

UNESP
Faculdade de Engenharia do Campus de Guaratinguetá

Guaratinguetá
2011

PAULO HENRIQUE DE MELO BRUNI

ESTUDO E MODELAGEM 3D DE UM CABEÇOTE PARA UM MOTOR
MONOCILÍNDRICO, 400 cc, 4 T

Monografia apresentada ao Conselho de Curso de Graduação em Engenharia Mecânica da Faculdade de Engenharia do Campus de Guaratinguetá, Universidade Estadual Paulista como parte dos requisitos para obtenção de diploma de Graduação em Engenharia Mecânica.

Orientador: Prof. Dr. João Zangrandi Filho

Guaratinguetá

2011

**ESTUDO E MODELAGEM 3D DE UM CABEÇOTE PARA UM MOTOR
MONOCILÍNDRICO, 400 cc, 4 T**

PAULO HENRIQUE DE MELO BRUNI

ESTE TRABALHO DE GRADUAÇÃO FOI JULGADO ADEQUADO COMO PARTE DO
REQUISITO PARA A OBTENÇÃO DO DIPLOMA DE

"GRADUADO EM ENGENHARIA MECÂNICA"

APROVADO EM SUA FORMA FINAL PELO CONSELHO DE CURSO DE GRADUAÇÃO EM
ENGENHARIA MECÂNICA


Prof. Dr. MAURO HUGO MATHIAS

Coordenador

BANCA EXAMINADORA:


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


Prof. Dr. MAURO HUGO MATHIAS
UNESP-FEG


Prof. Dr. JOSÉ ELIAS TOMAZINI
UNESP-FEG

Dezembro de 2011

B896e

Bruni, Paulo Henrique de Melo

Estudo e modelagem 3D de um cabeçote para um motor monocilíndrico, 400cc, 4 T / Paulo Henrique de Melo Bruni – Guaratinguetá : [s.n], 2011.

44 f : il.

Bibliografia: f. 44

Trabalho de Graduação em Engenharia Mecânica – Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Engenharia de Guaratinguetá, 2011.

Orientador: Prof. Dr. João Zangrandi Filho

1. Motores 2. Cabeçotes (Máquinas – ferramentas) I. Título

CDU 621.436

DADOS CURRICULARES

PAULO HENRIQUE DE MELO BRUNI

NASCIMENTO 10.11.1988 – SÃO JOSÉ DOS CAMPOS / SP

FILIAÇÃO Mônica de Melo Bruni
Mário Arnaldo Bruni

2007/2011 Curso de Graduação em Engenharia Mecânica na
Faculdade de Engenharia do Campus de Guaratinguetá
da Universidade Estadual Paulista.

...de modo especial à minha família que
sempre me incentivou nas minhas escolhas.

AGRADECIMENTOS

Primeiramente agradeço a Deus.

Aos meus pais, Mário e Mônica, que sempre me apoiaram e se sacrificaram para que eu estudasse em boas escolas.

Aos meus irmãos, Rogério e Thaís, pelo companheirismo e amor.

Aos colegas da República que me ajudaram no crescimento pessoal, me apoiando nas horas difíceis e festejando nas horas de glória.

Ao meu orientador, Prof Dr. João Zangrandi Filho que me ajudou a desenvolver este trabalho.

E a todos aqueles com quem pude contar com amizade, atenção e colaboração.

BRUNI, P.H.M. **Estudo e modelagem 3D de um cabeçote para motor monocilíndrico, 400 cc, 4T.** Guaratinguetá, 2011. 46f. Trabalho de Graduação (Departamento de Mecânica) - Faculdade de Engenharia, Campus de Guaratinguetá, Universidade Estadual Paulista (UNESP).

RESUMO

O cabeçote engloba a câmara de combustão para a mistura ar-combustível e contém as válvulas de admissão e escape, os guias de válvulas e sede de válvula. O cabeçote também acomoda o suporte para o eixo de comando de válvulas e balancins. As aberturas onde as velas de ignição são rosqueadas no cabeçote são projetadas para melhor posicionamento da combustão. Os cabeçotes são normalmente fabricados de ligas de alumínio ou ferro fundido. As aletas de refrigeração na parte externa do cabeçote são projetadas para prover uma refrigeração eficiente e, portanto as suas dimensões são importantes. Este trabalho visa desenvolver os cálculos de um cabeçote para um motor de 400 cc, a gasolina e ciclo 4 tempos. De acordo com a cilindrada serão dimensionados a câmara de combustão, as válvulas de admissão e de escape, assim como os balancins e seus eixos. Este também é um trabalho complementar do projeto completo de um motor monocilíndrico, onde as partes alternativas, o cilindro, o volante e bloco já estão usinados e montados neste campus.

PALAVRAS-CHAVE: Cabeçote, Projeto, Modelagem 3D e Motor monocilíndrico.

BRUNI, P.H.M. Study and 3D modeling of a cylinder head of a four stroke single engine, 400cc. Guaratinguetá, 2011. 46f. Trabalho de Graduação (Departamento de Mecânica) – Faculdade de Engenharia, Campus de Guaratinguetá, Universidade Estadual Paulista (UNESP).

ABSTRACT

The cylinder head contains the combustion chamber for the air-fuel mixture and the intake and exhaust valves, the valve guide and the valve seat. The cylinder head also is a support for the camshaft and valve rocker. The holes where the spark plugs are connected are designed to fit the better place in the combustion chamber. The cylinder heads often are manufactured using materials such as aluminum and cast iron. The cooling fins located in the outside of the cylinder head are designed for a good heat transfer and therefore their dimensions and positioning are important. This work aims the calculation for a cylinder head to be installed in a 400 cc displacement, gasoline powered, four stroke, single cylinder engine. According to the displacement it will be analyzed the combustion chamber, the intake and exhaust valves, as well as the camshaft and rocker arms. This also a work to help to accomplish the design of a single cylinder engine, where the alternatives parts, cylinder block and crankcase are all already machined and assembled in this campus.

KEYWORDS: Cylinder head, design, 3D modeling, single cylinder motor.

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1	– Corte parcial de um motor de 4 cilindros em linha	19
FIGURA 2	– Motor monocilíndrico.....	20
FIGURA 3	– Motor radial de 9 cilindros usado em aviões.....	21
FIGURA 4	– Corte longitudinal do cilindro.....	30
FIGURA 5	– Corte do cabeçote mostrando detalhes da câmara e válvulas	32
FIGURA 6	– Desenho do cabeçote com posicionamento dos elementos	35
FIGURA 7	– Desenho do cabeçote modificado	35
FIGURA 8	– Polyline para gerar o corpo do cabeçote, câmara de combustão e poço de válvulas	36
FIGURA 9	– Corpo do cabeçote, câmara de combustão e poço de válvulas em 3D ...	37
FIGURA 10	– Polylines para gerar furos dos guias das válvulas e furo para assento das válvulas.....	37
FIGURA 11	– Cabeçote com os furos dos guias das válvulas	38
FIGURA 12	– Cabeçote com os furos das sedes de válvulas.....	38
FIGURA 13	– Parte cortada do cabeçote e movida para a direita.....	39
FIGURA 14	– Construção do caminho para aplicar EXTRUDE no círculo.....	40
FIGURA 15	– Sólido para formar o canal de escape	41
FIGURA 16	– Cabeçote com o furo de escape	42
FIGURA 17	– Cabeçote modelado em 3D sólido com todos os elementos.....	43

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	11
1.1	Objetivo	12
1.2	Metodologia	12
1.3	Motivação do trabalho	14
2	HISTÓRIA E TIPOS DE MOTORES	16
2.1	Tipos de motores de combustão interna	18
3	FUNDAMENTOS DE PROJETO DE CABEÇOTES	21
3.1	A válvula poppet	21
3.2	A válvula na prática	22
3.3	Rotação da válvula	23
3.4	Insertos de sedes de válvulas	24
3.5	Layout das válvulas e forma da câmara de combustão	25
3.6	Fundamentos para cabeçotes refrigerados a ar	26
4	CÁLCULO DAS DIMENSÕES PRINCIPAIS DO CILINDRO	28
4.1	Análise da tensão tangencial	28
4.2	Análise de tensão de tração	28
4.3	Cálculo das dimensões principais do cabeçote	30
4.4	Cálculo dos parafusos do cabeçote e do cilindro	31
4.4.1	Parafuso do cabeçote	31
5	DESENHOS	33
5.1	Desenho 2D e 3D	33
6	CONCLUSÃO	43
	REFERÊNCIAS	44

1 INTRODUÇÃO

O cabeçote contém a câmara de combustão para a mistura ar-combustível, as válvulas de admissão e as válvulas de escape, guias de válvulas e assento de válvulas. O cabeçote também provê o suporte para o comando de válvulas sobre o qual os balancins são montados. A abertura através do qual as velas de ignição são fixadas no cabeçote são posições tais que propiciam o melhor padrão de queima. Estas aberturas podem conter inserções de outro material diferente daquele do cabeçote as quais são prensadas ou aparafusadas. Os cabeçotes são normalmente construídos de liga de alumínio fundido para dar o máximo de resistência com o mínimo de peso quando empregados em aviação. Uma desvantagem das ligas de alumínio é que o coeficiente de expansão é consideravelmente maior que aquele do aço, mas este problema é resolvido pelo modo como o cabeçote é fixado no cilindro. Por outro lado, na indústria automobilística o cabeçote pode ser feito de ferro fundido ou alumínio dependendo das razões do fabricante. Desta forma na indústria automobilística encontra-se cabeçote de ferro fundido e cilindro de ferro fundido, ou cabeçote de alumínio e cilindro de ferro fundido, ou ainda, cabeçote de alumínio e cilindro de alumínio.

A refrigeração do cabeçote é realizada nos motores refrigerados a ar através de aletas na sua parte externa em padrões que forneçam a mais eficiente troca de calor e tira vantagens do próprio movimento do veículo ou, então, da refrigeração forçada. Normalmente, um detalhe que deve ser observado nos cabeçotes é a ausência de aletas junto da válvula de admissão, isto se deve ao fato da mistura ar-combustível que entra no cilindro refrigerar esta região. Nos motores aeronáuticos o lado da válvula de admissão pode ser rapidamente identificado por não possuir aletas.

Os guias de válvulas são posicionados para suportar e guiar as hastes de válvulas. Estes guias normalmente são prensados nos furos do cabeçote. Esta prensagem é estudada e feita para que os guias não soltem mesmo em condições severas de funcionamento. Entretanto esses guias devem ser previstos para serem substituídos quando desgastados. Os guias de válvulas são feitos de bronze ao alumínio, bronze ao estanho, ou de aço, na indústria aeronáutica.

As sedes de válvulas, no caso de cabeçotes de alumínio, são feitas de outro material e prensadas nos respectivos furos. Isto porque o alumínio não é material apropriado para este serviço. Em cabeçotes de ferro fundido o próprio material é usado para a sede.

A câmara de combustão dos cabeçotes podem ser planas, ou hemisféricas, sendo esta última preferida porque é melhor para a queima da mistura assim como para a expulsão dos gases de escape.

Os métodos utilizados para unir o cabeçote ao cilindro, ou bloco de cilindros são: ou cabeçote rosqueado no cilindro, caso de indústria aeronáutica, ou através de parafusos ou prisioneiros.

Os cabeçotes são usinados externamente em locais para serem acoplados o escapamento e o carburador. Estes pontos podem ser flanges ou furos rosqueados.

Com este resumo das partes de um cabeçote observa-se que todos estes pontos devem ser analisados para se projetar um cabeçote.

1.1 OBJETIVO

Os objetivos deste trabalho são:

- Projetar seguindo uma metodologia de projeto, um cabeçote para um motor monocilíndrico, quatro tempos, 400 cc que foi 100% projetado e construído no departamento de mecânica;
- Estudar os vários tipos de cabeçote, assim como a história e a sua evolução;
- Utilizando um roteiro de cálculos conhecido na literatura, determinar todos os parâmetros deste cabeçote necessários para se obter o desenho de conjunto;
- Obter todos os desenhos de detalhes das peças do cabeçote;
- Desenhar em 3D todas as peças do cabeçote

1.2 METODOLOGIA

Inicialmente será feita uma pesquisa bibliográfica nos livros, publicações e pesquisas na Internet de modo a catalogar diversos tipos de cabeçotes automotivos para a realização de um estudo teórico bastante abrangente e da sua história e evolução. Em seguida foi

realizado um estudo mais aprofundado sobre seu funcionamento, utilizando material prático, principalmente peças em corte, disponível no DME.

Numa outra etapa será realizado o pré-dimensionamento do cabeçote utilizando os dados de projeto. Depois, pode-se iniciar desenho de conjunto seguido dos detalhes. Pode-se resumir a sequência amplamente utilizada em projeto mecânico, da seguinte forma:

- a) Estudo bibliográfico
- b) Estudo tátil-visual
- c) Pré-dimensionamento
- d) Desenho – cálculo – desenho
- e) Detalhes
- f) Modelagem em 3D

Cada uma destas etapas de trabalho pode, então, ser melhor explicada:

- ✓ **Pesquisa bibliográfica:** desenvolvida com a finalidade de se obter o maior número de informações possíveis sobre este tipo de mecanismo. Através da análise minuciosa dos catálogos de fabricantes é possível verificar os desenhos em corte e entender o funcionamento dos mecanismos. Também foram realizadas visitas na biblioteca da UNESP, assim como sites da internet, com o objetivo de levantar a literatura existente sobre este tipo de equipamento.
- ✓ **Pesquisa tátil-visual:** onde vários mecanismos são desmontados para se estudar os tipos de usinagem, graus de acabamento das peças, mecanismos de funcionamento, materiais utilizados, tipos de vedação, tipos de conexões, tipos de acoplamentos etc. Esta etapa é importante, pois a utilização de informações sobre máquinas já existentes racionaliza o tempo e condiciona a confiabilidade de determinadas peças. Esta etapa, para este trabalho, foi realizada no laboratório da Faculdade de Engenharia de Guaratinguetá – UNESP;
- ✓ **Pré-dimensionamento:** os primeiros cálculos são desenvolvidos utilizando os dados iniciais de projeto, ou seja, a parte alternativa e estrutural do motor de 400 cc que já

existe no campus de Guaratinguetá e que foi totalmente projetado e usinado neste campus;

- ✓ **Fase desenho – cálculo – desenho:** é a etapa mais longa do trabalho. Nesta fase o desenho é iniciado utilizando-se os cálculos preliminares e as decisões sobre cada elemento de máquina a ser utilizado. Em seguida, é necessário parar de desenhar, pois faltam dados para a sua continuidade. Deve-se, então, voltar aos cálculos. De posse das novas informações pode-se regressar ao desenho. Este processo é dinâmico e iterativo continuando até a finalização do desenho de conjunto;
- ✓ **Modelagem em CAD 3D:** Paralelamente à determinação de cada elemento é desenvolvido o modelagem em 3D de cada peça e do conjunto..

1.3 MOTIVAÇÃO DO TRABALHO

A principal motivação para o presente trabalho foi a ausência de uma tecnologia 100% nacional específica para desenvolvimento de motores. Através de uma pesquisa verificou-se que existem muitas empresas que detém a tecnologia para a fabricação deste tipo de equipamento, tais como, Ford, General Motors, Fiat, Volkswagen, Hyundai, Toyota, Honda, Isuzu, Suzuki, Volvo, Ferrari, Chrysler, BMW, Mercedes, Peugeot, Renault, Mitsubishi, etc. sendo todas estas marcas da linha automotiva. Por outro lado encontram-se também motores na linha de máquinas estacionárias, tais como, Brewete, Winsconsin, MWM, Maxxion, Tobata, Bernard-Moteurs, Branco, Briggs Straton, Mitsubishi, Subaru, Yanmar, Toyama, Kawashima, Agrale, Montgomery, Honda, Changchai, International, etc. Todos estes motores existem novos ou usados aqui no Brasil. E, produzidos por todas essas empresas são absorvidos pelo mercado mundial. Por que o Brasil não poderia também fazer parte deste grupo? Sabemos, entre outras coisas, que várias empresas brasileiras, ou então entidades particulares, que não fabricam esses motores os utilizam em seus equipamentos em todas as atividades no Brasil, principalmente locais onde, atualmente, não existe energia elétrica da rede de distribuição. Dentre empresas pode-se citar mineradoras, sítios,

fazendas, propriedades rurais em geral, empresas que realizam shows, iluminação de emergência em campos de futebol e hospitais, etc.

Uma contribuição esperada deste trabalho é a obtenção do conhecimento para a fabricação destes tipos de motores com uma tecnologia totalmente brasileira e assim tornar o Brasil independente dos países que atualmente são fornecedores deste tipo de equipamento.

2 HISTÓRIA E TIPOS DE MOTORES

O desenvolvimento dos automóveis é o resultado da utilização de princípios que eram empregados no projeto dos primeiros motores de combustão interna. Durante grande parte do século dezenove, um grande número de motores foi projetado com sucesso, e estes foram usados para operar máquinas e para fornecer energia para as “carruagens sem cavalo” (como eram chamados os primeiros automóveis). O desafio da indústria automobilística foi projetar motores que fossem cada vez mais confiáveis.

A revolução industrial que tomou lugar no final do século XVIII e continuou até início do século XX, foi o resultado da habilidade de seres humanos em descobrir maneiras de gerar energia para acionar as máquinas industriais e de transporte. Antes desta época, os trabalhos eram conseguidos apenas pelo uso de animais e pela força humana. Na Europa e principalmente na Inglaterra era notório que novas fontes de energia estudadas, em vez de seres humanos, eram necessárias para acionar as novas máquinas que estavam sendo projetadas no campo de manufatura têxtil. Entre as fontes de energias estudadas para se obter a energia mecânica estavam o vento, a água, o vapor e os motores de combustão interna.

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, como usado atualmente.

O primeiro motor a 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.

2.1 TIPOS DE MOTORES DE COMBUSTÃO INTERNA

Os motores de combustão interna a gasolina podem ser classificados quanto ao número e à disposição dos cilindros, quanto à aplicação nas diversas máquinas e veículos, quanto ao tipo de refrigeração etc.

As Figuras 1 até 3 mostram ilustrações de alguns motores de combustão interna numa forma bastante diversificada.

A maioria dos motores de combustão interna a gasolina produzidos no mundo são motores de 4 cilindros em linha, como mostrado na Figura 1. Motores de 3 cilindros em linha também são produzidos, mas muito pouco em relação aos de 4 cilindros. Ainda com relação aos motores de 4 cilindros, eles também são construídos com outras disposições tais como: 4 cilindros opostos, muito utilizado, e 4 cilindros em V.

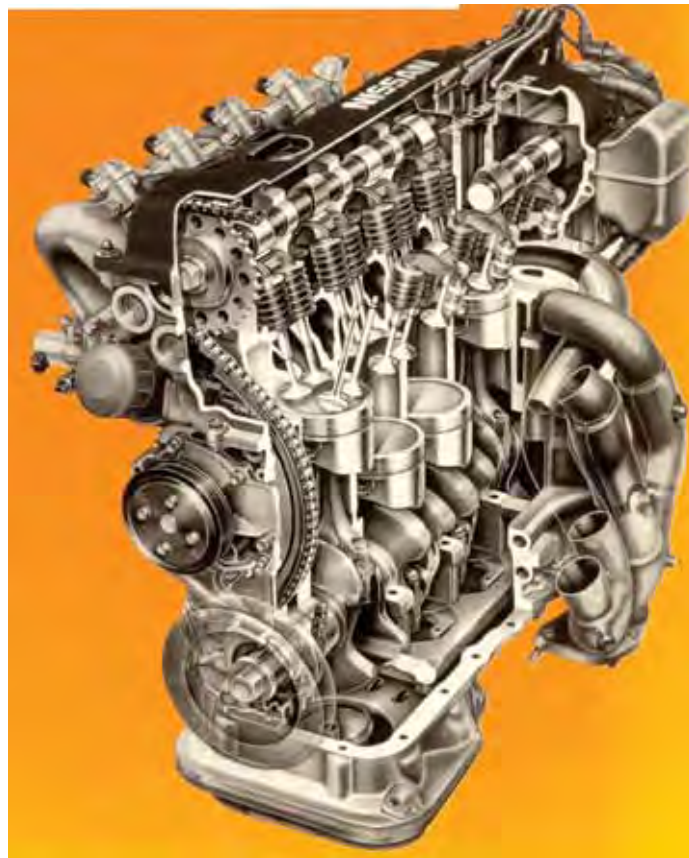


Figura 1 - Corte parcial de um motor de 4 cilindros em linha

Motores de 5 cilindros em linha , há alguns anos começaram a equipar determinados veículos, apesar de ser em uma escala bastante reduzida. Esse número de cilindros também foi utilizado nos anos 30 para propulsão de alguns aviões, mas na disposição de cilindros radiais.

Um motor de uso bastante comum, tanto em automóveis como em caminhões, é aquele com 6 cilindros em linha. Um dos motivos do seu sucesso de uso deve-se ao fato de que seu balanceamento é conseguido de modo relativamente fácil.



Figura 2 - Motor monocilíndrico

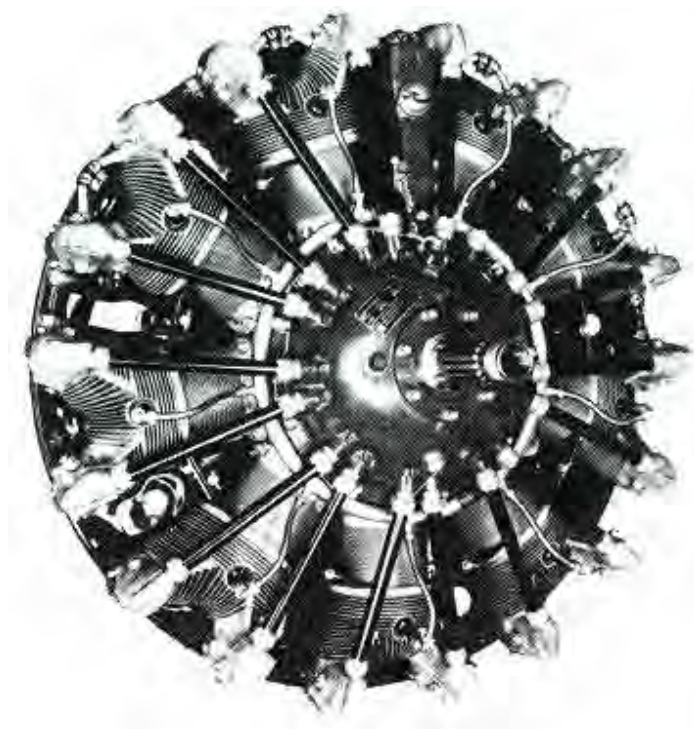


Figura 3 - Motor radial de 9 cilindros usado em aviões.

Motores com número maior de cilindros são mais raramente encontrados no mercado. Os motores em V-8, V-10 e V-12 são usados em automóveis e caminhões de tamanhos maiores que a média do mercado. No entanto, nos motores em carros de corrida é mais comum o uso destes motores.

Os motores radiais são mais utilizados nos aviões militares e comerciais desde 1920; durante a segunda guerra mundial foram usados em todos os bombardeiros e aviões de transporte. Eles foram desenvolvidos para terem muita eficiência e ainda hoje na era do jato, continuam operação no mundo todo.

Motores monocilíndricos são muito utilizados principalmente onde não há fonte de energia elétrica assim como para o acionamento de bombas d'água para pequenas irrigações, picadeiras de cana nas fazendas, geradores elétricos portáteis, cortadores de grama, aeromodelos, etc. Entretanto, uma grande quantidade desses motores produzidos atualmente é para a propulsão de pequenas, médias e grandes motocicletas, isto é, de 50 cc até 800cc.

3 FUNDAMENTOS DE PROJETO DE CABEÇOTES

3.1 A VÁLVULA POPPET

Uma disposição lateral da válvula, assim como uma disposição na cabeça, ou uma disposição em F são encontradas no mercado. A cabeça das válvulas, deslizando num guia de válvula, é presa num assento cônico através de uma mola espiral, a qual é fixada na haste de válvula por um canal anular.

Um assento com ângulo de 45° é geralmente considerado como ótimo, embora ângulos menores como 30° são algumas vezes adotados, fazendo que se tenha uma tensão mais compressiva do que de cisalhamento. Assentos de válvulas planos foram tentados em motores muito antigos, mas nunca foram tão satisfatórios como aqueles do tipo cônico.

Guias são fixados no corpo do cabeçote por prensagem mais forte ou menos forte, para facilitar a troca das peças quando desgastadas. Os materiais mais usados são geralmente ferro fundido por causa de suas boas propriedades como mancais. Contudo, outros materiais tem sido empregados, e um emprego mais recente utiliza materiais sinterizados. Em alguns motores mais antigos as válvulas simplesmente deslizavam em furos feitos no próprio material do cabeçote, mas a retificação era dificultada ficavam desgastados. Desgaste permite que óleo e ar circulem pelas folgas através do sistema de admissão, causando falhas no sistema de ignição e mudança na relação ar/combustível. Vazamento de quantidades excessivas de óleo também causam problemas pela formação de carbono e conseqüente problemas na haste da válvula. Folgas maiores que 0,05 mm no guia de válvula devido ao desgaste tem sido mostrado que aumenta a temperatura nas válvulas de escape.

Molas de folha e outros tipos foram usados para a força de vedação nas sedes das válvulas, mas a mola helicoidal é que predomina. Nos primeiros motores um contra pino era usado para fixar a mola na haste da válvula, mas foi o sistema bipartido com canal anular que predomina. A vedação entre válvula e sua sede, isto é, a retifica é feita usando pasta abrasiva e uma ferramenta manual ou motorizada, chamada de chupeta.

Embora assenta em sua sede pela mola a sua abertura é feita através de vários mecanismos, a sua altura de abertura sendo por volta de um quinto do seu diâmetro. Além de ser levantada de sua sede para que haja a abertura a válvula em alguns casos pode também sofrer uma pequena rotação em cada ciclo de abertura/ fechamento.

3.2 A VÁLVULA NA PRÁTICA.

As válvulas são submetidas tanto a cargas mecânicas como térmicas, a primeira sendo aplicada pela mola e cames. Todas estas cargas são tão severas que pode-se dizer que as válvulas são os componentes mais duramente carregados em um motor. Modos de falha em potencial incluem tensão de tração, corrosão quente e fria, desgaste, queima da sede e escoamento do material na área de assentamento. A corrosão fria sendo causada por condensação de ácidos dos produtos de combustão. A solução para o problema está na escolha de materiais que tem adequada resistência à corrosão e dureza e resistência a quente. Válvulas de escape, em particular, trabalham por longo tempo em temperaturas tão altas como 800° C. Materiais usados são Em 51 e Em 52 para válvulas de admissão e 21-4N para válvulas de escape (Jovaj,1983).

Uma propriedade significativa é o coeficiente de expansão. Aços martensíticos assim como os austeníticos tem alto coeficiente de expansão. Conseqüentemente, a haste de uma válvula de escape usando material austenítico tem que ser cônica para compensar o gradiente de temperatura de tal modo que ao longo do seu comprimento, nas temperaturas de operação, seu flanco permanece tão paralelo quanto possível. Em alguns casos, um material martensítico tem boa resistência ao desgaste e baixo coeficiente de expansão sendo usado apenas para a haste das válvulas, ao passo que um material mais austenítico resistente a altas temperaturas e sendo soldados um ao outro por fricção. Para motores aeronáuticos e motores de alta performance, são empregados materiais alternativos como BAC Brightray, que é uma liga contendo 20% de cromo e 70-80% de níquel. Em alguns casos, válvulas que possuem hastes ocas e preenchidas com sódio, para uso como meio de transferência de calor e, portanto que é líquido quando muito quente, tem sido usado.

Para proteção contra corrosão, uma variedade grande de produtos tem sido usada. Este incluem ligas contendo níquel, cobalto, silício, e, menos comum, molibdênio, tungstênio, e titânio. Estes, contudo são materiais muito caros.

Corrosão tende a causar pitting nas vedações das válvulas, como resultado dos gases quentes que iniciam um vazamento e eventualmente queimando um canal por onde a compressão é perdida. Entre os remédios é adequado que promovam uma refrigeração para retirar o calor da cabeça da válvula, através da sede por meio de refrigeração. Queima local e formação de canais podem também ser causados pela presença de produto sólido da combustão incluindo carbono e compostos de chumbo, entre as faces de vedação.

Pitting e desgaste podem ser causados, também, por soldagem local entre a face da válvula e o material da sede. Depósitos de chumbo nas sedes tendem a inibir tal desgaste, como também pode a lubrificação sólida em sedes com material sinterizado. Quando combustível sem chumbo foi primeiramente usado problema foi visto devido ao que foi chamado na época de valve sinkage. Isto foi causado por attrition devido solda local em minúsculos pontos de contato entre os picos de rugosidade da superfície das faces dos assentos ecisalamento que subsequentemente seguia a abertura da válvula. Este problema foi resolvido por uma melhor refrigeração, notadamente pelo uso de cabeçotes de liga de alumínio e especial atenção ao projeto e layout das câmaras de passagem de água em volta dos assentos das válvulas.

Em motores com cabeçote de ferro fundido que funcionam com GLP o mesmo problema ocorre devido à ausência de um filme de depósito nas sedes. Isto tem sido vencido simplesmente dando partida e funcionando o motor com combustível com chumbo até o seu aquecimento, o talvez pela primeira hora de funcionamento do dia.

3.3 ROTAÇÃO DA VÁLVULA

A rotação da válvula pode retirar os depósitos da sede, espalhar lubrificante, sólido ou líquido, em volta da sede, e distribuir o desgaste e o pitting uniformemente em volta da sede, e então, assegurando que o fluxo de calor não é imposto localmente pelo desgaste e distorção. Rotação excessiva deveria ser evitada, pois na realidade pode causar desgaste especialmente se existe uma tendência à solda local.

Um método comum de rotacionar as válvulas é colocar uma peça semelhante a um dedal e de material de aço duro sobre a extremidade da haste da válvula, assentando seu anel na arruela de retenção da mola, de tal modo que haja uma pequena folga entre a ponta da haste e a outra extremidade do dedal. Quando o came pressiona o topo do dedal ele primeiro comprime a mola, momentaneamente liberando a válvula enquanto a folga entre o topo da haste e o final do dedal desaparece e a válvula começa a abrir.

Deve-se lembrar no entanto que a maioria dos motores estacionários, principalmente, os motores de pequena potência não tem comandos que permitam a rotação da válvula. Isto porque implica em aumento de custo, pontos a mais de desgaste e manutenção.

3.4 INSERTOS DE SEDES DE VÁLVULAS

Em cabeçotes de alumínio insertos são essenciais. Embora eles sejam também empregados em alguns cabeçotes de ferro fundido, especialmente em motores diesel e motores para trabalhos pesados. Insertos de alta qualidade são produzidos pela compressão de pé de metal em um molde em forma de anel para produzir o que é chamado de molde verde, que então é transferido para um forno de sinterização. Outros, contudo, são Stellite, ou um metal ferroso; cobalto, e ligas a base de níquel, ou, mais baratos, ferro fundido de alta qualidade tal como no caso de insertos Centri-lock fundido por centrifugação. Ligas não ferrosas de Stellite contendo em várias proporções, cobalto, cromo, tungstênio, e carbono, são extremamente duras.

A maioria de insertos, a menos do material, são colocadas no cabeçote por resfriamento e prensagem. No entanto, poucos são resfriados e rosqueados. Tolerâncias dimensionais são críticas por que devem permanecer seguros na posição durante o funcionamento do motor.

Potenciais modos de falha são afrouxamento da prensagem, corrosão, desgaste e escoamento do material em altas temperaturas. Os requisitos então são: um coeficiente de expansão térmica compatível com aquele do material do cabeçote, estabilidade dimensional e metalúrgica em temperaturas elevadas, e resistência ao afrouxamento, corrosão e ao desgaste por abrasão. Assentos com metal sinterizado tem a vantagem de serem produzidos

em larga escala. Além disso, durante o processo lubrificantes sólidos podem ser incorporados ao pó.

Brico produz uma faixa grande de insertos de metal sinterizado entre os quais um chamado de AR44. Este é um aço cromo 11%, que contém 4% de molibdênio, 6% de cobre e 1% de carbono para resistência ao desgaste. Através de tratamento térmico a dureza pode ser variada to compatibilizar com o material usado na válvula, Outro material sinterizado é o aço ferramenta XW35, a análise do qual contém 62% de Fe, 0,8% de C, 3,5% de Cr, 5% de Mo, 5% de W, 2,5% de V e 20% de Cu.

3.5 LAYOUT DAS VÁLVULAS E FORMA DA CÂMARA DE COMBUSTÃO

Os requisitos a serem atingidos no projeto do cabeçote e posicionamento das válvulas são numerosos e conflitantes, e a procura para um compromisso de sucesso tem conduzido ao projeto, patentes e produção de um grande número de diferentes formas e disposições, geralmente com anomalias e inconsistências na performance entre diferentes exemplos aparentemente possuindo as mesmas virtudes.

Os requisitos básicos a serem alcançados são:

- Potência de saída
- Funcionamento suave
- Economia de combustível
- Fácil manufatura
- Facilidade de manutenção
- Baixa emissão de gases prejudiciais

Existem 4 disposições convencionais que estão em amplo uso. Uma delas refere-se à construção lateral com todas as válvulas em linha sendo o cabeçote do tipo com turbulência, a qual é produzida quando o pistão se aproxima da porção plana do cabeçote. O diâmetro e canal de resfriamento adequado estão em conflito, pois todas válvulas estão em linha. Para resolver este problema é necessário aumentar o passo longitudinal dos cilindros. Também a eficiência volumétrica fica limitada pela direção do escoamento dos gases. Os requisitos de combustão rápida e eficiente são razoavelmente atingidos, embora a propagação da chama seja longa. O requisito de baixa razão entre superfície e volume

não é atingido, e a razão alta de entre superfície e volume do cabeçote, se combinada com turbulência não devida, combinam para se ter baixa economia. Os requisitos de facilidade de manufatura e de manutenção são atingidos como um todo. Motores com estes tipos de disposição de válvulas, por causa de sua simplicidade e baixo custo, foram muito comuns em carros, mas depois seus usos restringiram-se a apenas aplicações industriais.

Uma disposição que fornece boa eficiência volumétrica é quando uma válvula de admissão grande pode ser usada, pois a entrada da válvula dá acesso direto ao cilindro. Alta taxa de compressão pode ser usada. Outras características são similares a embora construção seja mais cara devido mistura de sistema de acionamento direto e por tucho.

3.6 FUNDAMENTOS PARA CABEÇOTES REFRIGERADOS A AR

Os motores refrigerados a ar normalmente se constrói com cilindros individuais, por exemplo, motores estacionários monocilíndricos, motores 4 cilindros da Volkswagen, motor Deutz, etc. os quais se fixam na parte superior do bloco. Os cilindros deste motores podem ser fabricados de acordo com dois tipos de fixação: ou fixando o cilindro no Carter e o cabeçote no cilindro, ou fixando o cilindro e cabeçote ao mesmo tempo. Em motores refrigerados a ar é conveniente utilizar o Carter com elevada rigidez tanto longitudinal como transversal.

Os cilindros de motores refrigerados a ar se fabricam dos seguintes tipos: inteiramente de aço com aletas usinadas; de ferro fundido e aletas formando uma única peça; em forma de uma camisa de aço ou de ferro fundido no qual se encaixa uma carcaça de alumínio com aletas e inteiramente de alumínio com uma superfície recoberta com cromo duro poroso.

A superfície de refrigeração das paredes dos cilindros alcança de 25 a 40% de toda a superfície de refrigeração requerida. O sistema de aletas no cilindro começa diretamente desde sua ligação com o cabeçote e vai, como regra geral, até a região do ponto morto inferior. A parte com aletas constitui 45 a 55% de todo o comprimento do cilindro. A superfície específica de resfriamento para os motores a gasolina é igual a 0,61 a 0,81 [cm^2/W]. A velocidade do ar nas aletas deve estar em torno de 50 [m/s].

A área da superfície de refrigeração do cilindro é diretamente proporcional a altura e ao número de aletas. O calor das paredes do cilindro se transmite para as superfícies das aletas, de onde é evacuada pelo fluxo de ar. Quando a diferença de temperaturas entre a parede do cilindro e o bordo das aletas é grande, a melhor forma da secção transversal da aleta para transmitir o calor resulta na forma trapezoidal. Os espaçamentos das aletas na parede do cilindro deve ser arredondado para melhorar a transmissão calor. A eficiência do processo de transmissão do calor depende da distância entre as aletas, isto é, seu passo. Quando a saída do ar nos cilindros é livre o passo deve ser em torno de 8 [mm]. Aproximadamente 1/3 do passo é necessário para a espessura da aleta e 2/3 do passo para que o ar passe entre as aletas.

A altura das aletas dos cilindros se determina pela condutividade térmica do metal e geralmente não excede 14 a 18[mm]. A melhor estrutura das aletas dos cilindros se considera aquela que tem aletas curtas e de pequenas distâncias entre si. Neste caso se consome menos potência de refrigeração. Um cilindro com rigidez desigual nas diferentes direções nas temperaturas altas se deforma desigualmente levando a uma ovalização.

A parte mais quente de um motor refrigerado a ar é o cabeçote que quase sempre se fabrica de ligas de alumínio. Se se pensa em condições de resistência mecânica e confiabilidade no funcionamento, a temperatura das superfícies exteriores do cabeçote de alumínio nos pontos mais quentes, ou seja, na zona situada entre as válvulas não deve exceder a 215° a 230° e somente se tolera um breve aumento até 260°. O campo das temperaturas dos cabeçotes deve ser o mais uniforme possível para que não surjam deformações térmicas que pode alterar a forma geométrica na parte superior do cilindro.

O ar de refrigeração do motor é obtido por uma ventoinha que por sua vez gasta uma potência proporcional ao consumo de ar elevado ao cubo.

4 CÁLCULO DAS DIMENSÕES PRINCIPAIS DO CILINDRO

4.1 ANÁLISE DA TENSÃO TANGENCIAL

Adotado como um tubo de parede fina, a espessura de parede do cilindro é obtida pela equação da tensão tangencial:

$$t = \frac{P \cdot D_p}{2 \cdot S_n} \quad (4.1)$$

Onde:

P = pressão de trabalho

t = espessura da parede

D_p = diâmetro do pistão ou cilindro

S_n = tensão nominal do material

O material empregado na fabricação do cilindro, o ferro fundido cinzento, apresenta um valor típico de resistência à tração de 21,4 kgf/mm².

Adotando $S_n = \frac{21,4}{cs} = 4,28$ kgf/mm², sendo cs o coeficiente de segurança igual a 5,

valor este que inclui a análise de fadiga, obtém-se:

$$t = \frac{47 \times 7,75}{2 \times 428} \text{ cm} = 0,42 \text{ cm}$$

$$t = 4,2 \text{ mm}$$

4.2 ANÁLISE DE TENSÃO DE TRAÇÃO

A parede do cilindro estará submetida a uma tração máxima no início da expansão quando a pressão atinge 43,52 bar.

Considerando o diâmetro do cilindro igual a 77,5 mm e a espessura de parede igual a 4,2 mm, uma força de tração no cilindro é dada por:

$$Ft_c = A_{cil} \times P_{2a} \quad (4.2)$$

$$Ft_c = 0,785 \cdot (7,75)^2 \times 43,52$$

$$Ft_c = 2052,9 \text{ kgf}$$

Esta força Ft_c vai gerar uma tensão nas paredes do cilindro igual a:

$$\sigma_c = \frac{Ft_c}{A_{anel}} \quad (4.3)$$

$$\sigma_c = \frac{2052,9}{0,785[(77,5 + 4,2)^2 - (77,5)^2]}$$

$$\sigma_c = 3,9 \text{ kgf/mm}^2$$

Este valor de tensão está muito abaixo da tensão de tração do ferro fundido e do limite de resistência à fadiga.

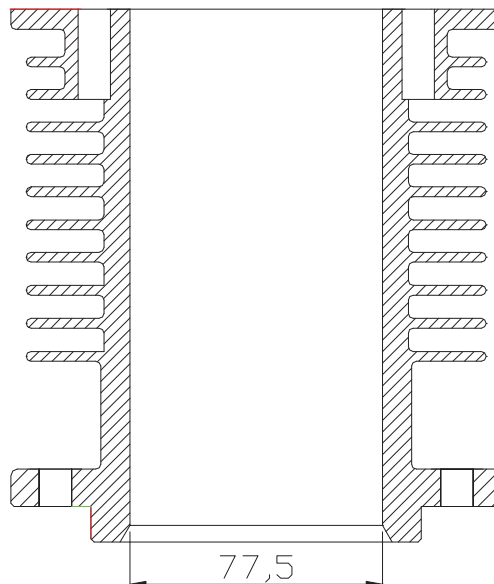


Figura 4 - Corte longitudinal do cilindro

4.3 CÁLCULO DAS DIMENSÕES PRINCIPAIS DO CABEÇOTE

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

No cabeçote é importante definir além da forma, o volume da câmara de combustão de acordo com a taxa de compressão.

O volume da câmara, conforme calculado em trabalho anterior (Bruno, 2008), é igual a $67,61 \text{ cm}^3$.

Para facilitar a execução deste projeto, a câmara de combustão será de forma cilíndrica e concêntrica com o cilindro, acomodando as válvulas na parte superior, ou como é conhecido, com as válvulas na cabeça.

Como as válvulas e as velas praticamente não ocupam espaço dentro da câmara, a altura “h” desta câmara será obtida da Equação (4.4):

$$V_{cc} = 0,785 \times Dp^2 \times (h_{cc} - h_j) \quad (4.4)$$

Onde h_j é a altura da junta ou:

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

$$h_{cc} = \frac{67,61}{0,785 \times 7,75^2} - 0,1$$

$$h_{cc} = 14,2 \text{ mm}$$

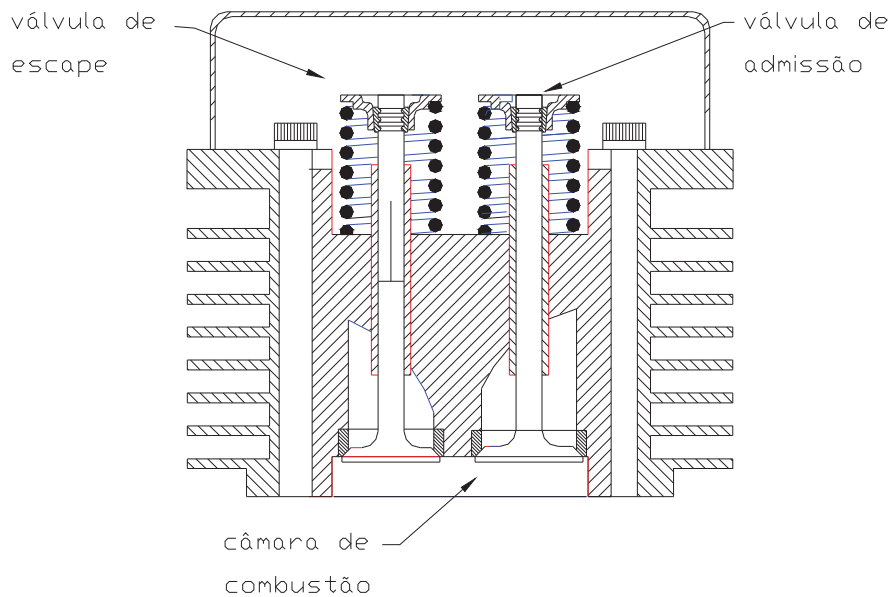


Figura 5 - Corte do cabeçote mostrando detalhes da câmara e válvulas

4.4 CÁLCULO DOS PARAFUSOS DO CABEÇOTE E DO CILINDRO

4.4.1 Parafuso 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 onde atua a pressão máxima igual a:

$$Ap_{cc} = 0,785 \cdot Dp^2 \quad (4.5)$$

$$Ap_{cc} = 0,0785 \times 7,75^2$$

$$Ap_{cc} = 47,17 \text{ cm}^2$$

Sendo a pressão máxima na câmara de combustão igual a 43,52 bar, então a força máxima será:

$$F_{cabeçote} = P_{2a} \cdot Ap_{cc} \quad (4.6)$$

$$F_{cabeçote} = 43,52 \times 47.17$$

$$F_{cabeçote} = 2052,83 \text{ kgf}$$

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 $cs = 9,0$, levando em consideração fadiga, concentração de tensões e choques térmicos . Portanto a força nominal será:

$$F_{cabeçotenom.} = 2052,83 \times 9,0$$

$$F_{cabeçote \text{ nom.}} = 18475,5 \text{ kgf}$$

Adotando-se 6 parafusos de cabeça cilíndrica com sextavado interno, do catálogo obtém-se: Parafuso M10.

5 DESENHOS

5.1 DESENHO 2D e 3D

O desenho do cabeçote em 2D foi realizado procurando aplicar todas as informações obtidas no capítulo 4, assim como, aplicando também dos dados de cálculos básicos, tais como, volume de câmara de combustão que no fundo envolve taxa de compressão. As válvulas de todos os seus acessórios, ou peças adjacentes, fornecerem, também, dados para o seu desenho. Deve-se lembrar que estes elementos, assim como parafusos, são peças do mercado de auto peças. Para completar o desenho as medidas das aletas foram obtidas a partir de informações do capítulo 4. Entretanto, o grande problema num projeto é como posicionar peças que são calculadas separadamente. Sendo assim, no posicionamento das válvulas elas foram colocadas num plano que passa pelo centro da válvula de escape, pelo centro da válvula de admissão e pelo centro geométrico do cabeçote. Principalmente para a construção de um cabeçote apenas, que é o caso desta pesquisa, esta é uma disposição que vai facilitar desde o desenho em 2D até o desenho em 3D, assim como, da própria usinagem do cabeçote.

Na Figura 6 os elementos do cabeçote são dispostos inicialmente após várias discussões, assim como, era de se esperar, também, após várias tentativas e erros. Observar que neste primeiro desenho de conjunto do cabeçote que o centro das válvulas são simétricos em relação ao centro do cabeçote embora os seus diâmetros sejam diferentes. A altura do cabeçote fica definida em função praticamente do comprimento das válvulas e da profundidade da câmara de combustão.

Na Figura 7 algumas alterações foram feitas nas aletas de refrigeração o que pode ser visto naquelas do lado esquerdo comparadas com as do lado direito que não foram alteradas.

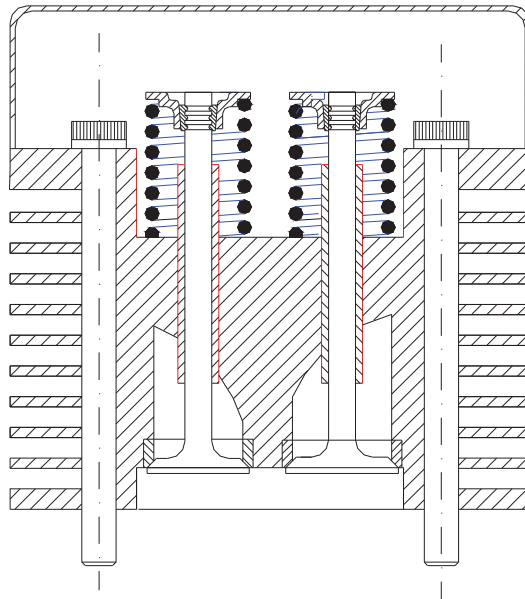


Figura 6 - Desenho do cabeçote com posicionamento dos elementos

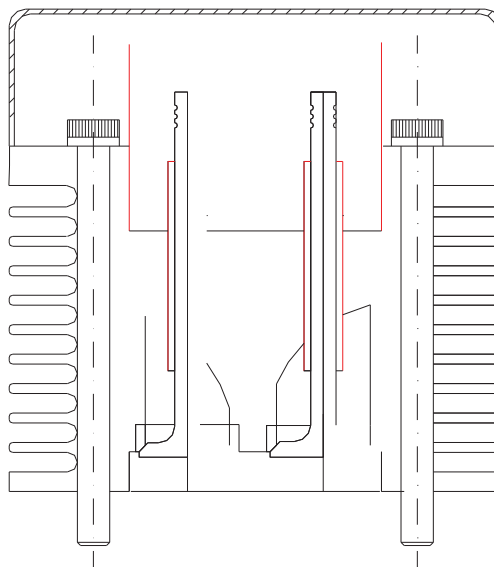


Figura 7- Desenho do cabeçote modificado

Na Figura 7 ao mesmo tempo já existe uma preparação para a modelagem 3D das válvulas, e do guia de válvulas, isto é, algumas linhas foram retiradas para se fazer as “polylines” necessárias para o comando “REVOLVE” do AutoCAD.

A Figura 8 é a preparação da “polyline” que vai gerar o corpo do cabeçote, ao mesmo tempo em que gera a câmara de combustão e poço onde ficarão alojados os guias das válvulas, assim como, as hastes das válvulas e acessórios.

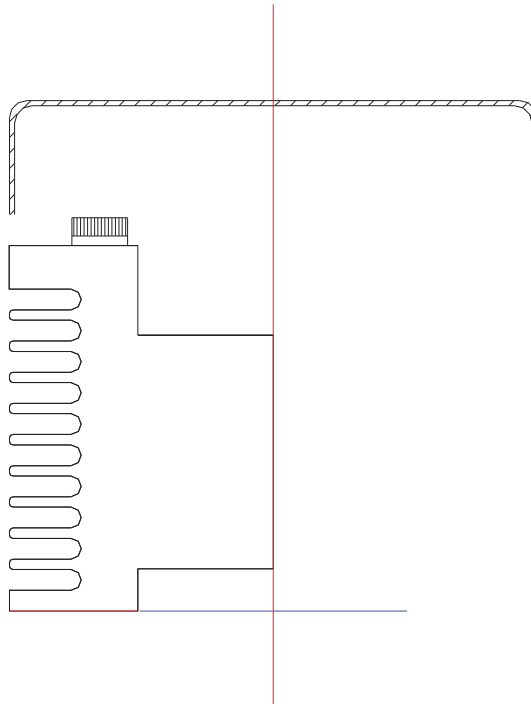


Figura 8- “Polyline” para gerar o corpo do cabeçote, câmara de combustão e poço das válvulas

Na sequência a Figura 9 apresenta o corpo do cabeçote em 3D sendo o início da modelagem. Esta peça, nesta fase da modelagem com muitos detalhes, foi gerada utilizando apenas uma “polyline” e o comando “ REVOLVE” sendo o centro de geração a linha de centro do corpo do cabeçote.

A Figura 10 mostra os quatro retângulos que são as “polylines” para gerar os dois furos para os guias das válvulas assim como os furos para prensar as sedes das válvulas.

Nas Figuras 11 e 12 são mostrados em 3D respectivamente os furos dos guias das válvulas e as sedes das válvulas.

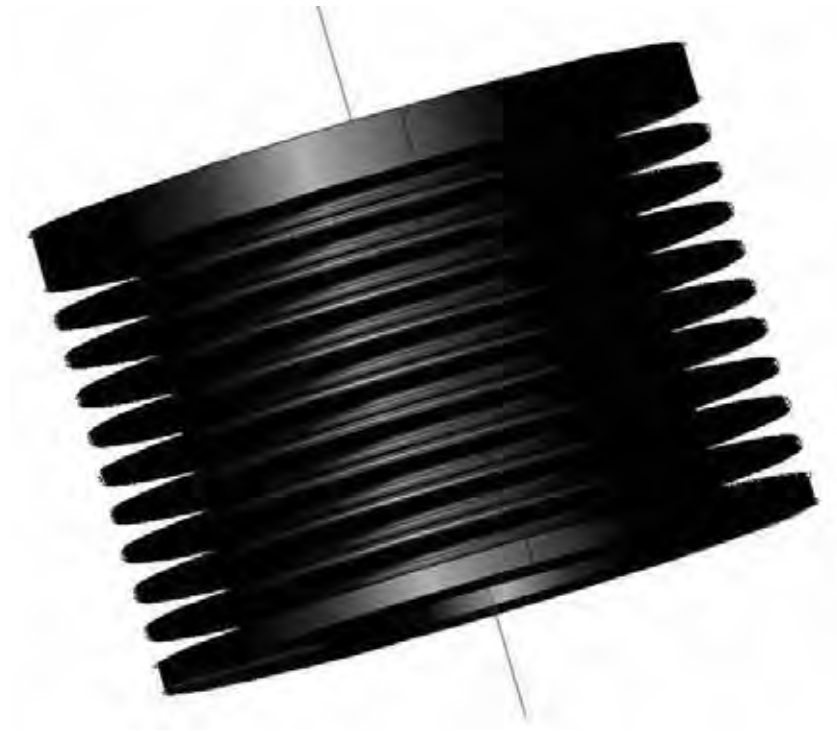


Figura 9- Corpo do cabeçote câmara de combustão e poço das válvulas em 3D

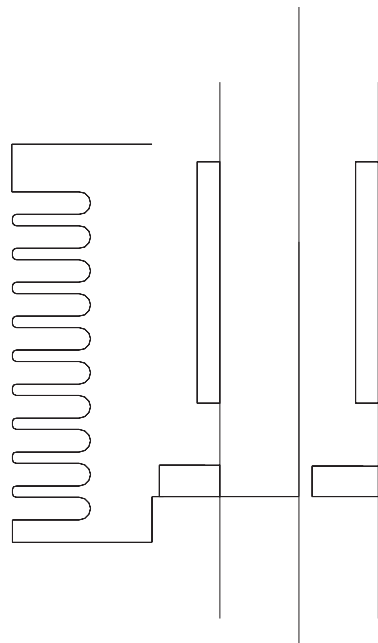


Figura 10 - "Polylines" para gerar furo dos guias das válvulas e furo para assento das válvulas

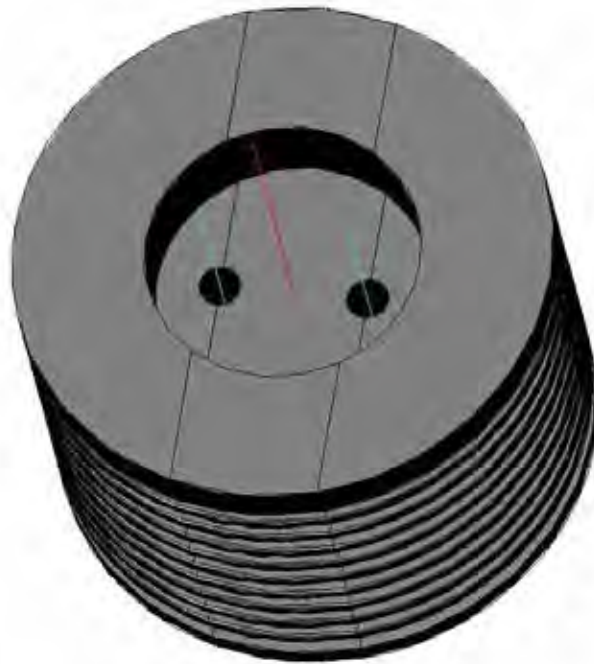


Figura 11- Cabeçote com os furos dos guias das válvulas

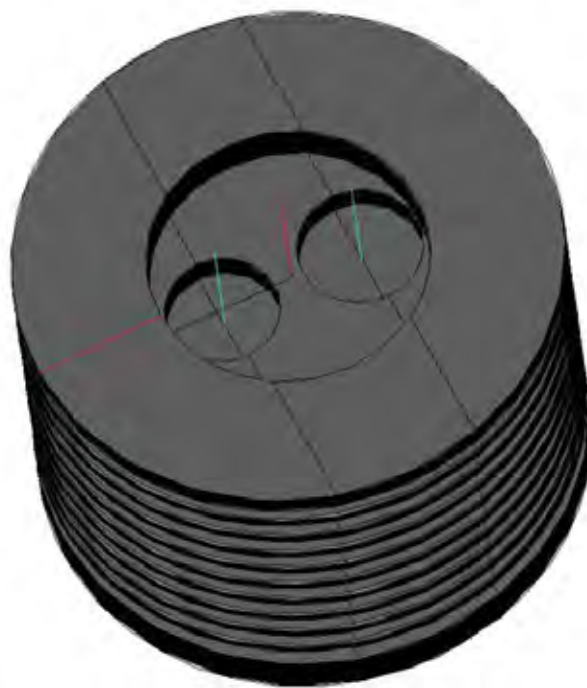


Figura 12- Cabeçote com os furos das sedes de válvulas

A próxima fase da modelagem será obter os dois furos internos que conectarão as válvulas como o meio exterior. Um destes furos será para os gases de escape, o qual será conectado externamente ao escapamento. O outro furo fará a sucção da mistura ar/combustível para o interior do cilindro através da válvula de admissão. É necessário primeiramente cortar o cabeçote através de um plano que passa pelo centro da válvula de escape e que seja perpendicular ao plano dos centros das válvulas. Então, move-se esta parte cortada para a direita, como mostrado na Figura 13, até a linha de centro do cabeçote.



Figura 13- Parte cortada do cabeçote e movida para a direita

Depois, rotaciona-se 90° esta peça em torno da linha de centro do cabeçote a fim de que a face cortada fique no plano x y. Com a face nesta posição fica fácil traçar o caminho do círculo, que através do comando “EXTRUDE” do AutoCAD gerará o sólido que será subtraído do cabeçote para se obter o furo que se deseja, como mostrada na Figura 14. O caminho começa na parte superior da sede da

válvula com um arco de 90°. Em seguida continua em linha reta até a parte externa do cabeçote.

O sólido será gerado continuamente com o arco se deslocando neste caminho, como mostrado na Figura 15.

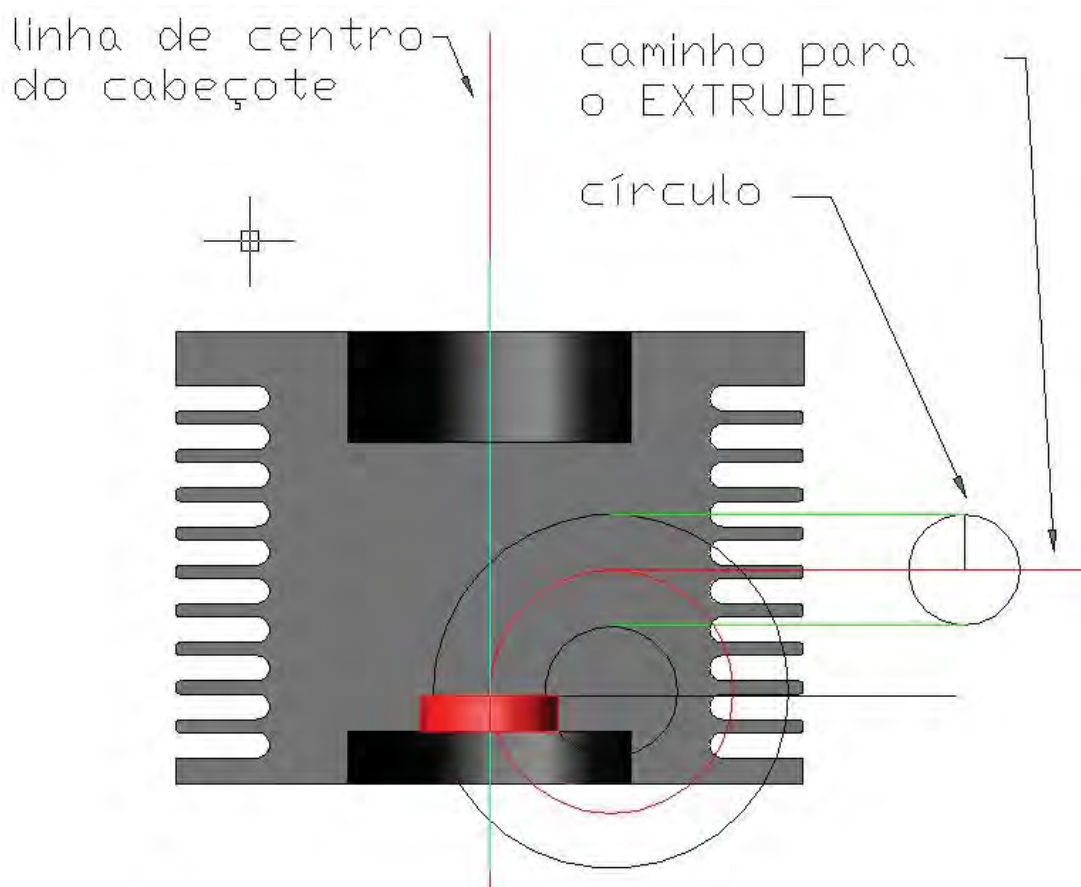


Figura 14- Construção do caminho para aplicar EXTRUDE no círculo

Após a obtenção do sólido que será subtraído do cabeçote para formar o canal de escape é necessário fazer o caminho inverso com a parte do cabeçote cortada. Ela deverá retornar para a sua posição original onde estava antes de ser cortada. Agora, com o cabeçote completo e o sólido na posição conveniente pode-se fazer a seguinte

operação: cabeçote menos sólido igual a cabeçote com o furo para a válvula de escape, como mostrado na Figura 5.16.

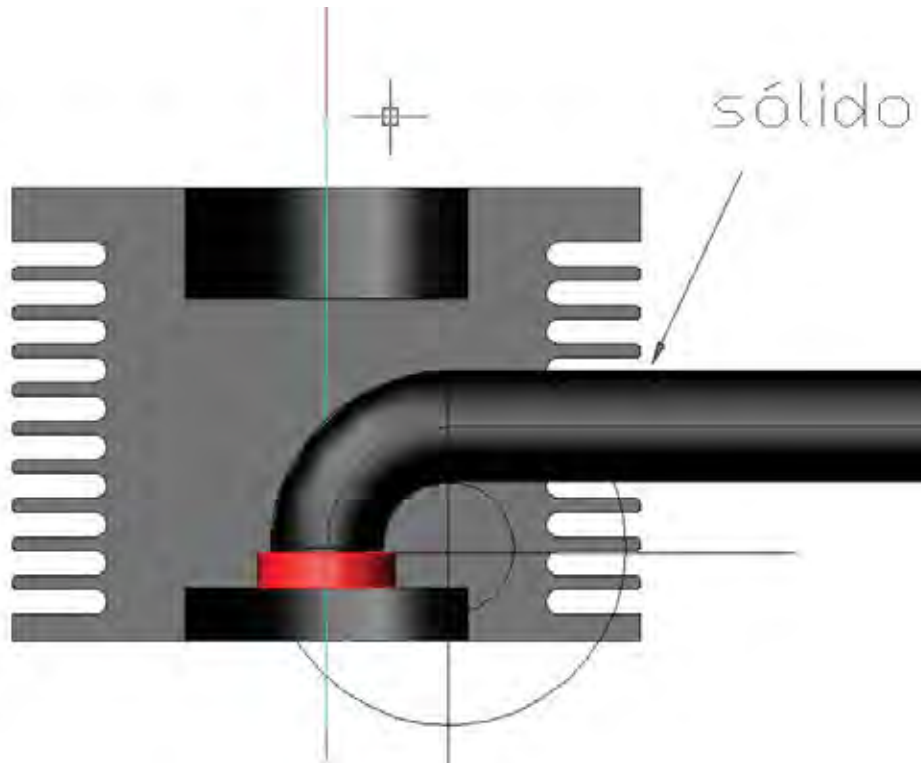


Figura 5.15- Sólido para formar o canal de escape

Para a obtenção do furo de aspiração um procedimento análogo pode ser feito. Entretanto, como o furo de escape será feito com as mesmas dimensões que o furo de aspiração, ficará menos trabalho fazer este segundo furo. Desta forma, é necessário copiar o sólido que gerou o furo de escape para o lado do furo de aspiração, mas com os seguintes detalhes:

- a) copiar o sólido gerador do furo do centro da válvula de escape para o centro da válvula de admissão;
- b) gira este sólido 180° em torno do eixo da válvula de admissão;
- c) subtrair o cabeçote menos o sólido

Finalmente se obtém o cabeçote com os dois furos de escoamento das válvulas de escape e de admissão.

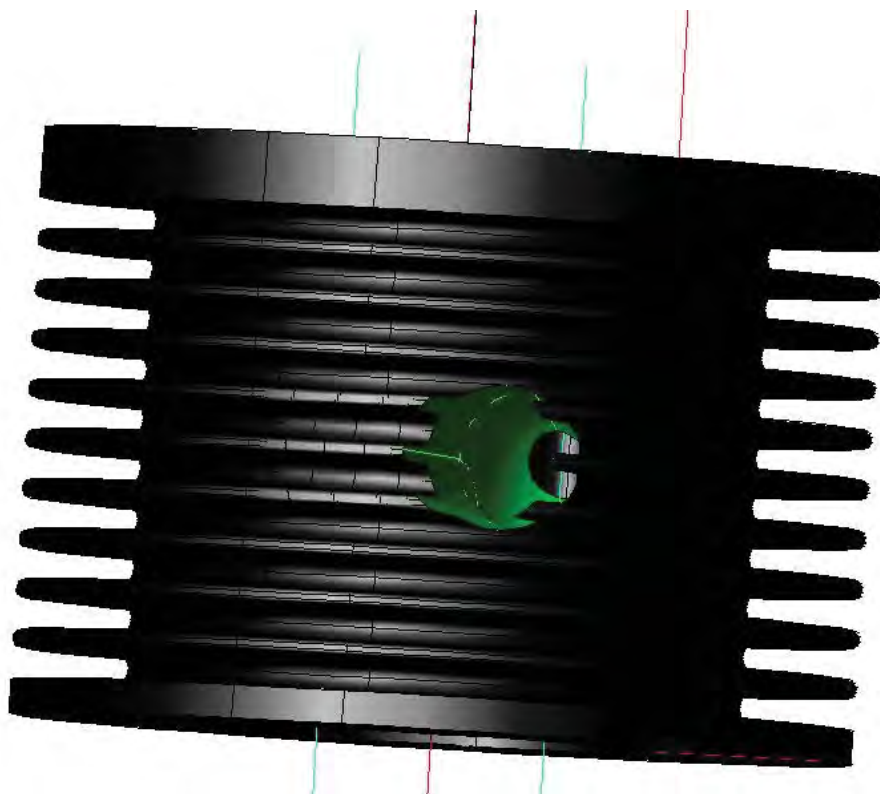


Figura 5.16- Cabeçote com o furo de escape

Na Figura 5.17 pode-se ver modelado todos os elementos do cabeçote , isto é, o corpo do cabeçote, as sede das válvulas, os guias das válvulas e as válvulas. A Figura está apresentada em corte, pois somente desta maneira pode-se ver todos os elementos sólidos ao mesmo tempo e porque eles estão num mesmo plano. Se assim não fosse, seriam necessários vários cortes para mostrar todos os elementos.

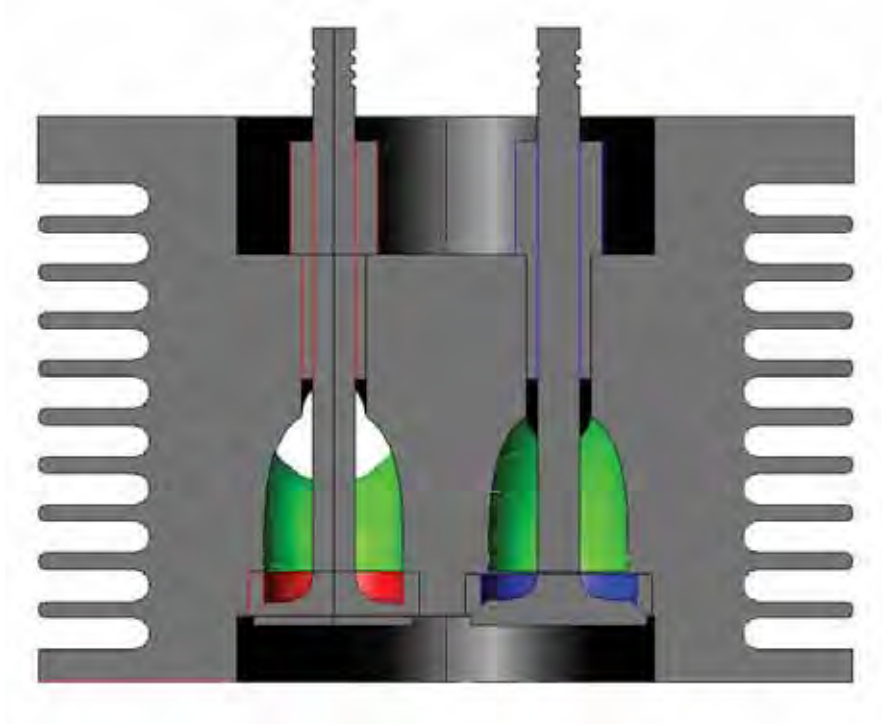


Figura 5.17- Cabeçotes modelado em 3D sólidos com todos elementos

6 CONCLUSÃO

Pode-se considerar que o objetivo desejado no início do trabalho foi alcançado com êxito, principalmente levando-se em consideração as dificuldades encontradas durante a sua realização. Como em todo trabalho de pesquisa, algumas idéias iniciais foram abandonadas ou reavaliadas, devido às restrições encontradas durante o desenvolvimento deste projeto.

Os resultados obtidos mostram que através deste trabalho mesmo os engenheiros com pouca experiência em projetos podem desenvolver o projeto deste cabeçote através da metodologia desenvolvida, uma vez que este assunto é pouco abordado na literatura.

O desenvolvimento de um projeto pode ser considerado uma das atividades mais completas e importantes dentro da engenharia. Isto porque na concepção de um projeto mecânico o projetista deve possuir um conhecimento global de quase todas as áreas da engenharia. Muitas decisões tomadas durante a elaboração de um projeto afetam de modo direto todas as outras etapas seguintes. Estas decisões são tomadas baseadas na experiência do projetista e/ou no estudo de casos semelhantes registrados.

Outra ferramenta muito valiosa durante a criação de um projeto são os conhecimentos dos processos de fabricação e técnicas de construção, pois eles permitem viabilizar a execução de um projeto com facilidade, tornando-o competitivo.

Com respeito ao trabalho desenvolvido o objetivo de se desenhar em 3D um cabeçote foi alcançado. Entende-se que esta modelagem muito auxiliará no término do motor 4 tempos que está sendo desenvolvido neste campus. A satisfação também é grande porque todo o trabalho foi desenvolvido dentro deste campus e somente com recursos deste campus, principalmente, recurso humano.

REFERÊNCIAS

BRUNO, E. P. **Projeto de um motor 4 tempos, a gasolina e monocilíndrico.”Cálculo termodinâmico, desenho, homenagem e montagem da parte alternativa”**. 2008. 108p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica – Projetos e Materiais)-Faculdade de Engenharia de Guaratinguetá, Universidade Estadual Paulista, Guaratinguetá, 2008.

BLAIR, G. P. **Design and simulation of for stroke engines**. Detroit: SAE, 1999. 840p.

HEISLER, H. **Advanced engine technology**. Great Britain: Arnold, 1995. 794p.

HEYWOOD, J. B. **Internal combustion engine fundamentals**. New York: Mc Graw Hill, 1988. 930p.

JOVAJ, M. S. **Motores de automóvil**. Moscou: Editora Mir, 1983. 665p.

STONE, R. **Introduction to internal combustion design engines**. Great Britain: Macmillan Press, 1993. 592p.

TAYLOR, C. F. **The internal combustion engine in theory and practice**. Detroit: The MIT Pres, 1985.

WHITE, G. **Allied aircraft piston engines of world war II**. Warrendale, PA: SAE International, 1994. 425p.