

MARINHA DO BRASIL  
CENTRO DE INSTRUÇÃO ALMIRANTE GRAÇA ARANHA  
ESCOLA DE FORMAÇÃO DE OFICIAIS DA MARINHA MERCANTE

LUAN ROCHA FLEMING

**MOTOR DIESEL DE ALUMINIO**

RIO DE JANEIRO  
2015

LUAN ROCHA FLEMING

**MOTOR DIESEL DE ALUMINIO**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado como exigência para obtenção do título de Bacharel em Ciências Náuticas do Curso de Formação de Oficiais de Máquinas da Marinha Mercante, ministrado pelo Centro de Instrução Almirante Graça Aranha.

Orientador: Prof. Nélio Fernandes Pereira

RIO DE JANEIRO  
2015

LUAN ROCHA FLEMING

**MOTOR DIESEL DE ALUMINIO**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado como exigência para obtenção do título de Bacharel em Ciências Náuticas do Curso de Formação de Oficiais de Máquinas da Marinha Mercante, ministrado pelo Centro de Instrução Almirante Graça Aranha.

Data da Aprovação: \_\_\_\_/\_\_\_\_/\_\_\_\_

Orientador: Prof. Nélio Fernandes Pereira

---

Assinatura do Orientador

NOTA FINAL: \_\_\_\_\_

## **AGRADECIMENTOS**

Quero agradecer, em primeiro lugar, a Deus que iluminou o meu caminho durante esta jornada.

Aos meus pais, irmã e toda a minha família que, com muito carinho e apoio, não mediram esforços para o alcance de meus objetivos.

Agradeço ao meu professor-orientador que teve paciência e me ajudou a concluir este trabalho.

À Carina, pessoa com quem amo partilhar a vida. Obrigado pelo carinho, a paciência e por sua capacidade de me trazer paz na correria de cada semestre.

Meus agradecimentos a todos aqueles que de alguma forma doaram um pouco de si para que a conclusão deste trabalho se tornasse possível.

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

*Charles Chaplin*

## RESUMO

O motor é um dispositivo que transforma energia química em energia mecânica. Divide-se, principalmente, em: bloco, cabeçote, cárter, pistão, biela, virabrequim, volante e turbo compressor. Seu funcionamento pode ser de 4 ou 2 tempos, compreendendo a admissão, compressão, expansão e descarga. Na sua fabricação os materiais utilizados têm várias composições e qualidades, podem ser de ferro fundido, ligas de alumínio, aço e titânio, variando de acordo com seu uso e características próprias. Dentre estes materiais, as Ligas de Alumínio são as que mais têm avançado, um dos motivos deste avanço foi o desenvolvimento das técnicas de fundição, com o surgimento da tixofundição, também chamado de fundição de ligas semissólidas de alumínio, onde o alumínio é em pasta, abaixando o seu custo e, tornando-o mais competitivo sobre o ferro fundido. As vantagens desta liga sobre o ferro fundido são, principalmente, resistência a corrosão, reciclagem, confiabilidade de seus fundidos, são trinta por cento mais leves, favorecem a performance, além de melhorar a transferência de calor. Desta maneira, a utilização de alumínio na fabricação de motores já é uma realidade e um caminho sem volta, principalmente pelos avanços tecnológicos, ser ecologicamente mais limpa, por ter o volume de matéria retirada da natureza reduzido.

Palavras chaves: Tecnologia, Motor, Alumínio

## **ABSTRACT**

The engine is a machine which transforms chemical energy into mechanical energy. It's divided, mainly, in: cylinder block, cylinder head, crankcase, piston, crankshaft, turbocharger. It can be four or two strokes, intake, compression, expansion and exhaust stroke. In the production are used lots of compounds and qualities, they can be cast-iron, aluminum alloy, steel and titanium, according to the usage and it's own characteristic. The Aluminum Alloy are the most advanced, one of the reasons was the development of new casting techniques, such as thixocast, also called aluminum semisolid alloy casting, where the aluminum is a paste, lowering costs and making it more competitive than cast-iron. The advantages are mainly, corrosion resistance, recycling and the reliability on it's casts, they are thirty percent lighter, have a better heat dissipation. On this way, the manufacture of engines using aluminum is a reality without return, due to technological advances, and can be considered ecologically clean because of the reduced volume of material took of the nature.

Key words: Technology, Engine, Aluminum.

## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1	Motor a Diesel CUMMINS visto em corte.....	12
Figura 2	Motor a Diesel 4 tempos.....	15
Figura 3	Motor a Diesel 2 tempos.....	16
Figura 4	Bloco de Ferro Fundido da Teksid .....	17
Figura 5	Bloco de Alumínio Chevy LS7.....	18
Figura 6	Válvula de Escape de Aço Nitruado.....	19
Figura 7	Biela de Titânio.....	20
Figura 8	Liga de Al-Cu.....	21
Figura 9	Liga de Al-Si.....	22
Figura 10	Fundição em Areia.....	24
Figura 11	Fundição em Coquilha.....	25
Figura 12	Motor Mercedes-Benz.....	29
Figura 13	Fábrica da Hydro Alumínio norte do Brasil.....	31
Figura 14	Esquema de Motor Radial.....	32
Figura 15	Motor Radial de Alumínio.....	36



## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

PMS - Ponto Morto Superior

PMI - Ponto Morto Inferior

Fe - Ferro

C - Carbono

Al - Alumínio

Cu - Cobre

Si - Silício

Mg - Magnésio

Zn - Zinco

Sn - Estanho

MIT - Massachusetts Institute of Technology

AEA - Associação de Engenharia Automotiva

GNL - Gás Natural Liquefeito

IMO - Organização Marítima Internacional

EPA - Agência de Proteção Ambiental

## SUMÁRIO

Lista de Ilustrações

Lista de Abreviaturas

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO</b> .....	10
<b>2</b>	<b>MOTOR</b> .....	12
2.1	Definição.....	12
2.2	Estrutura do Motor.....	13
2.3	Funcionamento.....	14
<b>3</b>	<b>MATERIAIS USADO NOS MOTORES</b> .....	17
3.1	Ferro Fundido.....	17
3.2	Alumínio.....	18
3.3	Aço.....	19
3.4	Titânio.....	20
<b>4</b>	<b>ALUMÍNIO</b> .....	21
4.1	Principais Ligas.....	21
4.2	Métodos de Fundição.....	23
4.3	Forma de Produção.....	26
4.4	Vantagens do Alumínio.....	26
<b>5</b>	<b>MOTORES DE ALUMÍNIO</b> .....	28
5.1	Realidade no Brasil.....	30
5.2	Motores a Diesel de Alumínio.....	30
<b>6</b>	<b>MOTOR A DIESEL DE ALUMÍNIO USADO NO MERCADO NAVAL</b>	32
6.1	Posição Atual.....	32
6.2	Configurações.....	33
6.2.1	Motor V-12 .....	33
6.2.2	Motor Radial.....	35
6.2.2.1	Radial 42 Cilindros.....	35
6.2.2.2	Radial 56 Cilindros.....	35
<b>7</b>	<b>CONSIDERAÇÕES FINAIS</b> .....	38
	<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS</b> .....	40

## 1 INTRODUÇÃO

Nos últimos anos temos ouvido falar muito sobre motores de alumínio, mas sempre retratados na maioria das vezes em carros a gasolina. Mais recentemente, a discussão sobre esta transformação de energia passou a abordar os motores a diesel de alumínio, perdurando ainda, a superação de alguns obstáculos para que se chegasse a fabricação de motores de grande porte como os usados em locomotiva, caminhão e no mercado naval.

Os motores diesel de alumínio sempre foram considerados como motores frágeis, com rápido processo de fadiga, preço elevado, dentre outros. Com o avanço tecnológico, estudo e aprimoramento das técnicas de industrialização, tais características foram contornadas, viabilizando o seu uso em todas as categorias, seja de pequeno, médio e grande porte.

O assunto abordado neste trabalho tem como objetivo mostrar o caminho que se percorreu e porque a liga de alumínio vem tomando o lugar do ferro fundido, inclusive nos motores a diesel, com alcance até mesmo dos motores de grande porte. Estes chegando no mercado somente agora.

Tal estudo se inicia tratando do motor e seus tipos, com enfoque para o motor a diesel, nosso principal objetivo, fazendo um breve comentário sobre as peças principais desses motores e seu funcionamento afim de compreender o porquê das mudanças do material utilizado.

Os vários tipos de ligas metálicas, que podem ser usadas no motor e suas principais utilizações, também terão seu destaque, com aprofundamento nos elementos das ligas de alumínio, descrevendo as mais importantes para a construção dos motores e seus métodos de fundição. Técnicas estas que viabilizam a industrialização das peças, tornando possível hoje em dia serem usadas na fabricação de motores com maior performance.

Outro ponto a ser comentado é quanto a constatação de que nos países desenvolvidos, motores com maior performance, que exige mais do material que são feitos, já utilizam o alumínio a bastante tempo, diferentemente do Brasil, no qual é bem mais recente. Somente agora as montadoras estão construindo seus primeiros parques industriais, com o objetivo de produzir motores a base de alumínio,

anteriormente importados.

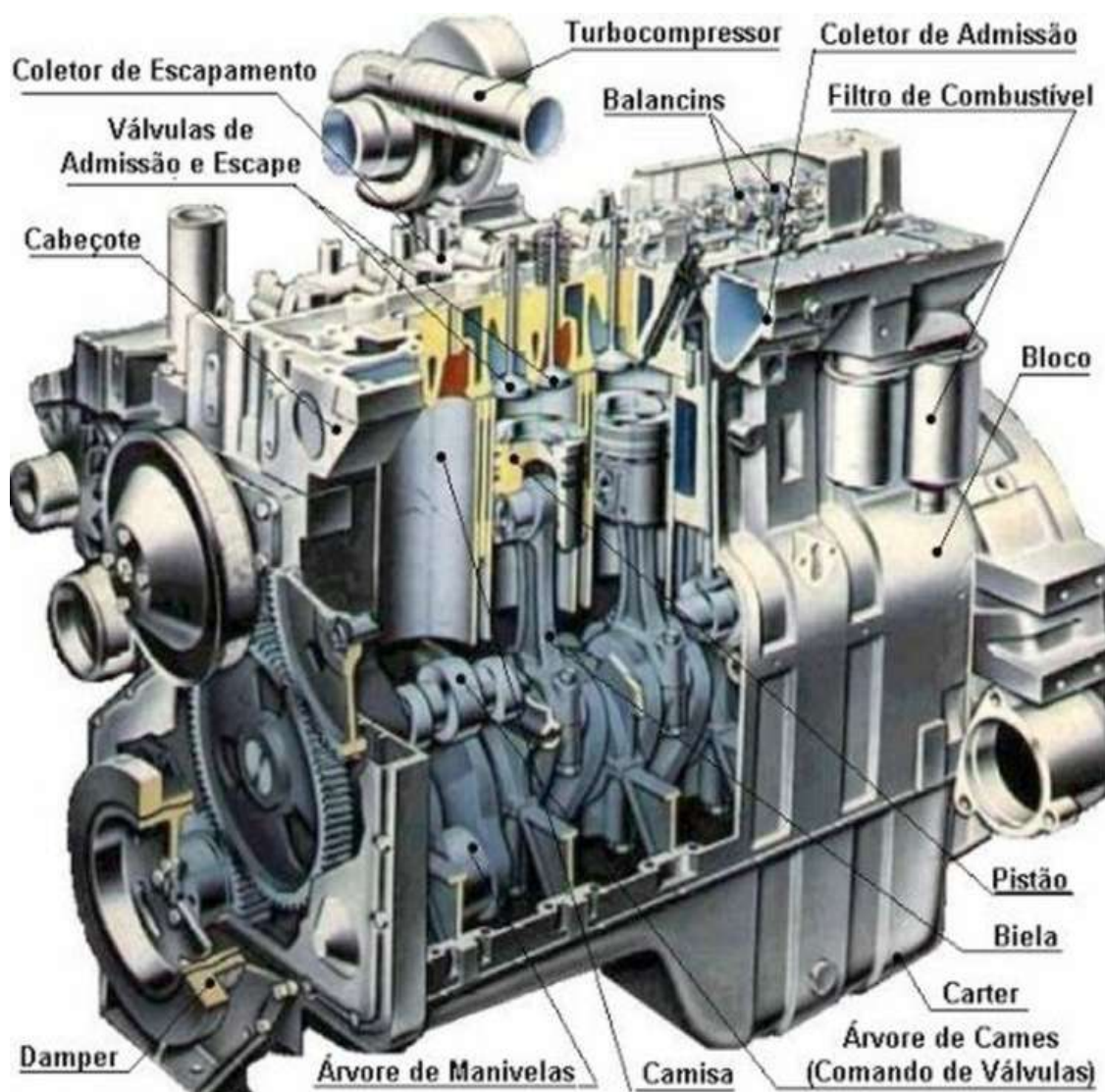
Ao final deste trabalho abordaremos sobre o motor a diesel de alumínio existente no mercado naval, descobrindo curiosamente que normalmente os motores de navios são de dois tempos e os fabricados de alumínio são de 4 tempos.

## 2 O MOTOR

### 2.1 Definição

Um motor é um dispositivo que converte a energia, química ou térmica, resultante da queima da mistura ar combustível, em energia mecânica gerando um movimento.

Figura 1 Motor Diesel CUMMINS S modelo 6CT8.3 visto em corte



Fonte: <http://www.portalsaofrancisco.com.br>

## 2.2 Estrutura do motor

2.2.1 Bloco é a peça mais pesada e mais volumosa do motor. É nele que ficam os orifícios denominados cilindros, dentro dos quais trabalham os êmbolos. O bloco também possui espaços ociosos em volta dos cilindros denominados jaquetas, destinados à passagem da água de arrefecimento do motor.

Segundo Guesser (1997), as principais características desejáveis a um material para a fabricação de um bloco de motor são:

- a) elevada resistência mecânica;
- b) boa condutividade térmica;
- c) tenacidade;
- d) ductilidade e,
- e) capacidade de amortecimento de vibrações.

2.2.2 Cabeçote, elemento que fecha o bloco por cima, e no qual são montados os balancins, as válvulas de admissão e de descarga e os injetores de combustível. Possui também espaços vazios destinados à circulação da água de arrefecimento.

2.2.3 Cáster, recipiente que serve de depósito para o óleo lubrificante do motor. É fixado embaixo do bloco, colocando-se entre as duas peças uma junta de material macio, como cortiça ou papelão apropriado.

2.2.4 Êmbolo ou pistão, peça do motor que trabalha no interior do cilindro e que recebe diretamente o impulso dos gases da combustão. Através de seu movimento retilíneo alternado, verifica-se a transformação da energia química do combustível em mecânica, transmitida ao eixo de manivelas por meio da conectora.

2.2.5 Biela ou conectora, unidade de ligação entre o êmbolo e o eixo de manivelas. Por meio de seu auxílio, o movimento alternado do êmbolo é transformado em rotativo no eixo de manivelas do motor. Uma de suas extremidades articula no pino do êmbolo e a outra, no pino da manivela. Em motores de grande porte, a conectora é seccionada em duas partes, unidas pela cruzeta.

2.2.6 Eixo de manivelas ou virabrequim, dispositivo no qual articula o mancal bipartido da biela, sendo no pino da manivela, a conexão da articulação da extremidade bipartida da mesma, sendo responsável pela transmissão do

movimento rotativo do motor ao seu utilizador, no caso dos navios, é o eixo propulsor. Possuindo, ainda, canais de lubrificação.

2.2.7 Volante, engrenagem bastante pesada instalada na extremidade do eixo de manivelas, destinado a armazenar energia e facilitar a continuação do movimento de rotação do virabrequim. Para proteger o operador, alguns volantes possuem uma capa de proteção.

2.2.8 Turbo compressor, um componente do motor que abastece os cilindros com a maior massa de ar possível, permitindo um bom aumento de potência. Quando o motor não possui turbo compressor, a sua potência é menor devido a redução da quantidade de ar aspirada pelo êmbolo. Esse componente é constituído por uma turbina acionada pelos próprios gases de descarga do motor e por um compressor montado no mesmo eixo, o qual aspira o ar da atmosfera, eleva a sua pressão e o envia para os cilindros. Existe um trocador de calor entre o compressor e o filtro de ar.

Além dos componentes aqui citados, o motor Diesel possui ainda muitos outros. Entre eles, encontram-se a bomba, os filtros de óleo lubrificante, combustível e ar, sistema de combustível e os bicos injetores, que constituem os diversos sistemas de um motor.

### **2.3. Funcionamento**

O motor que vamos abordar neste estudo é o de combustão interna, onde a combustão da mistura ocorre dentro do motor, mais especificamente dentro dos cilindros. Existem vários tipos de motores de combustão interna, no entanto, vamos falar dos motores que utilizam o ciclo de combustão de 4 e 2 dois tempos.

Os motores de 4 tempos são os mais usados em carros, grupos geradores, caminhões e outros, ressaltando-se que estes motores já são utilizados em navios, fato que pode ser constatado através do desenvolvimento pela *Bentley-Marine* de motores de 4 tempos. Todavia, são mais frequentes o uso em navio de motores 2 tempos.

O funcionamento do ciclo de combustão a 4 tempos ocorre da seguinte forma:

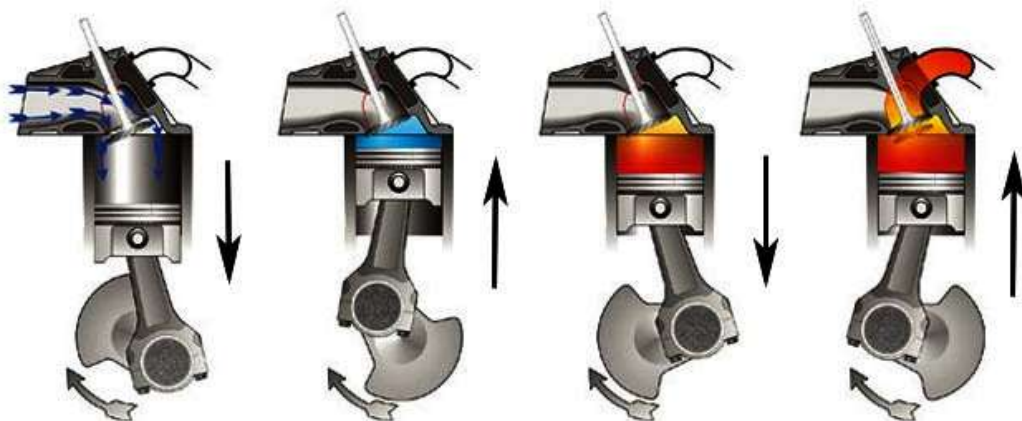
a) 1º Tempo – admissão – Com o pistão em movimento descendente, a válvula de admissão abre-se para permitir a entrada de ar que é aspirada para dentro do cilindro.

b) 2º Tempo – compressão – Com o pistão em movimento ascendente, o ar é comprimido. Ambas as válvulas se encontram fechadas.

c) 3º Tempo – Expansão – Antes de o pistão atingir o ponto morto superior (PMS), ocorre a injeção do Diesel, devido a alta pressão e conseqüente aumento de temperatura, a mistura explode. Ambas as válvulas se encontram fechadas. Devido ao movimento de expansão dos gases, o pistão é forçado para baixo até ao ponto morto inferior (PMI), impulsionando, assim, o eixo de manivelas. Produz-se, então, uma força rotativa que proporciona o movimento do eixo do motor.

d) 4º Tempo – descarga – Assim que o pistão atinge o PMI, a válvula de escape abre-se, e devido ao movimento ascendente do pistão, os gases são pressionados promovendo a descarga.

Figura 2 - Motor diesel 4 tempos



Fonte: Adaptado de <https://shaikmoin.files.wordpress.com>

Cabe destacar que, durante os quatro tempos, apenas se transmitiu trabalho ao pistão uma só vez. Para fazer com que as válvulas de admissão e de descarga funcionem corretamente, abrindo e fechando as passagens nos momentos exatos, a árvore de cames gira a um quarto de rotação do motor por tempo. Completando uma volta a cada ciclo de 4 tempos.



O funcionamento do ciclo de combustão a 2 tempos ocorre da seguinte forma:

O tempo é compreendido pelo deslocamento completo, ascendente ou descendente, do pistão. Assim, um tempo equivale a meia volta do eixo de cames.

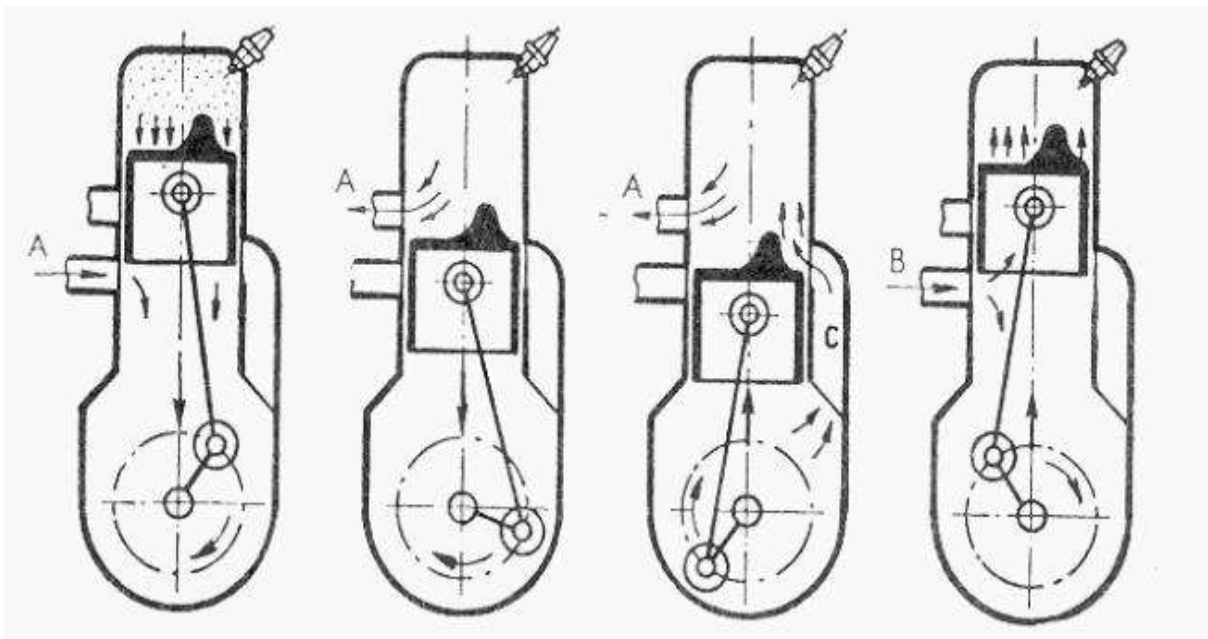
Nos motores de 2 tempos, estes compreendem:

1º Tempo - admissão e compressão - É quando o pistão faz o movimento de ascendência.

2º Tempo - expansão e descarga - O pistão faz o movimento de descendência.

Nota-se que o funcionamento dos dois são semelhantes, transmitindo-se trabalho ao pistão apenas uma vez a cada ciclo de 2 tempos.

Figura 3 Motor diesel 2 tempos



Fonte: <http://www.ebah.com.br>

Em um motor diesel, o injetor é um dos componentes mais complexos, pois no momento em que o pistão faz a compressão e o bico injetor injeta o combustível, gerando a explosão, o injetor tem que ser capaz de suportar a temperatura e a pressão dentro do cilindro e ainda passar o combustível, como uma fina névoa, e fazer a mistura circular no cilindro de maneira uniformemente distribuída.

### 3 MATERIAIS USADO NOS MOTORES

O motor é a parte mais importante de um automóvel, logo, aplica-se um grande investimento no desenvolvimento de novos materiais e ligas para serem usadas em sua construção. Seja para aumentar a sua eficiência, reduzir peso e, até mesmo, promover a redução do consumo de combustível. Na formação do bloco do motor, utiliza-se sempre o ferro fundido ou ligas de alumínio. Os motores menores são feitos de ligas de alumínio enquanto os maiores, como por exemplo, os de caminhões, navios e veículos comerciais, ainda usam o ferro fundido com uma maior porcentagem. O material utilizado na fabricação do bloco tem que permitir a moldagem de todas as aberturas e passagens, como também suportar as elevadas temperaturas geradas pela queima do combustível no seu interior e permitir a rápida dissipação do calor.

#### 3.1 Ferro fundido

Figura 4 Bloco de ferro fundido da Teksid



Fonte: [http://www.cimm.com.br/portal/noticia/exibir\\_noticia/5872-teksid-lanca-liga-de-ferro-fundido-para-motores](http://www.cimm.com.br/portal/noticia/exibir_noticia/5872-teksid-lanca-liga-de-ferro-fundido-para-motores)

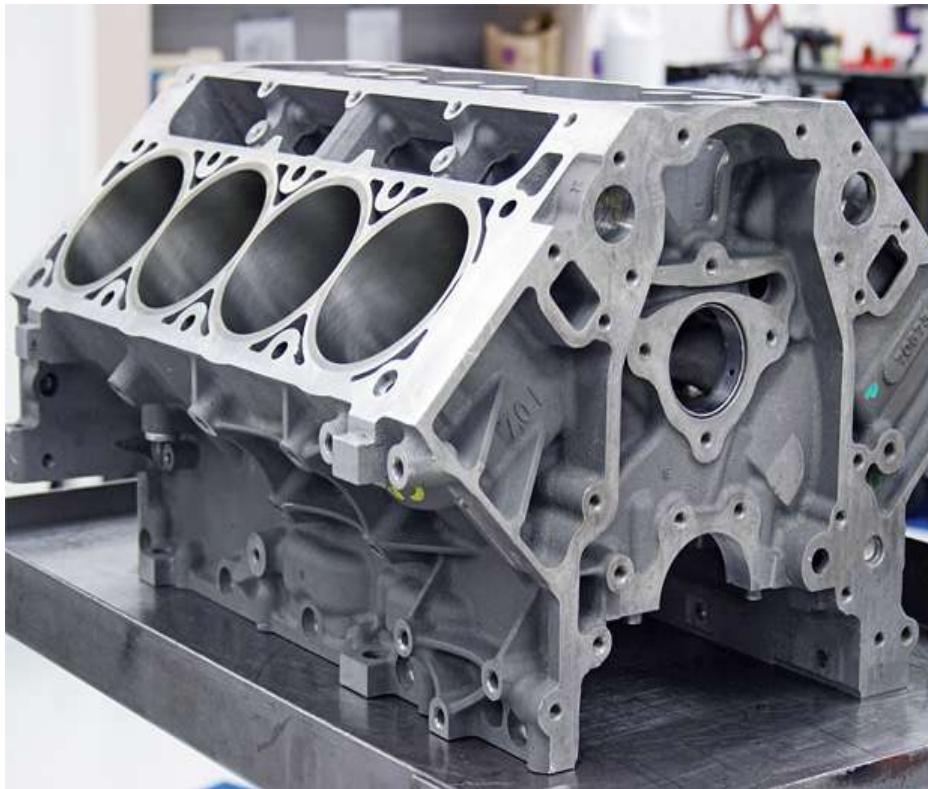
Considera-se ferro fundido a liga ferrosa com teor de carbono acima de, aproximadamente, 2%. Face à influência do silício nesta liga, o ferro fundido é,

normalmente, considerado uma liga ternária Fe-C-Si, pois o silício está frequentemente presente em teores superiores ao do próprio carbono (CHIAVERINI, 1996).

O ferro fundido cinzento é uma liga Fe-C-Si, empregado em larga escala pelas suas propriedades de fundição e baixo custo relativo. Possuem características como a fácil fusão e moldagem, boa resistência mecânica, excelente usinabilidade, boa resistência ao desgaste e boa capacidade de amortecimento.

### 3.2. Alumínio

Figura 5 Bloco de alumínio Chevy LS7



Fonte: <http://www.flatout.com.br>

Já as ligas de alumínio adquiriram maior importância devido ao fato de sua resistência poder ser equiparada ao do ferro fundido, além de possuir boas propriedades de moldagem, sendo fáceis de trabalhar, possibilitando a construção do bloco do motor com este tipo de material, sendo constituído de 11% de silício e 0,5% de manganês, além de outros componentes.

O alumínio tem uma elevada condutividade térmica, logo, é capaz de dissipar

o calor mais rápido do que o ferro fundido. Levando a uma maior eficiência térmica, pois o motor funciona a temperaturas mais baixas, melhorando assim, as características gerais de seu funcionamento.

Mas a característica principal do alumínio que tem sido responsável pelo massificar de seu uso na fabricação dos motores é o seu peso. Este é mais leve que o ferro fundido, levando a uma maior economia de combustível, sendo portanto a principal razão da sua utilização. Contudo, o alumínio, apesar de no geral ser um melhor material para utilização no bloco do motor, do que o ferro fundido, este possui uma grande desvantagem: seu preço. Fato que favorece o uso do ferro fundido, economicamente mais rentável do que o alumínio.

O alumínio não é só usado no bloco do motor, mas também em outros componentes do motor como: bielas, cárteres e cilindro.

O cilindro é outro componente do motor, feito de alumínio ou ferro fundido, devido à necessidade de suportar altas pressões e temperaturas, em função do constante movimento do pistão. Por outro lado, o pistão não circula diretamente no cilindro, pois havendo desgaste em suas paredes é mais barato a substituição das camisas do que a do cilindro.

### 3.3. Aço

Figura 6 Válvula de escape de aço nitruado



Fonte: <http://www.onlyracing.com.br>

O aço é outro metal usado na construção do motor. É constituído por uma mistura de ferro com carbono. Utilizado na extremidade dos pistões pois não cede a altas pressões e temperaturas, revelando-se, também, resistente à corrosão. É empregado também nas cambotas devido à possibilidade de se aligeirar o seu peso e reduzir o tamanho, originando um funcionamento rentável e resistente.

Podem ser também usadas ligas de aço nas válvulas, face à sua capacidade de resistir a altas pressões e temperaturas. Em virtude da sua grande resistência ao choque o aço também é utilizado no cárter do motor.

### 3.4. Titânio

Figura 7 Biela de titânio



Fonte: <https://tecnolowikia.wikispaces.com/AplicacionesdeTitanio>

O titânio é um metal leve, forte, com baixa condutividade térmica, com uma elevada resistência à corrosão e mecânica. Sendo puro, é fácil de trabalhar. Nos motores de competição, o titânio pode ser usado nas bielas para reduzir a massa, aumentando, assim, as performances do motor. As válvulas podem, também, serem fabricadas desse material devido à sua capacidade de resistir a altas pressões e temperaturas.

## 4 ALUMÍNIO

É um dos elementos que vêm crescendo nos processos industriais, mais utilizados na produção de artigos de metal. As propriedades do alumínio e a tecnologia moderna oferecem excelentes condições, com controles científicos adequados, para que se possa produzir grandes quantidades de peças mantendo uma qualidade uniforme. O mercado conta com excelentes ligas de alumínio que proporcionam uma grande variedade de propriedades para as peças fundidas.

### 4.1 Principais ligas

#### 4.1.1. Ligas Al-Cu (série 200):

Figura 8 Liga de Al-Cu



Fonte: <http://portuguese.alibaba.com/product-free/aluminium-copper-alloy-alcu-107479493>.

As ligas Al-Cu caracterizam-se pela elevada resistência mecânica e boa usinabilidade, apresentando, de uma maneira geral, baixa resistência à corrosão atmosférica e grande tendência à formação de microporosidades. Sua aplicação típica são peças estruturais, carcaças e pistões para motores diesel.

#### 4.1.2 Ligas Al-Si (série 300):

São as ligas de alumínio que apresentam as melhores características de fundição, motivo pelo qual cerca de 90% das peças fundidas em alumínio pertencerem à série 300. As ligas binárias apresentam elevada resistência à corrosão, boa soldabilidade, mas são de usinagem difícil.

- Adições de Cu as ligas Al-Si melhoram a usinabilidade e aumentam a resistência mecânica (com redução da ductilidade).
- Adições de Mg tornam as ligas endurecíveis por meio de tratamentos térmicos, elevando sua resistência mecânica.

As ligas com menores teores de Si (5 a 7% Si) são normalmente empregadas para a fundição em moldes de areia, enquanto que ligas de maior teor, 9 a 13% Si, são normalmente utilizadas em moldes permanentes ou sob pressão.

Destacam-se por sua elevada resistência ao desgaste, baixo coeficiente de dilatação térmica e elevada condutividade térmica. As principais aplicações envolvem peças de uso geral, coletores de admissão, cabeçotes, blocos de motor, pistões e rodas automotivas, peças estruturais para a indústria aeroespacial, bombas, carcaças e componentes de suspensão.

Figura 9 Liga Al-Si



Fonte: <http://portuguese.alibaba.com/product-free/aluminium-silicon-alloy-alsi-107479678.html>

#### 4.1.3 Ligas Al-Mg (série 500):

Caracterizam-se pela elevada resistência à corrosão e excelente usinabilidade, apresentando por outro lado, moderada tendência a defeitos de fundição e oxidação. Após tratamento térmico desenvolvem resistência mecânica elevada. Sua aplicação típica envolve peças estruturais para a indústria química, de alimentos e naval.

#### 4.1.4 Ligas Al-Zn (série 700):

São muito similares às ligas Al-Mg, principalmente quando apresentam Mg em sua composição química. Suas características de fundição são consideradas moderadas, devido a sua tendência à oxidação.

#### 4.1.5 Ligas Al-Sn (série 800):

Apresentam boa usinabilidade e boas propriedades antifricção. Sua aplicação típica envolve mancais, buchas e bronzinas.

### **4.2 Métodos de fundição**

O vazamento de metal líquido em moldes de areia é uma das mais antigas artes industriais. Ainda é utilizado quando as peças fundidas são em pequenas quantidades, de tamanho excepcionalmente grande ou muito intrincadas. Peças com melhor acabamento superficial são produzidas pela fundição em matriz por gravidade. O metal é vazado dentro de uma matriz de ferro ou de aço. Este processo se torna econômico quando há uma demanda para um número considerável de peças.

#### 4.2.1 Fundição em areia

a) Fundição em areia verde é caracterizada pela sua composição. Em termos gerais, areia (sílica); argila (bentonita); água e aditivos (pó de carvão, pó de madeira, amido, etc.).

Em termos de porcentagem, a areia constitui uma mistura de aproximadamente 75% de areia silicosa, 20% de argila e 5% de água, esta é uma composição média e pode variar conforme o tipo de argila ou areia utilizada. Neste processo, a areia mantém sua umidade original dispensando a utilização de estufas, por isso o nome “areia verde”. São utilizados misturadores para homogeneizar o composto, sendo todos os componentes secos misturados primeiro e, posteriormente, a água.

Os moldes podem ser preparados manualmente com soquetes ou por emprego de máquinas de compressão, impacto, vibração ou projeção centrífuga. A areia utilizada pode, em grande parte, ser reutilizada necessitando apenas de um processo para retirada de impurezas, como partes metálicas.



b) Fundição em areia seca é um processo semelhante ao em areia verde, mas, neste caso, é composto por areias sintéticas ou semissintéticas e aglomerantes orgânicos e inorgânicos. A diferença aqui se faz pela utilização de estufas que atingem temperatura entre 150°C e 300°C ou a utilização de maçaricos para que sua resistência mecânica seja ampliada. Também é comum que a superfície em contato com a peça seja pintada, com tinta refrataria, para melhorar o acabamento superficial.

Figura 10 Fundição em areia



Fonte: <https://ecografismo.wordpress.com>

#### 4.2.2 Fundição sob pressão

Consiste na injeção de um metal líquido contido em um recipiente (câmara de injeção) para o interior da cavidade de um molde fabricado em aço, por meio de um pistão. Na primeira fase, o ar é eliminado da câmara de injeção. Depois, há um rápido preenchimento da cavidade do molde para evitar o resfriamento do metal. A última etapa é a compactação do metal, a fim de diminuir o volume das microporosidades decorrentes da contração de solidificação do metal.

Para grandes volumes de peças, a fundição em matriz sob pressão é a mais vantajosa. O metal é forçado a penetrar em matrizes de aço sob a força de pressão

hidráulica. Os fundidos com grande precisão de detalhes são produzidos desta forma. O método tem sido cada vez mais empregado em peças fundidas até do tamanho de blocos de cilindros.

#### 4.2.3 Fundição em coquilha

Feito por gravidade, esse processo consiste em obter peças por meio do vazamento do metal líquido em um molde metálico, também chamado de coquilha. A introdução do metal é essencialmente determinada pela força da gravidade.

Figura 11 Fundição em coquilha



Fonte: <http://www.stkusinagem.com.br>

#### 4.2.4 Tixofundição

Também chamado de fundição de ligas semissólidas de alumínio, o processo é novo no Brasil, ao invés de alumínio líquido, o metal é em “pasta”. As principais aplicações desse processo se dão na indústria automotiva.

A técnica é usada desde 1982 e, tem como uma de suas vantagens mais destacadas, o menor desgaste das peças usadas no processo. Por ser um material 60% sólido e 40% líquido, a fundição de semissólidos permite um menor atrito entre o molde e o metal, aumentando sua vida útil e, conseqüentemente, a produtividade. Com isso, o material fundido não apresenta porosidades, tampouco segregação de

elementos de liga, oferecendo um resultado de melhor qualidade ao produto final.

É usada na produção de componentes como suporte de suspensão (traseira e dianteira), bandejas de suspensão, carcaças de sistema de injeção eletrônica, caixa de direção, carcaças de cilindro mestre, disco de embreagem, entre outras. Num exemplo prático, o uso do processo de fundição de ligas semissólidas de alumínio permite que uma peça como o suporte do motor tenha seu peso reduzido de 5 kg para 3 kg com a tixofundição.

### **4.3 Forma de produção**

A escolha da forma de fundição nos fundidos de ferro está condicionada às propriedades desejadas na obtenção do produto, assim, de acordo com o tempo de processamento e a temperatura, pode-se variar o teor de carbono e, deste modo, alterar suas propriedades mecânicas, o que não acontece com o alumínio que, por possuir características próprias, não necessita de várias formas de processamento.

O alumínio fundido ainda apresenta alto custo de produção e, na tentativa de reduzi-los, foi desenvolvida a tixofundição capaz de reduzir a energia total necessária para a produção deste, de maneira considerável. Tal processo já é utilizado largamente em países desenvolvidos como Japão, Estados Unidos, Alemanha e Itália.

### **4.4 Vantagens do alumínio:**

#### **4.4.1 Peso**

Considerando que o peso do alumínio é aproximadamente de  $1/3$  do ferro fundido, um motor de alumínio fica significativamente mais leve, tornando mais econômica toda a sua logística.

#### **4.4.2 Resistência à corrosão**

Corrosão metálica é a ação destrutiva que o meio ambiente exerce sobre um metal, dando origem a problemas técnicos e econômicos graves. A oxidação é um grande problema na maioria das aplicações de metais. O ferro é um material que reage com o oxigênio com bastante facilidade, tornando-se assim menos resistente

à corrosão. Com isso, tem-se a necessidade de proteção da superfície de peças metálicas, para retardar seu efeito. Isto não se verifica no alumínio, que ao ser posto em contato com o ar atmosférico reage com o mesmo, formando uma fina camada de óxido de alumínio que protege a superfície da peça, passando assim, a apresentar uma considerável resistência à corrosão e, conseqüentemente, sua aplicação, em estruturas com solicitações extremas de resistência à corrosão, torna-se mais atrativa.

#### 4.4.3 Reciclabilidade

A reciclabilidade é um parâmetro muito importante na indústria dos materiais, tanto do ponto de vista energético como ambiental. O ganho energético obtido com a reciclagem de alguns metais, como é o caso do alumínio, ultrapassa 85%. Em outras palavras, a energia requerida para processar uma certa quantidade deste metal a partir de material reciclado, representa 15% da energia necessária, para obter a mesma quantidade de metal a partir de fontes primárias. Além do aspecto energético, a reciclagem permite a economia de matérias-primas e possibilita a diminuição de rejeitos utilizados na lavra e no processamento de minerais. Por exemplo, cada tonelada de alumínio reciclado permite a preservação de 4 toneladas de bauxita que seriam necessárias para a obtenção de alumínio primário metálico.

Em contrapartida, a reciclagem do ferro tem sua demanda reduzida com bastante facilidade, diminuindo a quantidade útil de material, além de comprometer a qualidade do material reciclado, em virtude de sua oxidação.

#### 4.4.4 Melhoria na confiabilidade dos fundidos

A grande demanda dos fundidos de alumínio está associada às vantagens do processo e às características do metal, por fundição é possível obter peças com geometrias complexas, com estreitas tolerâncias dimensionais de funções integradas – um único componente fundido em alumínio pode substituir um conjunto de diversas peças produzidas por outros meios, o que reduz custos de ferramenta e montagem, eliminando operações de junção.

## 5 MOTORES DE ALUMÍNIO

A fundição de ligas de alumínio semissólidas foi descoberta há mais de 20 anos e sua aplicação permite a fabricação de peças mais leves e resistentes, com possibilidade de qualidade de acabamento superior. Por essa razão, é usada nas indústrias automotivas, de computadores, eletrônica embarcada e telecomunicações.

Esse processo, conhecido como tixofundição, até então praticamente desprezado pelas empresas especializadas do Brasil, começa a atrair interesse das mesmas. O processo de fundição de metais semissólidos foi descoberto pelo Massachusetts Institute of Technology (MIT), em meados dos anos 1980 e, há mais de dez anos, vem sendo empregado pela indústria dos países desenvolvidos. Estados Unidos, Itália, França, Alemanha, Austrália e Japão já empregam o processo com regularidade.

A indústria automobilística foi o primeiro segmento a tornar esse processo competitivo no país, por causa da preocupação com o meio ambiente, que tem impulsionado a diminuição do peso dos veículos e a conseqüente economia de combustível. Blocos de motor e cabeçotes de alumínio estão sendo cada vez mais comuns em automóveis e já deixaram de ser novidade. As discussões tinham enfoque científico até poucos anos atrás e, ultimamente, têm se voltado mais para o desenvolvimento tecnológico e a diminuição de custos para a sua utilização.

Em 2005, a Alcoa e a Ferrari anunciaram uma parceria estratégica de longo prazo. O objetivo era o desenvolvimento de um motor de alumínio para os veículos futuros da famosa montadora italiana. A parceria consolidou uma tendência inegável: a crescente adoção do alumínio na indústria automobilística. Prova disso foi o lançamento do Ford Fusion, produzido no México, que incorpora um poderoso motor de 162 cv, fabricado com o metal.

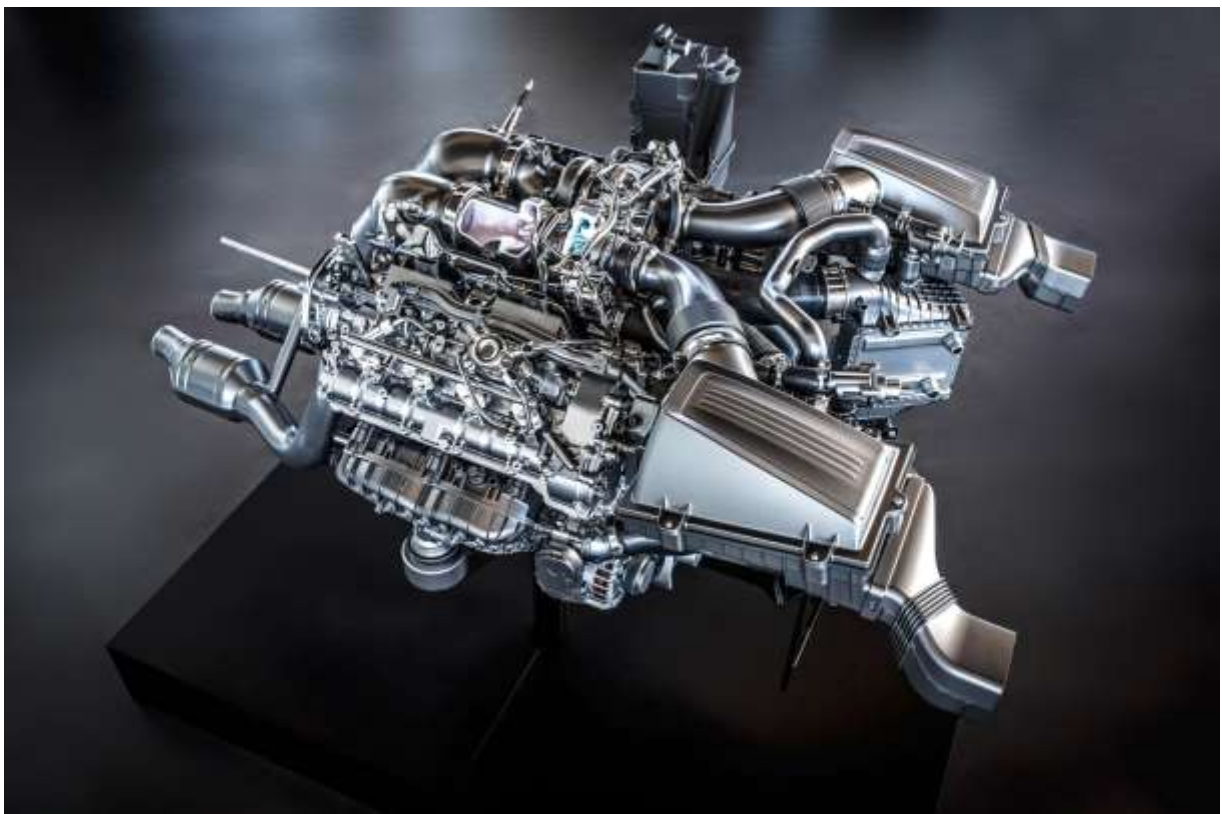
Mas os chamados motores de maior categoria, são os mais visados pelos projetistas. Uma das barreiras encontradas pelos técnicos foi minimizar a resistência ao desgaste no contato entre pistões e cilindros. O ideal seria um bloco que usasse simplesmente alumínio e dispensasse camisas. Já houve tentativas, na década de 1960 com bloco de alumínio direto sem camisa. A durabilidade dos cilindros acabou

atrapalhando o desenvolvimento, mas o metal recuperou o status de aposta no futuro.

Ainda hoje, o sistema mais empregado em motores de bloco de alumínio é a utilização de camisas com ferro fundido, para resistir ao desgaste. Mas os desenvolvimentos atuais mostram que há uma forte linha de pesquisa e aplicação para dispensar a camisa de ferro fundido. Os técnicos investem em estudos que permitam a adoção de camisas usando alumínio com alta resistência ao desgaste.

Os motores a diesel impõem uma carga muito maior ao bloco, o que leva à procura pelo uso mais intenso do alumínio. Na Europa, quase 50% dos motores para veículos que transportam passageiros são movidos a diesel e, agregam alumínio em sua construção. Para o diretor da AEA, há um espaço grande para o crescimento do metal não só em veículos comerciais, como em ônibus, navios e caminhões.

Figura 12 Motor Mercedes-Benz AMG V8 4.0 litros biturbo



Fonte: <http://mercedes-benz.com.br>

## **5.1 Realidade no Brasil**

Os investimentos em fundição recém anunciados por quatro grandes montadoras nacionais, apontam à tendência brasileira de adoção do alumínio na fabricação de motores mais compactos, leves, eficientes e econômicos. A Honda Automóveis do Brasil, investiu R\$ 130 milhões e já produz cerca de 12 mil componentes por mês. A Ford, que desde 1999 detém uma linha de fundição de alumínio, investe R\$ 600 milhões para montar a família de motores Sigma, na unidade de Taubaté (SP). A Peugeot-Citroën, que já fabrica motores 1.4 em alumínio, nacionalizou a fabricação de motores 2.0, em 2009. E a Fiat retomou a unidade de fundição de alumínio da Teksid, vendida em 2002, e planeja processar cinco mil toneladas do metal de alumínio e 800 mil cabeçotes ao ano.

Do total de alumínio depositado diariamente, metade refere-se à liga que possui de 8% a 12% de silício para a fundição dos blocos de motores e, a outra parte à liga com 6% a 8% de silício e aplicada na produção de cabeçotes.

Com toda essa tecnologia, os motores atuais saem da fábrica com peso de apenas 130 kg, 30 kg a menos do que os modelos convencionais. O bloco pesa em média 18 kg; se fosse feito em ferro fundido teria, no mínimo, o dobro disso. Os motores de alumínio trazem muitas vantagens por serem, cerca de 30%, mais leves, favorecem a performance do torque e a potência dos veículos, além de trazer facilidades operacionais como a transferência de temperatura. Por tal, o uso do bloco de alumínio no Japão é realidade há quase 20 anos e será, também, no Brasil.

## **5.2 Motores à diesel de alumínio**

A Hydro Alumínio lançou recentemente o primeiro bloco em “V” de alumínio, produzido em grande escala, para motores a diesel de alta performance em carros de passeio. Isso prova que o metal pode resistir às pressões extremas desse tipo de motor. Em 2005, a Daimler-Chrysler encomendou cerca de 200 mil blocos de alumínio para os motores a diesel V6, usados em quase todos os modelos Mercedes.

O motor Mercedes V6 é o mais compacto da classe e oferece performance média de 20% a mais, comparados aos de 5 cilindros da linha anterior. Mesmo com

a camisa do cilindro em ferro fundido, o bloco de alumínio ainda é, pelo menos, 35kg mais leve em comparação com os blocos de aço.

Anteriormente, os blocos de motor de alumínio eram utilizados com sucesso em carros de passeio movidos à gasolina. Como os blocos de motores de alta performance a diesel são submetidos a altas temperaturas e três vezes mais pressão do que os tradicionais à gasolina, com as novas tecnologias e com produção em escala, viabilizou-se um novo mercado para o alumínio, os motores à diesel de grande porte.

Na Europa, estes crescem rapidamente no mercado de carros novos e, agora, podem contribuir para o crescimento futuro do uso de alumínio no setor, promovendo ainda o aumento da eficiência de combustível e da reciclabilidade.

Figura 13 Fábrica da Hydro Alumínio norte do Brasil



Fonte: <http://www.hydro.com/pt/A-Hydro-no-Brasil>



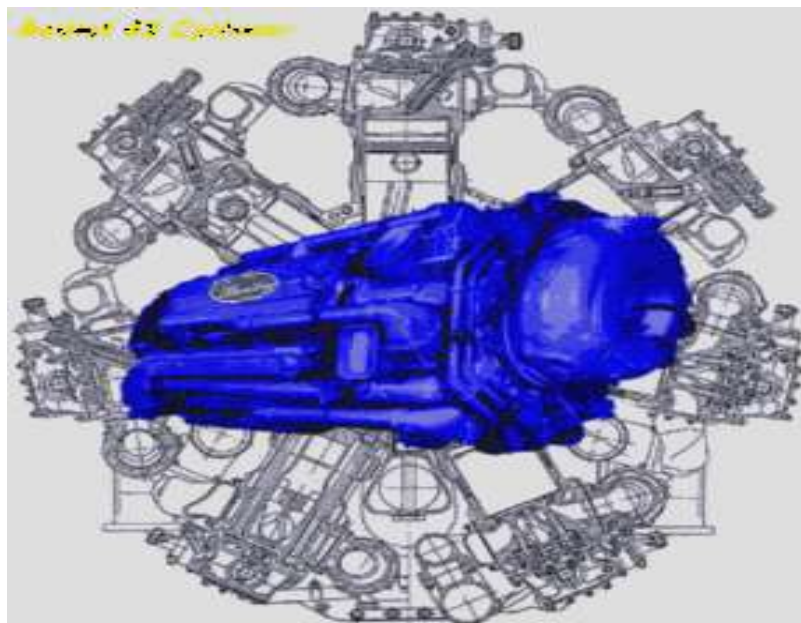
## 6 MOTOR A DIESEL DE ALUMÍNIO USADO NO MERCADO NAVAL

Os motores de alumínio são recentes e sua utilização inicial ocorreu nos de pequeno porte. Porém, com o avanço tecnológico, passou a ser aplicado aos de maiores proporções. Considerando o mercado naval, esta tecnologia passou a ser empregada pela única empresa, até o momento, a desenvolver estes motores – a *BENTLEY-MARINE*. Por este motivo, limitaremos a falar e comparar este, com os de ferro fundido.

### 6.1 Situação atual

A BENTLEY-MARINE revelou, recentemente, uma linha exclusiva de motores marítimos diesel de alumínio e caixas de velocidades sem paralelo no mundo. Os motores diesel de alumínio ultracompactos e leves, impulsionam alta potência em relação ao peso e são ideais para aplicações comerciais e militares, onde a velocidade, espaço e peso são fundamentais.

Figura 14 Esquema de Motor Radial



Fonte: <http://www.bentley-marine.com>

Estes são projetados para funcionar com qualquer modalidade de combustível, Diesel, Biodiesel ou Gás Natural Liquefeito (GNL), com desempenho igual aos motores tradicionais. As versões de GNL são baseados em uma tecnologia

inovadora *sparkless*, no qual, ao invés de usar velas de ignição para inflamar a mistura, utiliza 3% a 5% do combustível Diesel, mantendo, assim, o desempenho dos motores sem perdas de energia, diminuindo a poluição e tornando-se, hoje, os mais limpos motores marítimos no mercado, superando requisitos de emissões da Organização Marítima Internacional(IMO) e Agência de Proteção Ambiental Americana (EPA).

## 6.2 Configurações

Estes motores apresentam-se com três configurações básicas:

6.2.1 Quatro tempos turbo e intercooler V-12 com os bancos de cilindros com inclinação de 60° com potência de até 1.500HP, com injeção direta de combustível, turbo e intercooler, em um deslocamento total de 62,4 litros.

Tabela 1 Comparativo entre motores Bentley-Marine

Modelo do motor	Potência nominal (ISO 3046/1) - kW, (RPM)	Dimensões CxLxA, (Mm)	Peso, (Kg)
BM-470	1100kW / 1500HP - (1600RPM)	2730x1150x1285	2700
BM-470M		2950x1250x1455	3000
BM-DRA470M		3545x1150x1285	3200

Fonte: Adaptado de <http://www.bentley-marine.com>

Os motores funcionam a uma rotação de 1.600 RPM com uma vida útil extremamente longa, de até 8.000 antes da primeira revisão e até 20.000 horas antes da grande revisão. O consumo de combustível para os modelos de 1600HP (1100kW) e de 200 g / kW-h.

O design inovador e moderno do V-12 Series incorpora um sistema de lubrificação por cárter seco e a possibilidade de montar o turbo compressor e coletor de escape em ambos os lados do motor para facilitar a instalação. Outra grande vantagem do V-12 são seus sistemas auxiliares integrados ao motor, tais como filtros de óleo, resfriadores de óleo, válvulas termostáticas, tornando-o compacto e facilitando a unidade de serviço. A incorporação de todos os sistemas auxiliares para

o motor, ajuda a prevenir e evitar possíveis vazamentos e mau funcionamento comumente associados aos sistemas auxiliares.

O comparável, Caterpillar 3512 o mais próximo, tem tanto um deslocamento de 52 ou 59 litros e pesa mais do que o dobro do que o V-12 da Série BENTLEY MARINE com caixa de velocidades integral.

Já o novo modelo Caterpillar C30 com um deslocamento de apenas 30 litros, sendo menos da metade do deslocamento da V-12 (62,4 litros), apresenta um peso de 153 kg a menos e é ainda mais largo e alto.

Dos motores MTU da Rolls Royce Power System, o que mais se aproxima é o de 12V 4.000 M60R, mas, mesmo assim, tem um deslocamento muito menor e um peso quase três vezes maior em comparação ao V12 e até mesmo do modelo Caterpillar 3512, com apenas 48,7litros que consome mais combustível, com um consumo de 205 g / kW-h.

Tabela 2 Comparativo entre motores Caterpillar e MTU

<b>Modelo do motor</b>	<b>Potência nominal (ISO 3046/1) - kW, (RPM)</b>	<b>Dimensões CxLxA (Mm)</b>	<b>Peso, (Kg)</b>
CATERPILLAR 3512	1119kW / 1500HP - (1800RPM)	2895x1703x2052	6532
CATERPILLAR 3512B	1380kW / 1850HP - (1600RPM)	3038x1988x2073	5892
CATERPILLAR C30	1156kW / 1550HP - (2300RPM)	1997x1412x1378	2547
MTU 12V 2000 M91	1103kW / 1479HP - (2350RPM)	2350x1400x1230	3440
MTU 8V 4000 M70	1160kW / 1556HP - (2000RPM)	3065x1318x1985	6195
MTU 12V 4000 M60R	1050kW / 1408HP - (1600RPM)	4185x1520x2105	8685

Fonte: Adaptado de <http://www.bentley-marine.com>

### 6.2.2 - Série radial extraordinário

Os únicos motores marítimos Radial Diesel disponíveis no mercado, que vêm em duas configurações.

### **6.2.2.1 - Radial 42 cilindros quatro tempos**

Com turbo, intercooler e injeção direta de combustível, 42 cilindros com sete bancadas, inclinada de, 51°25'43 contendo seis cilindros cada, para até 4.000HP, sendo o único no mundo.

Com um total de 147 Litros, girando a 2.200 RPM com uma vida útil de até 4.000 horas antes da primeira revisão e até 10.000 horas antes da grande revisão. Eles também possuem um baixo consumo de combustível de apenas 226 g / kW-h.

Como todos os motores diesel marítimos BENTLEY, a série de 42 Cilindros, incorpora um sistema de lubrificação por cárter seco com todos os seus sistemas auxiliares integrados no motor (filtros e resfriadores de óleo e válvulas termostáticas).

O motor Caterpillar comparável, é três vezes mais pesado, longo, largo e alto que o de 42 cilindros de alumínio, com caixas de velocidades integrais.

### **6.2.2.2 - Radial 56 cilindros**

Os motores *BENTLEY-MARINE* Radial de 56 Cilindros de alumínio aumentam para até 3970kW ou cerca de 5320HP. Uma das maiores potência do mundo para motores Diesel.

Os mesmos são de 4 tempos, configuração radial com sete blocos de oito cilindros cada, inclinado 51°25'43, com injeção direta de combustível, turbo e *intercooler*, dando um deslocamento total de 196 litros.

Eles operam em silêncio e sem problemas a 2.000 rpm. A velocidade operacional moderada lhes dá uma vida útil de até 4.000 horas de serviço antes da primeira revisão e até 10.000 horas antes grande revisão. tendo um baixo consumo de combustível, de 225 g / kW-h.

Concorrente mais próximo da Caterpillar, com um deslocamento de 222 litros e peso de 11.750 kg a mais, sem a respectiva caixa de velocidades ou, mais de três vezes o peso em comparação com o de 56 cilindros de alumínio da série de *BENTLEY* com suas caixas de engrenagens integrais.

Mais de trinta modelos estão disponíveis no total, com caixas de engrenagens de alumínio integradas ou não-integrais, para atender as aplicações mais exigentes, incluindo um motor 56 cilindros gêmeo para uma saída de 10.000HP bruto.

Tabela 3 Comparativo entre motores Bentley-Marine, Caterpillar e MTU

<b>Modelo do motor</b>	<b>Potência nominal (ISO 3046/1) - kW, (RPM)</b>	<b>Dimensões CxLxA (Mm)</b>	<b>Peso, (Kg)</b>
BM520	3970kW/5320HP -(2000RPM)	4400x1675x1675	7250
BM533	3970kW - (2000RPM)	4400x1675x1675	7300
CATERPILLAR 3608	2710kW/3634HP - (1000RPM)	5561x1722x2641	19000
MTU 16V 4000 M90	2710kW/3648HP - (2100RPM)	4525x1520x1890	9505

Fonte: Adaptado de <http://www.bentley-marine.com>

Figura 15 Motor Radial de Alumínio



Fonte: [www.bentley-marine.com](http://www.bentley-marine.com)

Ao contrário dos motores à diesel tradicionais, possuindo produção contínua, os de alumínio são fabricados de acordo com os pedidos, a fim de garantir a

qualidade desejada pela *BENTLEY-MARINE*, construindo os motores diesel de alumínio, caixas de velocidades e todas as suas partes. Após a montagem, todos os motores são testados vigorosamente e, depois, completamente desmontados para inspeção no âmbito do Programa de Controle de Qualidade rigoroso da empresa.

## 7 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Observamos que durante décadas, o material mais usado para usinagens sempre foi o ferro fundido, por vários motivos, o mais relevante, sempre foi o custo-benefício. Com este material, as necessidades para a época eram atendidas. Todavia, fatores como as crises econômicas, exigências de motores mais eficientes no mercado automobilístico e preocupação com o meio ambiente, obrigaram as grandes indústrias a pensarem em novas técnicas, como materiais mais modernos, que melhorassem o desempenho dos motores tornando-os mais leves, com maior resistência à corrosão, menos poluentes e sendo recicláveis.

Neste cenário surgiu o alumínio que veio para substituir o ferro fundido, com várias vantagens sobre este. Fatores limitantes, como tipo de liga a ser aplicada em cada componente dos motores e tipo de fundição, fizeram com que demorasse muito tempo para a utilização do alumínio na fabricação de motores. Na realidade, foi o desenvolvimento da fundição chamada tixofundição, resolvendo os limites de custo e de qualidade de produto final, que tornou o alumínio competitivo.

Um dos pontos que chama a atenção, detém-se na qualidade do produto de ferro fundido depender da quantidade de carbono dissolvido na hora da fundição. Podendo apresentar variação e, no caso das ligas de alumínio, não é uma questão química então, tem-se maior controle do produto final.

Com os estudos tecnológicos das ligas de alumínio, foi primeiro usado em motores que tinham uma taxa de compressão mais leves, tais como motores à gasolina, porém, com o desenvolvimento e aprimoramentos, o alumínio passou a ser utilizado na produção de motores com altas performances, chegando aos motores à diesel que apresentam uma compressão maior.

Esta tecnologia já abrange motores de grande porte, como parte do processo de evolução dos motores, apresentando uma redução significativa de peso e espaço com manutenção de potência.

No caso dos motores navais, foi somente localizada a fabricante BENTLEY-MARINE, produtora de motores de alumínio de 4 tempos, sendo um V12 que tem uma potência de até 1.500HP, com injeção direta de combustível. Este tem um peso

que é a metade do seu concorrente, a Caterpillar, além de ser mais compacto, liberando mais espaço para o objetivo final do navio.

Conclui-se, através da observância deste estudo, que a utilização de ligas de alumínio na fabricação de motores a diesel, seja para automóveis ou navios, apresenta-se como uma realidade e um caminho sem retorno, em virtude de suas vantagens, quando comparadas ao ferro fundido, anteriormente relatadas neste trabalho. Não que venha a substituí-lo totalmente, mas a fazer parte na fabricação destes motores, ademais, vive-se uma conjuntura convidativa a introduzir a sustentabilidade do planeta como fator de alta importância e este tipo de motor se caracteriza como alternativa ecologicamente mais limpa, pelo fato de ser possível sua reciclagem e, assim, promover uma menor retirada de matéria prima da natureza.



## REFERÊNCIA BIBLIOGRAFICA

ALUAUTO, Revista Eletrônica, ed. 16. Disponível em: <<http://www.abal.org.br>>. Acesso em: 21 Mar 2015.

ALUAUTO, Revista Eletrônica, ed. 30. Disponível em: <<http://www.abal.org.br>>. Acesso em: 21 Mar 2015.

BRUNETTI, Franco. Introdução ao estudo dos motores de combustão interna. *In*: Motores de Combustão Interna. Volume I, São Paulo: Blucher, 2012. 2ª reimpressão 2014. p. 29-42.

CHIAVERINI, Vicente. Tecnologia Mecânica – Processos de fabricação e tratamento. Volume III, 2ª edição, 1996.

GUESSER, L. W. e GUEDES, L. C. Desenvolvimentos recentes em ferros fundidos aplicados à indústria automobilística. *In*: IX Simpósio de Engenharia Automotiva, AEA. São Paulo, 1977.

M., Marco Rache A. O Motor Diesel. *In*: Mecânica Diesel: Caminhões, pick-ups, barcos. Hemus, 2004. p. 43-264.

MOREIRA, Marcelo F. Liga de alumínio para fundição – Relações entre o processo de fundição e a microestrutura. Disponível em: <<http://www.pmt.usp.br>>. Acesso em: 21 Mar 2015.

Os líderes mundiais em navios com tecnologia verde. Disponível em: <[www.bentley-marine.com](http://www.bentley-marine.com)>. Acesso em: 22 Mar 2015.

PROJECTO FEUP. Materiais usados na concepção de um automóvel. 2010. Disponível em: <<http://paginas.fe.up.pt>>. Acesso em: 20 Mar 2015.

REVISTA ALUMÍNIO, ed. 4. Disponível em: <<http://www.revistaalumínio.com.br>>. Acesso em: 25 Mar 2015.

REVISTA ALUMÍNIO, ed. 10. Disponível em: <<http://www.revistaalumínio.com.br>>. Acesso em: 26 Mar 2015.

REVISTA ALUMÍNIO, ed. 12. Disponível em: <<http://www.revistaalumínio.com.br>>. Acesso em: 20 Mar 2015.