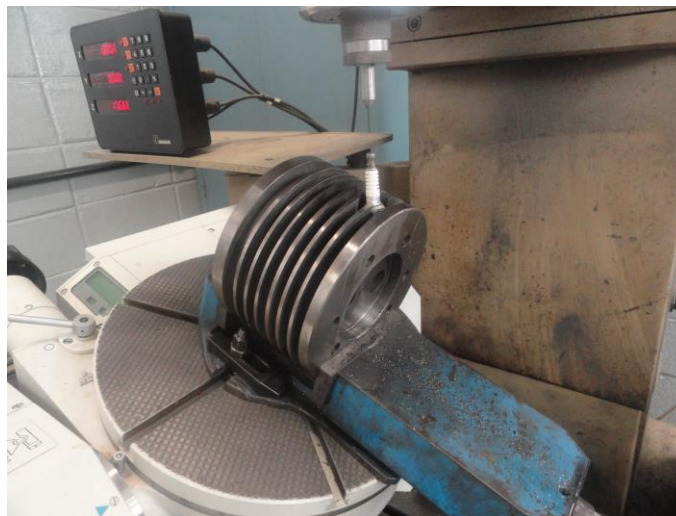
Fonte: (PRÓPRIO AUTOR).

Figura 45 - Usinagem do furo da vela de ignição.



Fonte: (PRÓPRIO AUTOR).

Figura 46 - Vela de ignição montada.



Fonte: (PRÓPRIO AUTOR).

A remoção dos cantos vivos, provenientes dos procedimentos de usinagem, e o arredondamento dos dutos de escapamento e admissão foram executados por meio de trabalho manual de ajustagem usando uma micro-retífica.

4 RESULTADOS

4.1 Montagem do cabeçote

A montagem do cabeçote inclui relativamente poucas peças: o cabeçote, as molas, as válvulas de admissão e escape, o prato das molas e as travas cônicas e a vela de ignição, figura 47.

Figura 47 - Componentes do conjunto do cabeçote.



Fonte: (PRÓPRIO AUTOR).

- Primeiro passo: introduzir a haste de cada válvula, admissão e escape no seu respectivo furo como demonstrado na figura 48.

Figura 48 - Hastes das válvulas inseridas nos respectivos furos guias.



Fonte: (PRÓPRIO AUTOR).

- Segundo passo: Colocar as molas nos seus furos guias; As molas das válvulas são encaixadas nos furos guias concêntricos com os furos de guia das válvulas, como demonstra a figura 49.

Figura 49 - Posicionamento das molas das válvulas.



Fonte: (PRÓPRIO AUTOR).

- Terceiro passo: Colocar os pratos em cima das molas; Os pratos das molas servem para prender as hastes nas molas. Quando a haste da válvula for pressionada para ser aberta pelo balancim, este através do prato, pressionará a mola que depois fará o inverso, isto é, o fechamento da válvula.
- Quarto passo: Colocar as presilhas; As presilhas são duas pequenas peças que formam, quando montadas, um furo interno estriado e externamente uma superfície tronco-cônica. Após a montagem as presilhas se ajustam no furo cônico do prato da mola e se encaixam nas estrias circulares da ponta da haste das válvulas, sendo assim, a mola através do prato e das presilhas manterá a válvula sempre na posição normal fechada. A válvula somente se abrirá sob a ação do balancim. Na sequência das figuras 50 e figura 51, a mola, o seu prato e junto com as presilhas são unidas para formarem um conjunto com cada válvula. Uma ferramenta especial, própria para esta montagem, foi feita (confeccionada na oficina do departamento de materiais e tecnologia da FEG –

UNESP). Esta ferramenta foi fixada ao mandril de uma furadeira manual de coluna para se realizar a montagem.

Figura 50 - Ferramenta de montagem na posição comprimindo a mola.



Fonte: (PRÓPRIO AUTOR).

Figura 51 - Válvula de escape e acessórios montados.



Fonte: (PRÓPRIO AUTOR).

- Quinto passo: Colocação da vela; A vela de ignição, conforme demonstrado na figura 52, é rosqueada no seu respectivo furo.

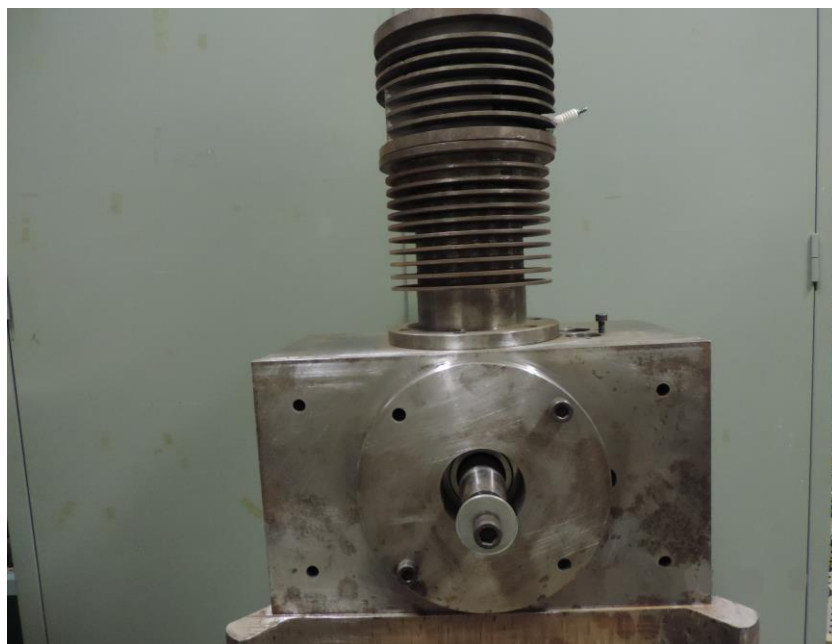
Figura 52 - Vela de ignição rosqueada no cabeçote.



Fonte: (PRÓPRIO AUTOR).

- Sexto passo: Montagem do cabeçote no bloco do motor, figura 53.

Figura 53 – Motor montado.



Fonte: (PRÓPRIO AUTOR).

4.2 Discussões

Para a produção do cabeçote o material selecionado foi o ferro fundido cinzento. A escolha do ferro fundido tem por implicações a capacidade operacional dos laboratórios da FEG (ser um material de boa usinabilidade), ser um motor estacionário, o baixo custo do material e não precisar usar insertos nos guias e nas sedes de válvulas por questão de redução de atrito. De acordo com pesquisas de campo, os motores de automóveis consagrados, como: Chevette 4 cilindros e Chevrolet 6 cilindros, eram produzidos em ferro fundido cinzento e não utilizavam insertos nos guias e nas sedes de válvulas, figuras 54 e 55. Este fato proporciona a simplificação na produção do sem prejudicar o funcionamento do conjunto.

Figura 54 – Câmara de combustão, sede de válvulas e posição da vela.



Fonte: (PRÓPRIO AUTOR).

Figura 55 – Guias de válvulas, depósito de óleo do cabeçote, fixação do suporte de balancim.



Fonte: (PRÓPRIO AUTOR).

Houve um cuidado na usinagem da câmara de combustão afim de que não houvesse mudança significativa na taxa de compressão do motor, afetando assim seu desempenho, uma vez que a taxa de combustão é diretamente relacionada com o tipo de combustível utilizado, principalmente. A eficiência na combustão e as emissões geradas, de acordo com Heisler (1995) e Martins (2013), são fortemente influenciadas pela geometria da câmara de combustão. Isto se dá pela formação de uma carga turbulenta que aumenta a velocidade da combustão e queima por completo a carga no cilindro. Os estudos realizados por Costa e Sodré (2011) e Kemal, Sayin e Canakci (2014) também relatam alterações expressivas na eficiência do motor quanto da alteração da taxa de combustão, podendo em último caso provocar a perda do pistão e a danificação do cabeçote pelo surgimento de uma combustão descontrolada e violenta conhecida por “knock”.

A geometria da câmara de combustão, bem como do número de válvulas do cabeçote, apesar de evidências de Martins (2013) quanto à melhora no rendimento dos motores com câmaras semi-esféricas ou pent-roof, foi limitada pela capacidade operacional dos laboratórios e oficinas da FEG. Portanto, mesmo em detrimento do rendimento do motor foi optado pela adoção de duas válvulas e de câmara de combustão plana possibilitando assim a produção do cabeçote nas dependências deste campus.

Figura 56 – Flange dos dutos de admissão e escape, aletas de refrigeração.



Fonte: (PRÓPRIO AUTOR).

A posição da vela de ignição, figura 57, foi delimitada pelos aspectos construtivos do motor, ou seja: válvulas a cabeça, acionamento do balancim por tucho e vareta, número de válvulas, geometria da câmara de combustão e dos dutos de escapamento e admissão (posição

do flange, figura 56) e arrefecimento a ar (posição da ventoinha). Estes aspectos impediram o posicionamento ideal, que segundo Heisler (1995), seria no centro da câmara de combustão para que se pudesse ter uma frente de chama mais uniforme.

Figura 57 – Posição da vela de ignição.



Fonte: (PRÓPRIO AUTOR).

As tolerâncias e ajuste adotados na usinagem do cabeçote, principalmente na câmara de combustão e nos guias e sedes de válvulas, foram referenciadas nos parâmetros construtivos de grandes montadoras, sendo assim, os níveis de emissões provavelmente serão semelhantes aos relatados por Alkidas (1998) e por literatura consagrada.

O curso, diâmetro e tempo de abertura das válvulas foram tomados por referência os parâmetros de motores de automóveis consolidados no mercado, uma vez que as pesquisas desenvolvidas por Cairns (2013) e Najjar, Ghazal e AL-Khishali (2013) indicam que o custo dos dispositivos para controle total das válvulas ainda não corresponde ao aumento da eficiência gerada por estes dispositivos. Por esta razão, elementos padronizados de construção e projeto de motores, bem como elementos de máquinas normatizados, não foram produzidos nos laboratórios e oficinas da FEG. As válvulas, molas e os seus respectivos suportes foram adquiridos em autopeças, assim como fazem as montadoras.

O tempo decorrido para a execução da usinagem foi de aproximadamente 40 dias (sem contar a usinagem do modelo de madeira e do ensaio com o tarugo de alumínio). Este período de 40 dias foi resultado de uma usinagem minuciosa a fim de não se ‘matar’ a peça. Caso este cabeçote fosse ser produzido em uma quantidade maior este tempo possivelmente seria de no máximo 4 dias, levando em consideração o uso de dispositivos de fixação e posicionamento que facilitariam a usinagem. Este período poderia ser reduzido ainda mais caso a produção

fosse seriada, dessa forma o cabeçote seria fundido, reduzindo o tempo de execução para no máximo 2 dias.

Apesar das diferenças entre as tecnologias recentes e a tecnologia empregada na execução deste trabalho, isto é justificado pela falta de projetos precedentes (origem e fabricação nacional). Este fato faz com que não se tenha parâmetros bem delimitados de onde se possa evoluir a tecnologia, condenando as instituições que almejam produzir um motor nacional a retroceder 100 anos para que um dia se alcance a estatura tecnológica dos grandes construtores.

A atividade de elaboração de um projeto pode ser considerada uma das mais importantes dentro da engenharia. As decisões tomadas antes e durante a elaboração de um projeto, afetam profundamente todos os estágios seguintes: construção, ciclo de vida, assim como a funcionalidade, qualidade, custo, manutenção, vida útil, etc.

Algumas das principais decisões são tomadas durante o processo criativo do projeto, onde novas idéias ou soluções são sintetizadas na ausência de exemplos anteriores. Este processo criativo depende fortemente do conhecimento acumulado pelo projetista. Outra ferramenta que se torna valiosa durante a criação de um projeto é o conhecimento de processos de fabricação e técnicas de construção, que permitem viabilizar a execução de um projeto com facilidade, tornando-o competitivo.

A utilização dos conhecimentos dos operadores de máquinas na etapa de desenvolvimento dos desenhos de fabricação é tão importante, quanto a etapa de engenharia do projeto, pois ajudam a reduzir a probabilidade de erros e a necessidade de revisões para adequação do projeto.

Com este trabalho, foi possível entender profundamente a grande diferença existente entre o projeto teórico e o projeto real, pois o ato de projetar não se restringe unicamente aos conhecimentos de engenharia enxergados isoladamente, é necessário entender de forma detalhada, os processos de fabricação existentes, as restrições dos equipamentos, bem como a utilização do conhecimento dos operadores de máquinas.

A utilização de simulações em 3D, foram importantíssimas na identificação de interferências entre as peças no projeto, além da utilização do conhecimento dos operadores de máquinas do campus da FEG/UNESP sobre as ferramentas de usinagem das máquinas CNC, pois ambos permitiram a elaboração dos desenhos, assim como a execução da usinagem das peças.

A fim de que as partes alternativas deste motor de combustão interna monocilíndrico

fossem totalmente projetadas e construídas dentro deste campus, várias etapas foram seguidas e vencidas. Inicialmente com trabalhos anteriores de pesquisa, tais como, a construção em paralelo de um protótipo em madeira, assim como análise de vários modelos existentes no mercado, uma seqüência de problemas foi vencida, desde a falta de recursos financeiros necessários para a aquisição de materiais, até recursos técnicos de usinagem.

5 CONCLUSÕES

O desenrolar deste trabalho constitui-se num roteiro completo de usinagem do cabeçote de um motor monocilíndrico de 400 [cc] refrigerado a ar e abastecido com gasolina.

A usinagem do cabeçote de acordo com a capacidade operacional dos laboratórios da Faculdade de Engenharia de Guaratinguetá – UNESP evidencia e comprova que o país tem plenas condições de projetar e construir máquinas, independente de tecnologia externa, sendo esta a contribuição deste trabalho, romper uma fronteira tecnológica. Outros trabalhos paralelos de projeto e construção de máquinas neste departamento também comprovam este fato.

A tecnologia adquirida neste trabalho serve agora por referência sendo este um precedente para projetos mais sofisticados.

Na realização deste trabalho deparou-se com diversos aspectos que merecem estudos mais aprofundados, mas não foram aqui tratados por serem complementares ao objetivo, tais como, estética do conjunto, fundição e forjamento de peças, etc.

6 REFERÊNCIAS

ANDRADE, Fernanda S. A solução Brasileira – **História do desenvolvimento do motor a álcool no DCTA**. São José dos Campos: SindCT, 2012. p. 180.

ALKIDAS, A. C. Combustion-chamber crevices: the major source of engine-out hydrocarbon emissions under fully warmed conditions. **Progress in Energy and Combustion Science**, v. 25, p.253-273, Nov. 1998.

AL-ROUSAN, Ammar A. Reduction of fuel consumption in gasoline engines by introducing HHO gas into intake manifold. **International Journal of Hydrogen Energy**, v. 35, p.12390-12395, Aug. 2010.

BRUNO, Everaldo Pinheiro. **Projeto de um motor 4 tempos, a gasolina e monocilíndrico**: Cálculo termodinâmico, desenho, usinagem e montagem da parte alternativa. 2008. 108 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Mecânica, Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Engenharia de Guaratinguetá, Guaratinguetá, 2008.

BRUSIANI, Federico; FALFARI, Stefania; CAZZOLI, Giulio. Tumble motion generation in small gasoline engines: a new methodological approach for the analysis of the influence of the intake duct geometrical parameters. **Energy Procedia**, v. 45, p.997-1006, 2014.

CAIRNS, Alasdair et al. A study of mechanical variable valve operation with gasoline – alcohol fuels in a spark ignition engine. **Fuel**, v. 106, p.802-813, 2013.

CATON, Jerald A. Combustion phasing for maximum efficiency for conventional and high efficiency engines. **Energy Conversion and Management**, v. 77, p.564-576. Sep. 2013.

CATON, Jerald A.. The thermodynamic characteristics of high efficiency, internal-combustion engines. **Energy Conversion and Management**, v. 58, p.84-93, Jan. 2012.

CHUN, Keyoung Jin, KIM, Jae Hak, HONG, 2014Jae Soo. A study of exhaust valve and seat insert wear depending on cycle numbers. **Wear**, v. 263, p.1147-1157. Feb. 2007.

CLENCI, Adrian Constantin et al. A CFD (computational fluid dynamics) study on the effects of operating an engine with low intake valve lift at idle corresponding speed. **Energy**, v. 71, p.202-217, Apr. 2014

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.

COSTA, Rodrigo C, SODRÉ, José R. Compression ratio effects on an ethanol / gasoline fuelled engine performance. **Applied Thermal Engineering**, v. 31, p.278-283, Sep. 2011.

DINIZ, Anselmo Eduardo; MARCONDES, Francisco Carlos; COPPINI, Nivaldo Lemos. **Tecnologia da usinagem dos materiais**. 7. ed. São Paulo: Artliber, 2010. 267 p.

HEISLER, Heinz. **Advanced engine technology**. Warrendale: SAE, 1995. 794 p.

HEYWOOD, John B. **Internal combustion engine fundamentals**. New York: Mc Graw Hill, 1988. 917 p.

KEMAL, Mustafa, SAYIN, Cenk, CANAKCI, Mustafa. The effect of different alcohol fuels on the performance, emission and combustion characteristics of a gasoline engine. **Fuel**, v. 115, p.901-906, Sep. 2014

KEMAL, Mustafa; SAYIN, Cenk. The effect of compression ratio on the performance, emissions and combustion of an SI (spark ignition) engine fueled with pure ethanol, methanol and unleaded gasoline. **Energy**, v. 71, p.194-201, Apr. 2014.

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, Jorge. **Motores de combustão interna**. 4. ed. Porto: Publindústria, 2013. 473 p.

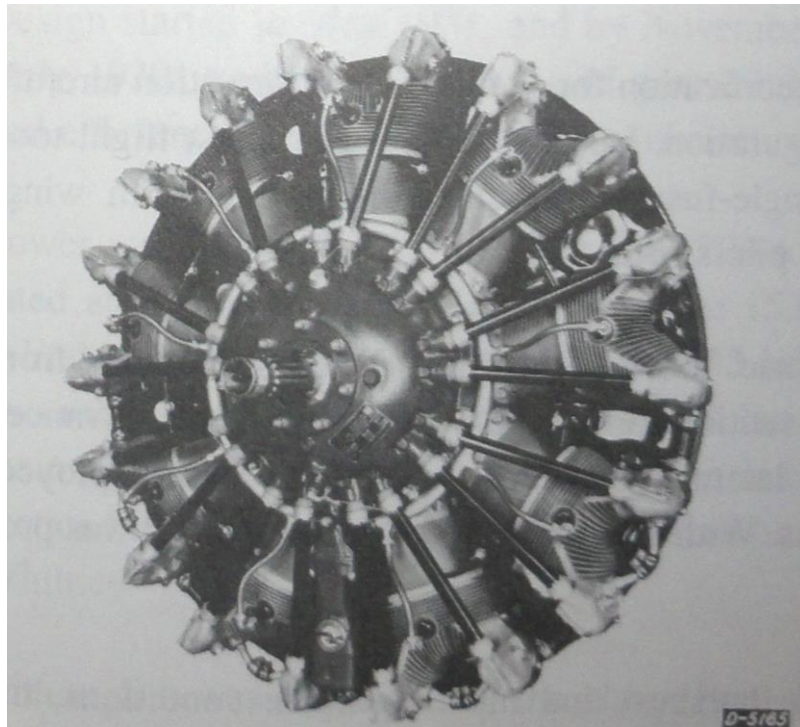
NAJJAR, Yousef S. H.; GHAZAL, Osama H.; AL-KHISHALI, Kutaeba J. M.. Performance improvement of green cars by using variable-geometry engines. **Journal of The Energy Institute**, Aug. 2013. In press.

SZWAJA, Stanislaw, JAMROZIK, Arkadiusz, TUTAK, Wojciech. A two-stage combustion system for burning lean gasoline mixtures in a stationary spark ignited engine. **Applied Energy**, v. 105, p.271-281. Feb. 2013.

WHITE, Graham. **The allied piston engines of World War II**. Warrendale: SAE, 1995. 393 p.

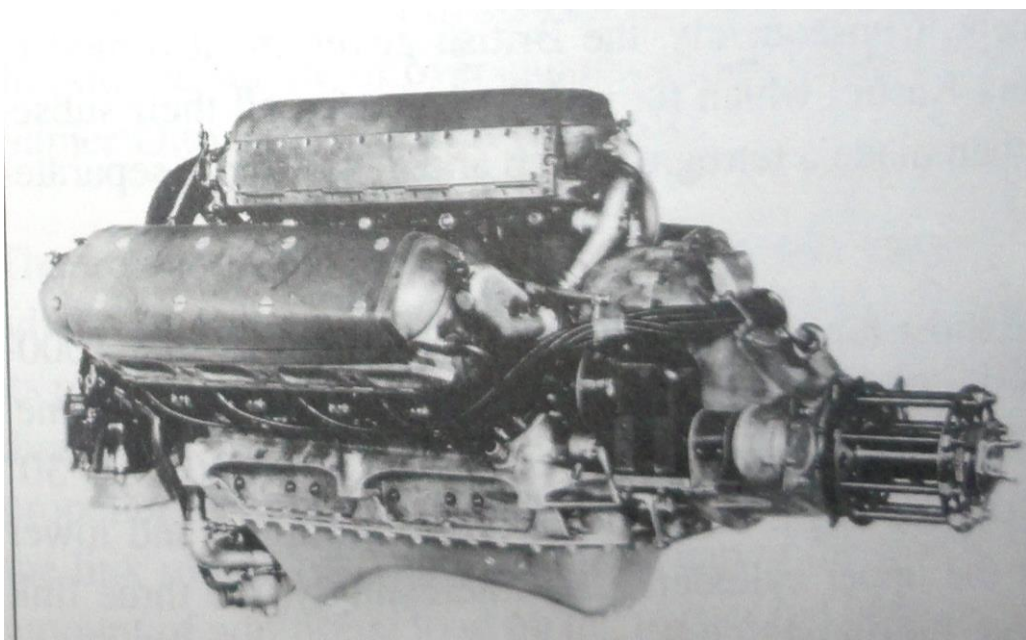
7 ANEXOS

Figura 58 – Motor radial.



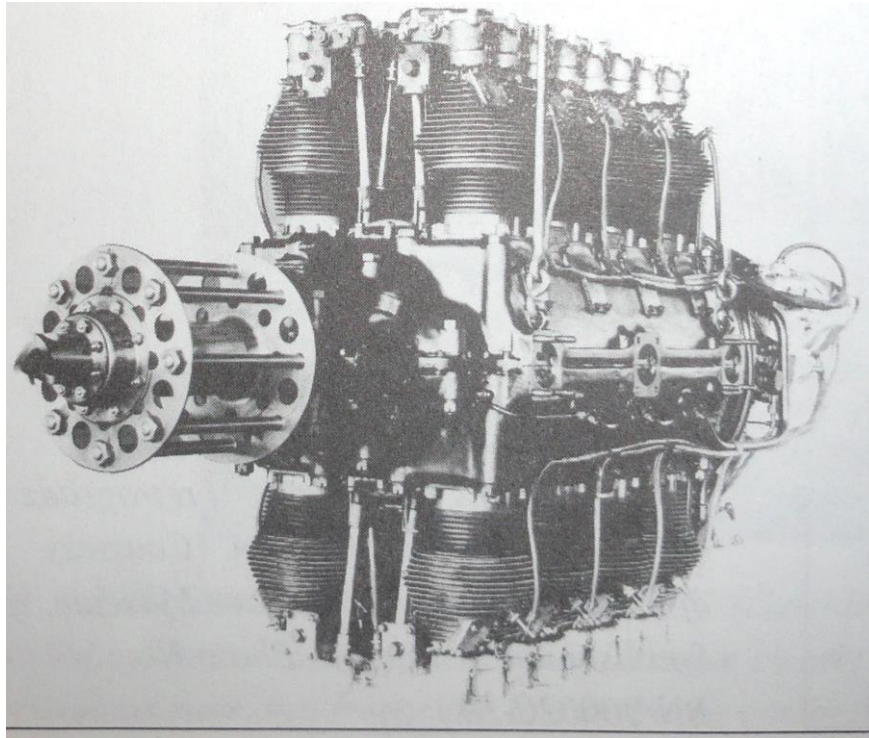
Fonte: (WHITE, 1995).

Figura 59 – Motor W.



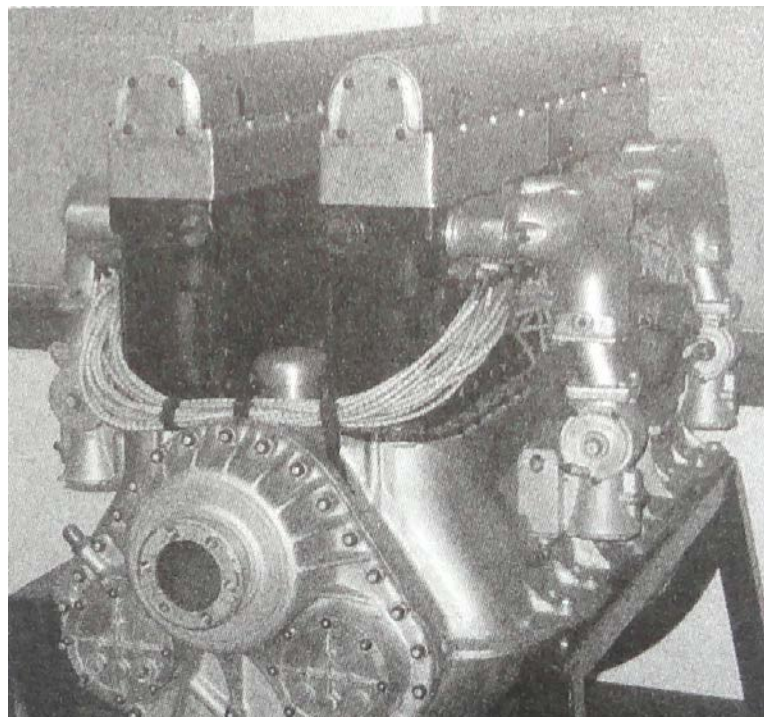
Fonte: (WHITE, 1995).

Figura 60 – Motor H.



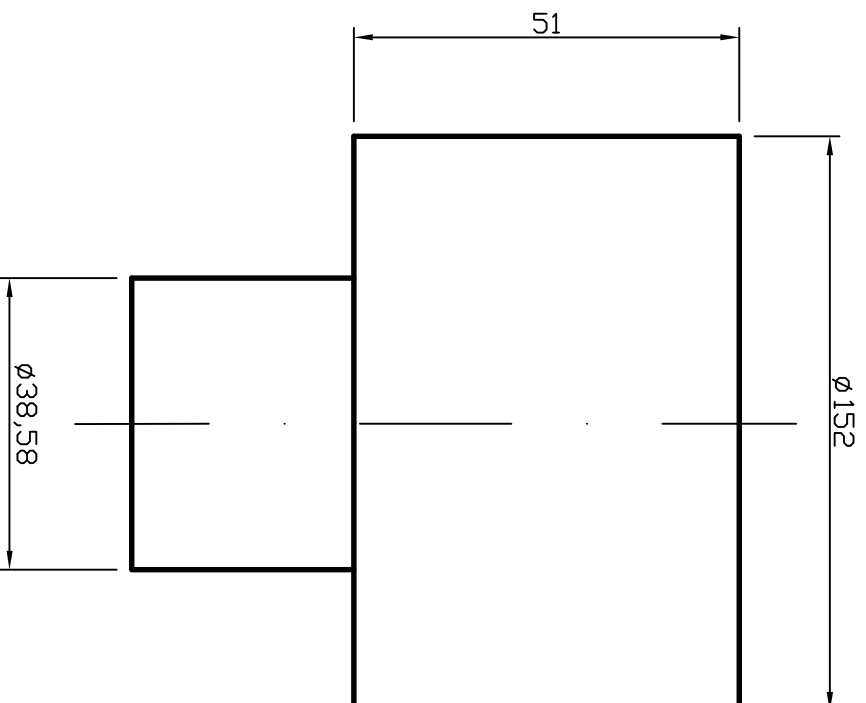
Fonte: (WHITE, 1995).

Figura 61 – Motor U.



Fonte: (MARTINS, 2013).

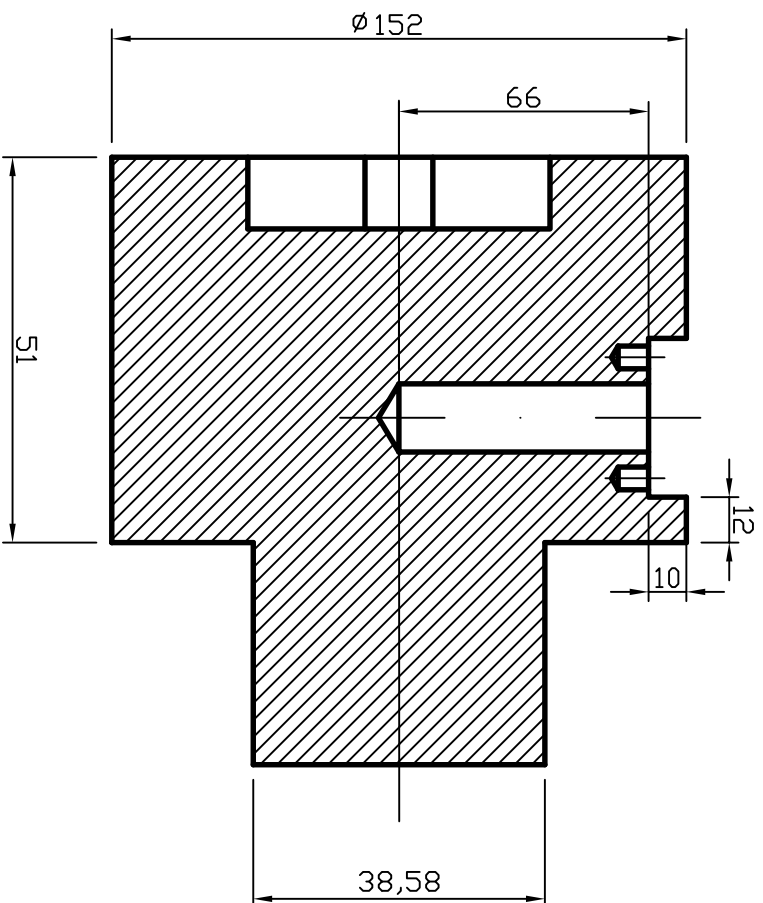
8 APÊNDICES



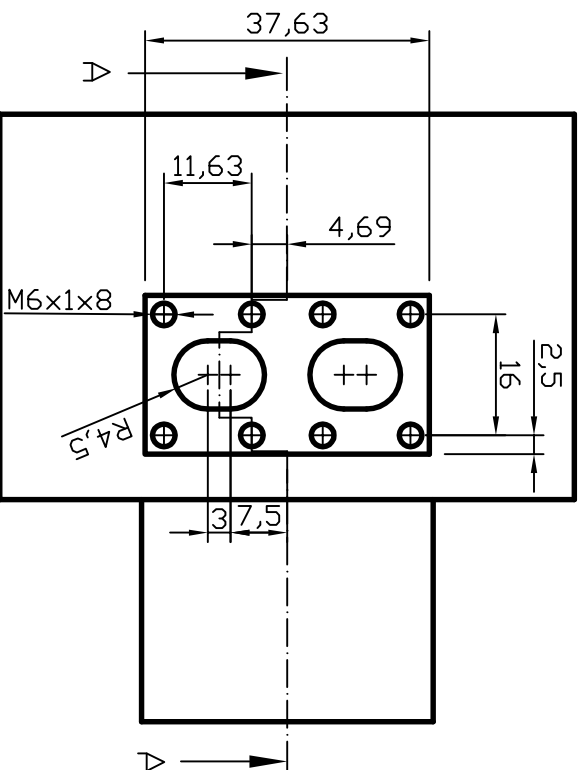
 unesp Faculdade de Engenharia de Guaratinguetá Av. Alberto Pereira da Cunha, nº 333 Portal das Colinas, Guaratinguetá, SP CEP: 12516-410 tel: (12) 3123-2849 une@fegunesp.br www.fegunesp.com.br							
TÍTULO: BLANK - APÊNDICE 1							
TOLERÂNCIA: LINEAR ± 0,1 mm ANGULAR ± 0,5°	ACABAMENTO: ...	MATERIAL: FERRO FUNDIDO CINZENTO	PROJEÇÃO: 	ESCALA: 1:2	UN. MEDIDA: mm		
PROJETO: MOTOR GASOLINA MONOCILINDRICO 400 CC							
DESENHADO: JOÃO E. LOPES NETO CRA-SP 5062888298	REVISADO: -----	ASS: ---	APROVADO: PROF. DRº JOÃO ZANGRANDI FILHO	ASS: ---	DATA: 17/02/2015	Nº ARQUIVO / NOME ARQUIVO: ...	REVISÃO: 00



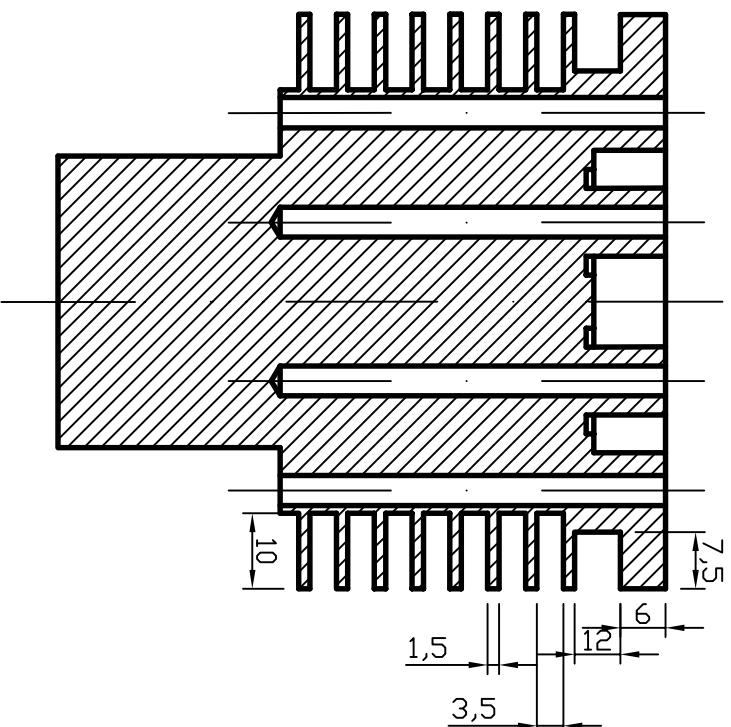

unesp
Faculdade de Engenharia de Guaratinguetá
Av. Alberto Pereira da Cunha, n° 333
Portal das Colinas, Guaratinguetá, SP
CEP: 12516-410
tel: (12) 3123-2849 ime@fegunesp.br
www.fegunesp.br



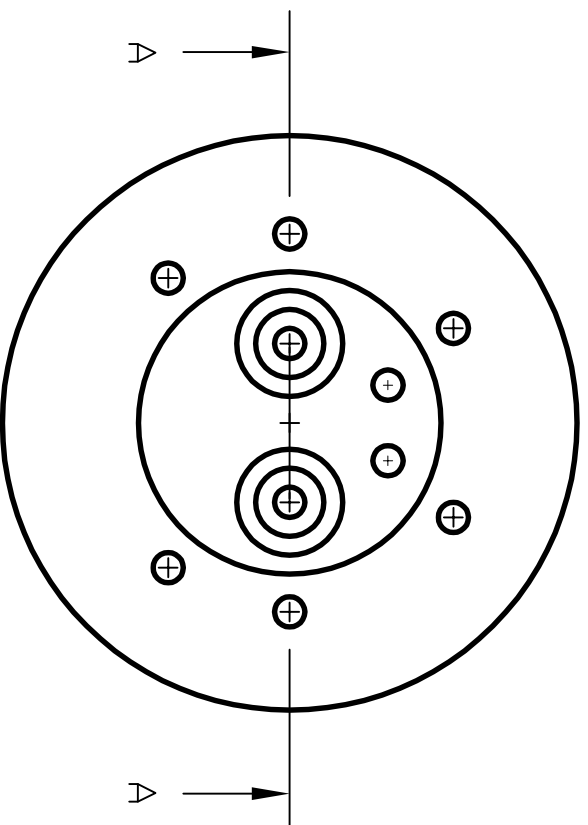
CORTE AA



unesp Faculdade de Engenharia de Guaratinguetá Av. Alberto Pereira da Cunha, nº 333 Portal das Colinas, Guaratinguetá, SP CEP: 12516-410 tel: (12) 3123-2849 line@fegunesp.br www.fegunesp.com.br										TÍTULO:		PROJEÇÃO:		ESCALA:		UN. MEDIDA:			
FLANGE DA ADMISSÃO E ESCAPE- APÊNDICE 3												1:2		mm					
TOLERÂNCIA:		LINEAR ± 0,1 mm		ANGULAR ± 0,5°		ACABAMENTO:		...		MATERIAL:		FERRO FUNDIDO CINZENTO		ARREDONDAMENTO:		ø 0,1mm			
PROJETO:										QUEBRA DE CANTO:		---		mm					
MOTOR GASOLINA MONOCILINDRICO 400 CC																			
DESENHADOR:		REVISADO:		ASS:		APROVADO:		ASS:		DATA:		Nº ARQUIVO / NOME ARQUIVO:		REVISÃO:					
JOÃO E. LOPES NETO		-----		-----		PROF. DRº JOÃO ZANGRANDI FILHO		17/02/2015		...				00					

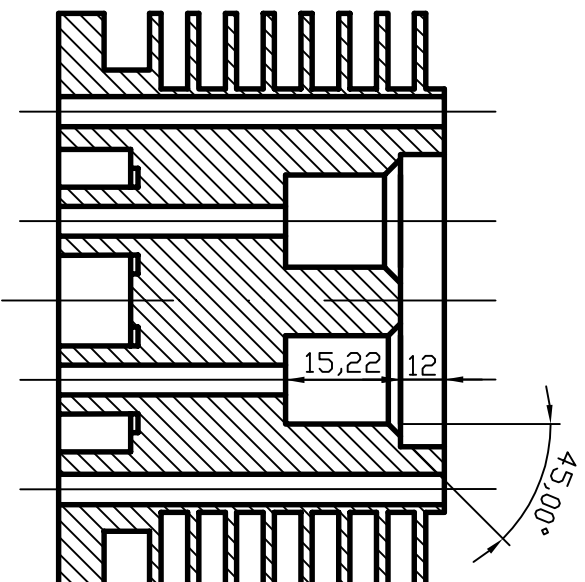


CORTE AA

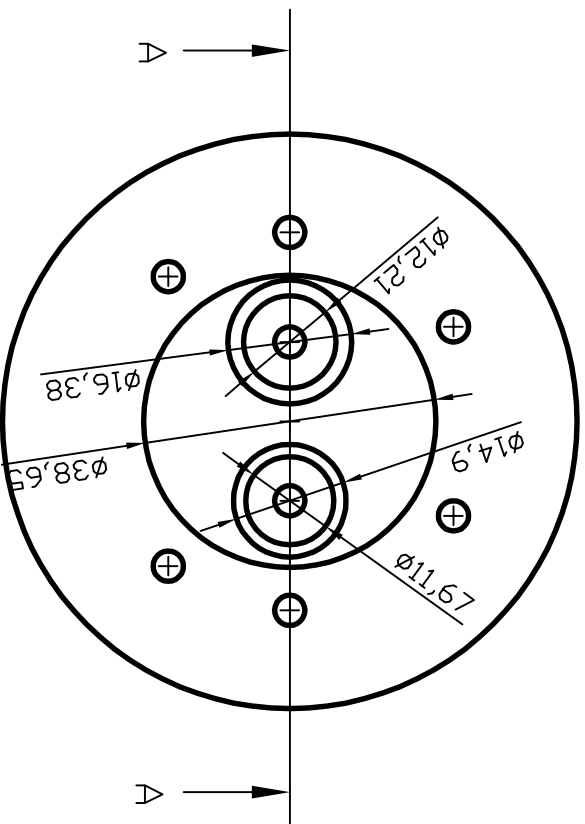


 unesp		TÍTULO:	
ALETAS DE REFRIGERAÇÃO- APÊNDICE 4		PROJEÇÃO:	
TOLERÂNCIA:			
LINEAR ± 0,1 mm	ANGULAR ± 0,5°	ESCALA: UN. MEDIDA:	
ACABAMENTO:		1:2	
...	MATERIAL:	mm	
FERRO FUNDIDO CINZENTO		ARREDONDAMENTO: $\varnothing$ 0,1mm	
PROJETO:		QUEBRA DE CANTO: ---mm	
MOTOR GASOLINA MONOCILINDRICO 400 CC			
DESENHADO:	REVISADO:	ASS:	APROVADO:
JOÃO E. LOPES NETO	-----	PROF. DRº JOÃO ZANGRANDI FILHO	DATA:
-----	-----	-----	17/02/2015
-----	-----	-----	Nº ARQUIVO / NOME ARQUIVO:
-----	-----	-----	...
-----	-----	-----	REVISÃO:
-----	-----	-----	00
Faculdade de Engenharia de Guaratinguetá Av. Alberto Pereira da Cunha, nº 333 Portal das Colinas, Guaratinguetá, SP CEP: 12516-410 tel: (12) 3123-2849 line@fegunesp.br www.fegunesp.com.br			

MOTOR GASOLINA MONOCILINDRICO 400 CC



CORTE AA



 Faculdade de Engenharia de Guaratinguetá Av. Arlindo Pereira da Cunha, nº 333 Portal das Colinas, Guaratinguetá, SP CEP: 12516-410 tel: (12) 3123-2849 line@fegunesp.br www.fegunesp.com.br				TÍTULO: CÂMARA DE COMBUSTÃO - APÊNDICE 5				PROJEÇÃO: 		ESCALA: 1:2		UN. MEDIDA: mm	
TOLERÂNCIA: LINEAR ± 0,1 mm ANGULAR ± 0,5°				ACABAMENTO: ...				MATERIAL: FERRO FUNDIDO CINZENTO		ARREDONDAMENTO: ø 0,1mm		QUEBRA DE CANTO: ---mm	
PROJETO: DESENHADO: JOÃO E. LOPES NETO REVISADO: _____ ASS: _____ APROVADO: _____ PROF: DRº JOÃO ZANGRANDI FILHO DATA: 17/02/2015 Nº ARQUIVO / NOME ARQUIVO: ... REVISÃO: 00				MOTOR GASOLINA MONOCILINDRICO 400 CC									



TÍTULO:	DUTOS REFRIGERAÇÃO E FURO VELA- APÊNDICE 6			PROJEÇÃO:	ESCALA:	UN. MEDIDA:
TOLERÂNCIA:	ACABAMENTO:	MATERIAL:	Ferro Fundido Cinzento		1:2	mm
LINEAR ± 0,1 mm	ANGULAR ± 0,5°	...		ARREDONDAMENTO:	ø 0,1mm	
PROJETO:			QUEBRA DE CANTO:		---mm	
MOTOR GASOLINA MONOCILINDRICO 400 CC						
DESENHADO:	REVISADO:	ASS:	APPROVADO:	ASS:	DATA:	Nº ARQUIVO / NOME ARQUIVO:
JOÃO E. LOPES NETO	-----		PROF. DRº JOÃO ZAMBRANDI FILHO		17/02/2015	...
CDE-R-SP 5062883298			REVISOÃO:			
			00			

