

# **PRINCÍPIOS DE FUNCIONAMENTO DE MOTORES DE COMBUSTÃO EXTERNA**

Alisson Oliveira Da Silva<sup>1</sup>

Stéfanny Guimarães Rodrigues<sup>2</sup>

## **RESUMO**

O presente artigo aborda os Princípios de Funcionamento de Motores de Combustão Externa, por meio de uma pesquisa bibliográfica seguida de um experimento. É possível considerar que devido as suas aplicações, os motores de combustão externa são menos utilizados que os motores de combustão interna. São aplicados em grandes indústrias e máquinas de grande porte, como navios e trens. Utilizam-se de combustíveis tais como carvão, madeira, óleos, entre outros, que são queimados no exterior do motor gerando vapor para impulsionar o movimento. O estudo tem por objetivo apresentar os princípios de funcionamento deste modelo, com o intuito de comprovar sua eficácia, vantagens e desvantagens, e melhorar a compreensão do princípio de funcionamento dos motores de combustão externa. Para tanto, projetou-se um modelo de “motor stirling artesanal” com seringas hipodérmicas para impulsionar o projeto, funcionando como pistões; sendo que um pistão expande o ar aquecido e o outro resfria o ar. O projeto é sustentado em uma base de madeira com peças usinadas, como volante, polias, eixo, disco de compensação, bielas como também outros materiais de ajuste parafusos, porcas e arrebites. Os resultados não demonstraram êxito, já que falhas foram identificadas no projeto, necessitando assim de alguns ajustes futuros.

Palavras-chave: Robert Stirling. Motor Stirling. Máquina a Vapor. Composição.

---

<sup>1</sup> Acadêmico graduando em Engenharia Mecânica pela Universidade de Rio Verde - UniRV.

<sup>2</sup> Professora da Universidade de Rio Verde – UniRV - Orientadora, graduada em Engenharia Mecânica.

# 1 INTRODUÇÃO

A presente pesquisa tem como tema a compreensão dos princípios de funcionamento de motores de combustão externa, por meio de uma pesquisa bibliográfica seguida de um experimento.

Os motores são os responsáveis pelo funcionamento de diversos tipos de objetos, inclusive de automóveis, máquinas de lavar, eletrodomésticos entre outros. A mecânica utiliza motores de combustão com a aplicação de diversos tipos de tecnologias sendo por tanto necessário que se estude os principais aspectos e princípios de funcionamento destes (NASCIMENTO, 2009).

Os motores de combustão podem também ser internos, porém, este estudo se baseia na necessidade de compreender os motores de combustão externa, como exemplo destes o motor a vapor de antigos navios e trens (NASCIMENTO, 2009).

Os combustíveis mais comuns para este tipo de motor podem ser carvão, madeira, óleos, entre outros. São comumente queimados externamente com o intuito de produzir o vapor que gerará no interior do motor movimento (NASCIMENTO, 2009).

Observa-se, entretanto, que a combustão interna apresenta menor gasto de combustíveis do que a combustão externa e ainda se apresenta em tamanho menor que um motor com base em combustão externa. Por este motivo, este estudo deverá apresentar os princípios de funcionamento deste modelo de combustão com o objetivo de comprovar sua eficácia, vantagens e desvantagens.

O objetivo geral desta pesquisa é compreender o princípio de funcionamento dos motores de combustão externa. Para o alcance dos objetivos gerais, serão cumpridas as seguintes etapas:

- Conceituar motores combustão e sua constituição;
- Apresentar a combustão interna e externa;
- Compreender o funcionamento destes;
- Conhecer os motores Stirling e a Vapor.

Um dos primeiros motores de combustão interna criado foi o motor a vapor, inventado no século XVIII, responsável pelo início da Revolução Industrial. Facilitou os processos de produção em massa especialmente nas grandes fábricas, além de ser o responsável pelos transportes. No fim do século XIX, o motor a combustão externa foi colocado em segundo

plano devido ao surgimento do motor de combustão interna, que viabilizou a produção de automóveis e aviões com motor a jato, que por sua vez possibilitou longas viagens (MARTINS, 2014).

Os primeiros motores a vapor foram desenvolvidos por Thomas Savery e aprimorados por Thomas Newcomen na Inglaterra, com o intuito de utilizá-los para o bombeamento de água em minas. E logo após, foram aplicados na indústria e nos transportes (MARTINS, 2014).

## 1.1 REVISÃO DE LITERATURA

Para melhor compreensão é necessário esclarecer alguns conceitos.

### 1.1.1. Motores de Combustão

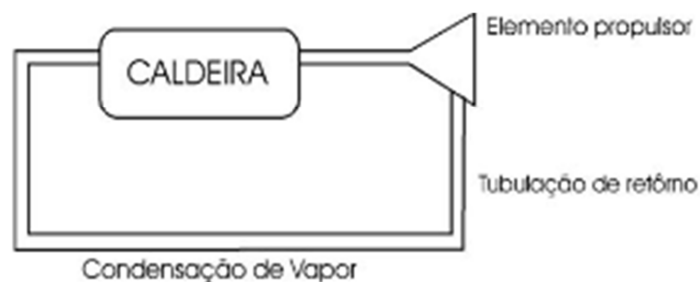
De acordo com Varella (2015), os motores se conceituam como o conjunto mecânico com capacidade de transformar uma energia específica em energia mecânica, sendo estes motores qualificados de acordo com a energia que convertem.

Os motores térmicos baseiam-se em características térmicas das substâncias combustivas, tanto o aumento do volume quanto a pressão gerada produzem um movimento linear que se transforma em movimento de rotação por meio do conjunto biela-manivela (VARELLA, 2015).

Os motores térmicos de combustão dividem-se em externos e internos, conforme conceituação de Varella (2015, p. 1 e 2):

O esquema de combustão externa pode ser observado na Figura 1:

**FIGURA 1** - Combustão Externa: calor é produzido fora do motor em caldeiras



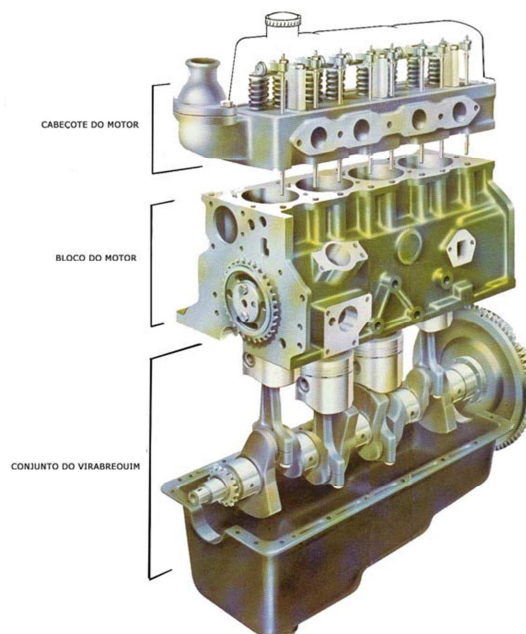
### 1.1.2. Constituição de Motores

Os motores de combustão apresentam:

- Cabeçote;
- Bloco;
- Conjunto do Virabrequim.

Para compreender estas partes, é importante que se observe a ilustração da Figura 2 a seguir:

**FIGURA 2** - Partes do Motor de Combustão Interna

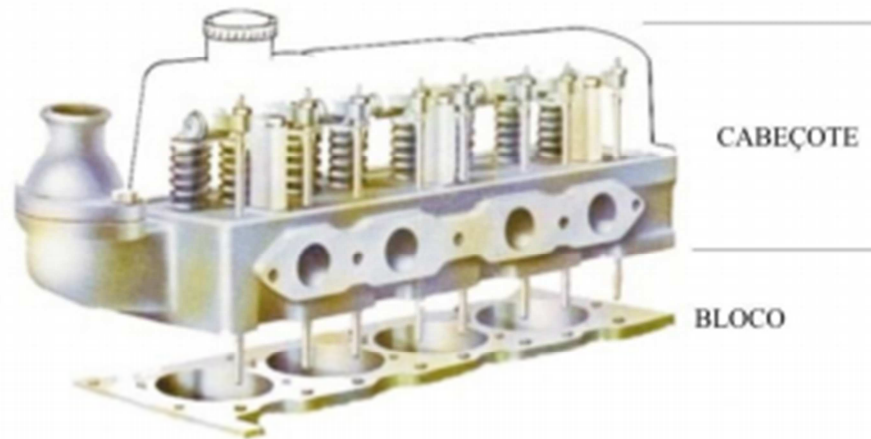


Fonte: Varella, 2015

O cabeçote do motor fica no superior deste, e passa por um resfriamento à água. Sua fabricação embasa-se em ferro fundido, ou alumínio em casos especiais por necessitarem de peso mais leve.

O cabeçote do motor está representado na Figura 3, ilustrando um cabeçote de quatro tempos. (VARELLA, 2015).

**FIGURA 3** - Cabeçote de um motor de quatro tempos



Fonte: Varella, 2015

As válvulas do cabeçote estão em quase todos os motores. No caso de motores de quatro tempos, há uma válvula de descarga e admissão para cada cilindro, além de uma câmara de combustão, e coletores de descarga e admissão. É nesta válvula que está localizada o eixo de comando de válvulas (TAYLOR, 1976).

As válvulas de haste são utilizadas universalmente em motores de quatro tempos, tendo a função de controlar a entrada e saída de gases no cilindro. A seguir serão explicadas as funções e materiais das principais válvulas que compõe o motor (TAYLOR, 1976):

De acordo com Taylor (1976), a válvula de descarga conta com capacidade de escoamento menor com relação a capacidade da válvula de admissão. A válvula de descarga deve ter diâmetro entre 0,83-0,87 do diâmetro da válvula de admissão conforme recomendações.

A Figura 4 ilustra diversos tipos de válvulas utilizados em motores de quatro tempos.

**FIGURA 4** - Diversos tipos de válvulas para motores de quatro tempos



Fonte: Varella, 2015.

O chamado Eixo de Cames, também denominado como Comando de Válvulas, tem a função de controlar tanto a abertura quanto o fechamento das válvulas de admissão e descarga (VARELLA, 2015).

Esse eixo recebe movimento da Árvore de Manivelas, conforme o ressalto para cada válvula realizando um giro com uma velocidade reduzida pela metade da velocidade da Árvore de Manivelas. Os ressaltos citados agem diretamente nos impulsadores das válvulas em períodos de tempos precisos (TATLOR, 1976).

A Figura 5 ilustra o Eixo de Cames.

**FIGURA 5** - Eixo de Cames ou de Comando de Válvulas.

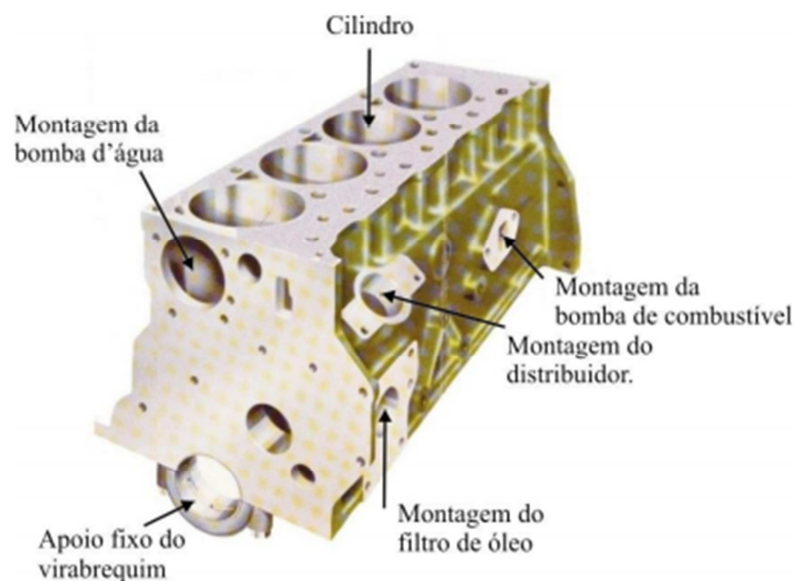


Fonte: Varella, 2015.

O bloco do motor é o seu centro e tem como matéria-prima ferro fundido na maior parte das vezes. Caso associado a outros metais, garante maior resistência ao bloco, em casos específicos há a associação de matérias primas em metais leves em sua liga diminuindo seu peso e aumentando sua dissipação calorífica. Entretanto, nesta hipótese, há um revestimento de ferro fundido aplicado ao cilindro (VARELLA, 2015).

O bloco do motor de combustão está representado na Figura 6.

**FIGURA 6** - Bloco do Motor de Combustão Interna

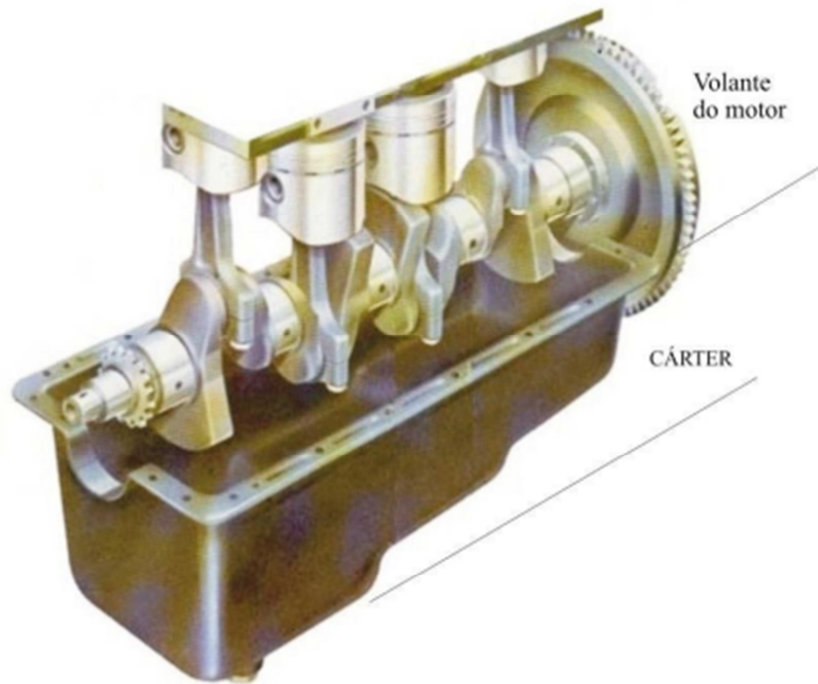


Fonte: Varella, 2015.

Os cilindros, conceituados como furos no bloco, são constituídos por “camisas”, ou seja, peças sobressalentes inseridas nas aberturas do bloco que buscam evitar que este passe por um desgaste. A denominada camisa trata-se de um conjunto de condutores que circulam a água de resfriamento dos cilindros que se funde com o bloco do qual integram (VARELLA, 2015).

De acordo com Arias-Paz (1970), Conjunto do Virabrequim é como é chamada a parte inferior do motor. Nos casos de motores de quatro tempos, o Virabrequim ou Árvore de Manivelas é o componente eixo que transmite a força do motor para o volante. Já o componente cárter é o compartimento de reserva do óleo lubrificante, sendo neste localizada a bomba de óleo lubrificante; conforme está ilustrado na Figura 7:

**FIGURA 7** – Conjunto Virabrequim do Motor de Combustão Interna.



Fonte: Varella, 2015.

### 1.1.3. Combustão Interna

Os motores de combustão interna são equipamentos térmicos que tem como função transformar a energia de reação química em mecânica, por meio dos ciclos termodinâmicos. O processo de conversão ocorre e abarca a expansão, bem como a constrição e mudança de temperatura de gases (SCHULZ, 2009).

Esses motores movidos a combustão interna são também conhecidos como os motores a explosão, entretanto, tal termo é tecnicamente incorreto. Embora não ocorra de fato uma explosão de gases no interior das câmaras de combustão, esse termo é comumente utilizado. O que na verdade acontece é o aumento da pressão interna desta câmara, o que impulsiona os pistões em decorrência da combustão, sendo ela caracterizada pela queima sem controle e sem frente de chama definida. É interessante ressaltar ainda que essa combustão nada mais é que uma explosão dos gases que deve ser poupada em casos de motores de combustão interna com o intuito de oferecer a estes maior durabilidade e taxas menos expressivas de emissões de poluentes atmosféricos advindos da dissociação de gás nitrogênio (SCHULZ, 2009).



#### 1.1.4. Combustão Externa

No caso dos motores de combustão externas, há uma energização com o uso da mesma tecnologia. Mas já quando em motores de combustão interna, que utilizam-se de similar quantidade de energia e demais características, pode-se medir a eficiência de acordo com o uso da energia liberada no interior do tanque de combustível do veículo ao gerar faísca. Faísca esta que causa combustão radicalmente superior (ARIAS-PAZ, 1970).

Quando nos referimos a este tipo de motor, há uma conversão maior de energia potencial em energia cinética com a quantidade de combustível igual. Portanto, o motor de combustão externa é mais eficiente teoricamente, podendo ainda ser usado ao mesmo tempo em 2 veículos (ARIAS-PAZ, 1970).

#### 1.1.5. Motores Stirling

O denominado Motor Stirling é um motor de combustão externa, sendo uma máquina térmica de alta eficiência teoricamente. Essa característica foi comprovada pelos protótipos criados pela Philips nas décadas de 50 e 60, cujos índices superavam os motores que utilizavam combustíveis como diesel e gasolina, assim como máquinas a vapor. A eficácia alcançada era de 45%.

A Figura 8 representa o protótipo Motor Stirling da Philips nos anos 50.

**FIGURA 8** – Motor Stirling Philips.

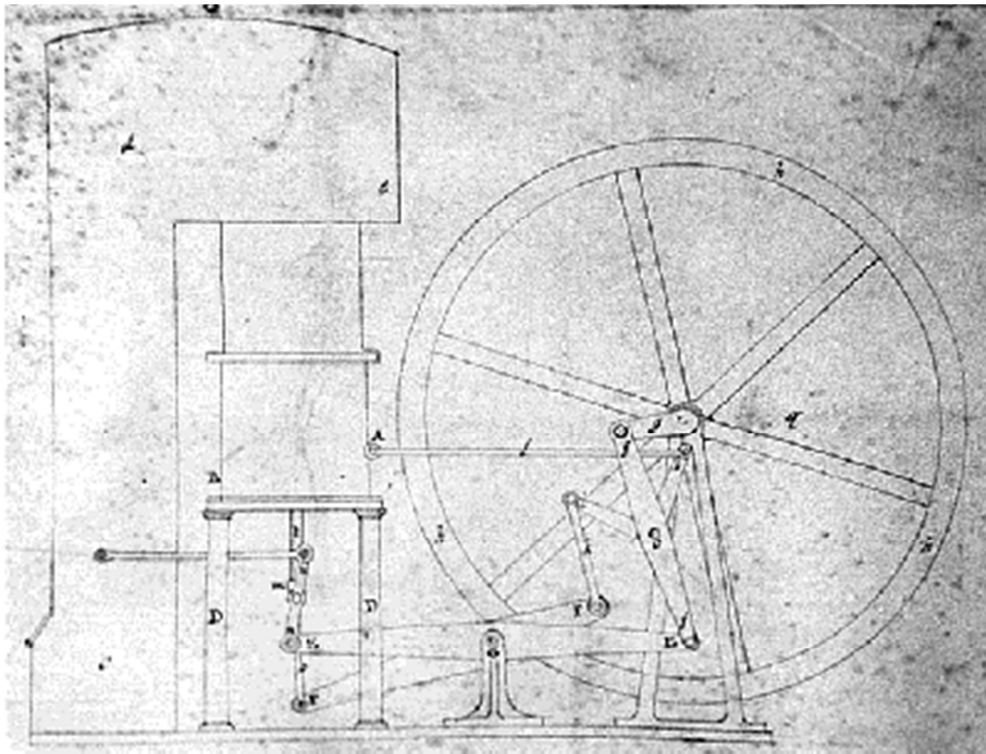


Fonte: INVENTINGEUROPE, 2005.

O motor Stirling é simples, baseia-se em duas câmaras com temperaturas diferentes com intuito de aquecer e arrefecer um gás alternadamente, promovendo expansões e contrações cíclicas, movimentando dois êmbolos ligados por meio de um eixo comum. Com o objetivo de diminuir as perdas térmicas, deve ser instalado associado a um "regenerador" entre as câmaras de temperaturas opostas quente e fria, de modo que haja rejeição do calor na câmara fria, e o calor ser armazenado para posterior fase de aquecimento de forma eficiente.

A Figura 9 representa o desenho da patente original deste motor:

**FIGURA 9** – Desenho feito a mão do primeiro Motor Stirling, patenteado em 1816.



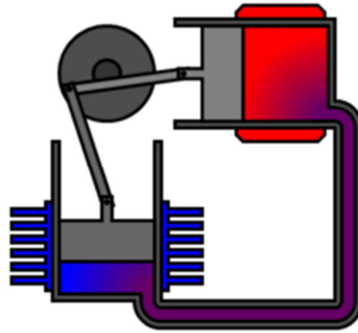
Fonte: Stirling Engine, 2014.

Há três configurações básicas deste tipo de motor:

- Alfa - com cilindros em V; (1)
- Beta - com êmbolos co-axiais num mesmo cilindro (2)
- Gama - com cilindros em linha (3).

A Figura 10 representa o desenho do Motor Stirling Alfa.

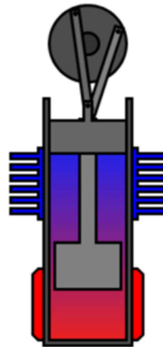
**FIGURA 10** - Desenho Motor Stirling Cilindros em V tipo Alfa.



Fonte: Motor Stirling Solar, 2010/2011.

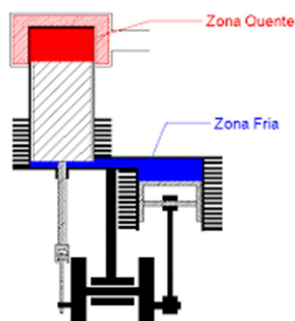
A Figura 11 ilustra o desenho do Motor Stirling Beta e a Figura 12 o Motor Stirling Gama.

**FIGURA 11** - Desenho Motor Stirling de êmbolos no mesmo cilindro tipo Beta.



Fonte: Motor Stirling Solar, 2010/2011.

**FIGURA 12** - Desenho Motor Stirling tipo Gama.



Fonte: Motor Stirling Solar, 2010/2011.

## 2. MATERIAIS E MÉTODOS

### 2.1 LISTA DE MATERIAIS

Materiais	Quantidade
Tarugo Nylon Technyl de Ø 65mm x 400mm.	1
Tarugo de Poliuretano de Ø 40mm x 150mm.	1
Tarugo de alumínio Ø 32mm x 60mm	1
Tubo de alumínio Ø 4mm	1
Disco de Ferro de Ø 4mm 120mm x 7mm	1
Eixo de aço de Ø 8mm x 250mm	1
Tarugo de aço de Ø 50mm x 80mm	1
Arruelas de Ø 6mm	2
Rebites rosqueados de Ø 4mm	4
Rebites rosqueados de Ø 6mm	2
Parafusos de Ø 6mm x 15mm	2
Parafusos de Ø 4mm x 25mm	4
Porcas de Ø 4mm	4
Seringas Hipodérmica Bico Metal 10ml	2
Parafusos Aliem Ø 10mm x 80mm	2
Parafuso Ø 14mm x 50mm	1
Parafuso Francês Ø 8mm x 50mm	1
Tabua de Madeira Cerejeira 35mm x 250mm x 480mm	1
Rolamentos NSK 6203 2RS	2
Chapa de Ferro 150mm x 100mm	1
Cola Tek Bond Adesivo Instantâneo 20g	1
Cola Loctite Durepoxi 100g	1
Torno Mecânico	1
Fresadora	1
Fresa Intercambiável de desbaste	1
Moto Esmeril	1
Furadeira de bancada	1
Alicate Universal	1
Alicate de pressão	1
Alicate de Bico Meia Cana	1
Broca de Ø 4mm	1
Broca de Ø 8mm	1
Broca de Ø 10mm	1
Broca de Ø 14mm	1
Broca de Ø 20mm	1
Alicate de Bico Meia Cana	1
Tarugo de Aço Ø 80mm x 200mm	1

## 2.2 MÉTODO UTILIZADO

Para fabricação do projeto foram utilizados uma tábua de madeira cerejeira 35mm x 250mm x 480mm usado como base do projeto, um tarugo de nylon technyl usinado para fabricação simultânea de dois componentes: o primeiro, um bloco retangular de 50mm x 30mm x 250mm com dois furos de Ø18mm em sua extremidades para sustentação das seringas hipodérmicas de 10ml, e o segundo, dois mancais de rolamentos de 30mm x 15mm x 120mm para sustentação do conjunto volante e manivelas com uma secção de desbaste em sua parte superior fixados por dois parafusos aliem de Ø10mm x 80mm. O bloco é fixado a um tarugo de poliuretano usinado para Ø32mm x 80mm com um parafuso francês de Ø8mm x 50mm, sendo o tarugo fixado por um parafuso Ø14mm x 50mm. Na saída de cada seringa foram utilizados dois tubos em paralelo: o primeiro, um tubo de cobre de Ø6mm e o segundo, um tubo de alumínio do mesmo diâmetro, ambos com o comprimento de 100mm unidos por um tarugo de alumínio usinado para Ø20mm x 40mm com um furo passante de Ø7mm com uma espécie de trocador de calor vedados com cola instantânea.

No projeto do volante e mecanismo de manivelas, foram utilizados um disco de ferro reciclado e usinado para Ø105mm x 7mm, um eixo de aço também reciclado usinado para Ø8mm x 200mm com uma redução para Ø6mm na metade de cada extremidade, polias intermediárias de Ø40mm x 4mm usinadas e discos de fixação das bielas com Ø30mm x 4mm, ambos usinados a partir de um tarugo de aço reciclado, bielas modeladas em um moto esmeril a partir de uma chapa de ferro reciclada, a primeira de 120mm de comprimento com um furo de Ø6,5mm em cada ponta, e a segunda de 100mm com furos iguais nas extremidades. Para fixação das bielas nos pistões e discos de rotação foram utilizados rebites rosqueados de Ø5mm fixados por parafusos de Ø4mm x 25mm e porcas de Ø4mm. A sustentação das manivelas aos pistões das seringas foram feitas com parafusos de Ø6mm x 15mm e arruelas de Ø6mm na parte superior fixadas com cola epóxi. Os parafusos foram rosqueados em rebites de Ø6mm colados a base dos pistões também com cola epóxi e por último a lamparina foi usinada a partir de um tarugo de aço também reciclado.

## 3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Este artigo visa a elaboração de um projeto artesanal de um motor de combustão externa ou “Motor Stirling Alfa” com o intuito de mostrar seus princípios de funcionamento. Através

das imagens abaixo, pode-se observar o projeto detalhado em suas fases de montagem: Figura 13 – Bloco de Sustentação, Base e Seringas; 14 - Base de Madeira; Figura 15 – Volante, Polias, Discos de Engate e Mancais de Sustentação; Figura 16 – Bielas, Parafusos, Rebites, Pistões e Trocador de Calor; Figura 17 – Lamparina e a Figura 18 – Motor Stirling Alfa Artesanal montado.

**Figura 13** – Bloco de Nylon Technyl, Tarugo de Poliuretano e Seringas 10ml e Parafusos.



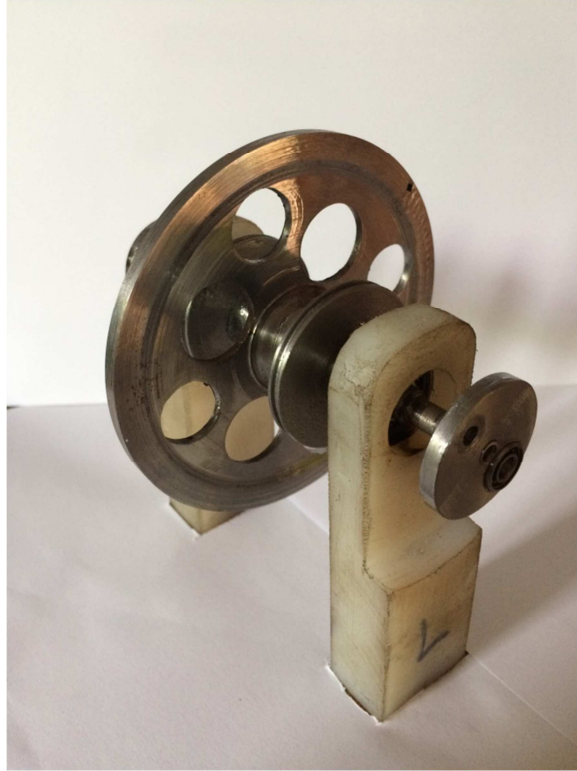
Fonte: Próprio autor, 2016.

**Figura 14** - Base de Madeira Cerejeira.



Fonte: Próprio autor, 2016.

**Figura 15** – Volante Polias e Discos de Aço Reciclado, Mancais De Nylon Technyl e Rolamentos.



Fonte: Próprio autor, 2016.

**Figura 16** – Bielas de Chapa de Ferro Reaproveitado, Parafusos, Rebites, Porcas e Trocador de calor de Alumínio.



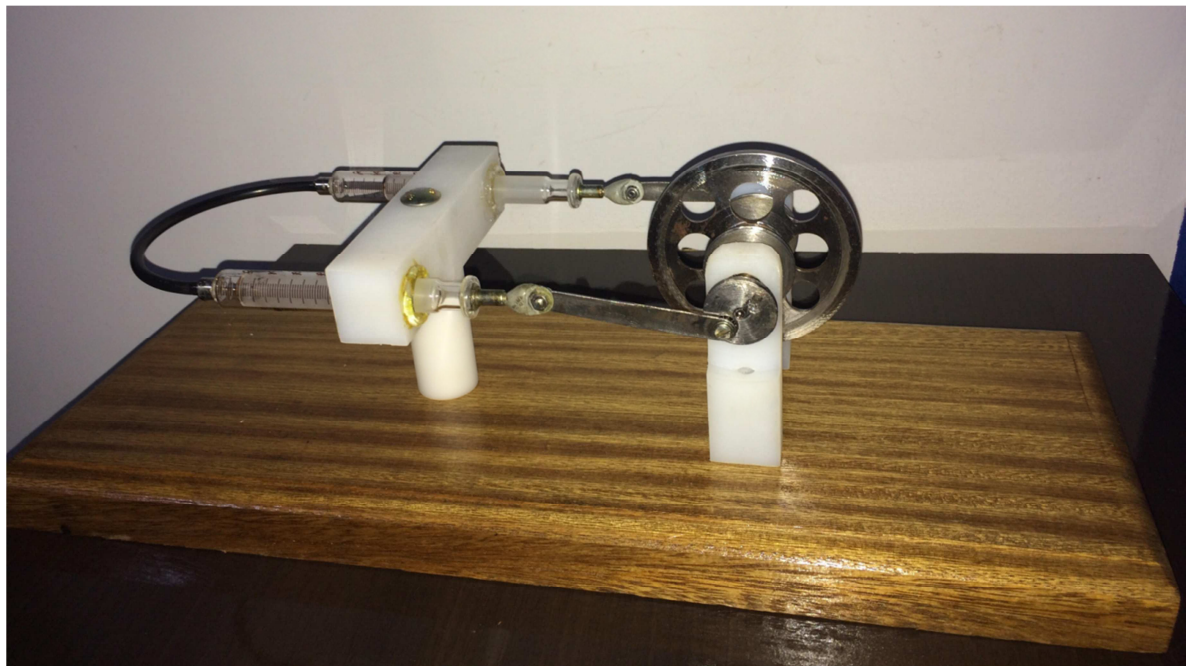
Fonte: Próprio autor, 2016.

**Figura 17** – Lamparina Usinada de Aço.



Fonte: Próprio autor, 2016.

**Figura 18** – Motor Stirling modelo Alfa artesanal após a montagem.



Fonte: Próprio autor, 2016.



Após a montagem do projeto e testes de funcionamento, os resultados obtidos não foram os esperados: a seringa de expansão de ar quente, a qual recebe o calor, não expandiu ar como desejado. Além disso, observam-se ainda algumas irregularidades como atrito entre o conjunto de manivelas, vazamento de ar entre o pistão e a parede de ar das seringas, vazamento de ar na tubulação de alumínio e de cobre, peso em excesso no volante e eixo, resistência mecânica na rotação e impulso das seringas contra as bielas, atrito e desalinhamento dos mancais de sustentação do volante e queda da pressão e velocidade do ar quente ao atingir a tubulação de maior diâmetro.

#### **4 CONCLUSÃO**

O presente artigo possibilita compreender os princípios de funcionamento de motores de combustão externa, com base em uma pesquisa bibliográfica seguida de um projeto experimental.

Observou-se que os motores de combustão externa são menos utilizados do que os motores de combustão interna, utilizados comumente em grandes indústrias e máquinas de grande porte, como navios e trens. Utilizam como combustíveis: carvão, madeira, óleos, entre outros, que são queimados externamente gerando vapor no interior do motor movimento. Observa-se, entretanto, que a combustão interna apresenta menor gasto de combustíveis do que a combustão externa, e ainda se apresenta em tamanho menor que um motor com base em combustão externa.

O presente estudo apresenta os Princípios de Funcionamento com base em um projeto mecânico artesanal, no qual os resultados não obtiveram êxito. As seringas que deveriam impulsionar a rotação do volante não conseguiram vencer a inércia, o atrito das bielas e excesso de peso no volante influenciou negativamente nos resultados. Há ainda a possibilidade de vazamento de ar aquecido nos pistões, e a tubulação carece de contra peso para compensar o ciclo inerte, o material escolhido para fabricação do volante acarretou na excesso de peso do conjunto de manivelas, o que pode influenciar negativamente também, sendo necessários ajustes posteriores com base no tópico 3.

# **BEGINNINGS OF OPERATION OF MOTORS OF COMBUSTION EXPRESS**

## **ABSTRACT**

This paper studies the External Combusting Motor's Principles, using for that purpose bibliographic research followed by an experiment. It's possible to consider that, due to its application, external combusting motors are less used than the internal ones. They're used in considerable large industries and large sized machines, like ships and trains. They need fuels like coal, wood, oils, etc., which are burnt in the external side of the motor resulting in steam to boost the movement. The aim of this paper is to show the Function Principles of this model, focusing on proving its effectiveness, its advantages and disadvantages, as well as increase awareness regarding the theme. Therefore, a model of a "Handmade String Motor" was project with hypodermic syringes working as pistons. The first one expands the warmed air, and the other cools it. All the structure is sustained by a machined base of wood, like a wheel, pulleys, an axis, a compensating disc, rods and other adjusting materials like screws, nuts and riveters. The results weren't successful since the flaws were identified and need further adjusting.

Keywords: External Combustion Motor. Stirling Motor. Operating Method. Structure.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

*ARIAS-PAZ, Manuel. Manual de Automóveis*, São Paulo: Editora Mestre Jou, 1970.

*BOSCH, Robert. Manual de Tecnologia Automotiva*. Tradução da 25ª Edição Alemã. Editora Edgard Blucher, 2005.

*MARTINS, Luciano Camargo. Motores: Tecnologia e Indústria*. Disponível em: <<http://www.mundofisico.joinville.udesc.br/index.php?idSecao=8&idSubSecao=&idTexto=143>>. Acesso em 2 de abril de 2016.

*NASCIMENTO, Felisberto. Princípio de Funcionamento dos Motores de Combustão*. Disponível em: <<http://felisbertoneto.blogspot.com.br/2009/09/principio-de-funcionamento-dos-motores.html>>. Acesso em 2 de abril de 2016.

*ROSTAND, Romulo. Motor Stirling - Evolução desde a revolução*. Disponível em: <http://motoresdecombustao.blogspot.com.br/2014/11/motor-stirling-evolucao-desde-revolucao.html>. Acesso em 30 de outubro de 2017.

*SCHULZ, Daniel. Motores de Combustão Interna*. Programa de Mestrado Profissional da Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Disponível em: <[http://www.if.ufrgs.br/~dschulz/web/combustao\\_interna.htm](http://www.if.ufrgs.br/~dschulz/web/combustao_interna.htm)>. Acesso em 4 de abril de 2016.

*TAYLOR, Frederick Winslow. Princípios de Administração Científica*. São Paulo: Atlas, 1976.

*VARELLA, Carlos Alberto Alves. Constituição dos Motores*. Universidade Federal Rural Do Rio De Janeiro IT – Departamento de Engenharia. Disponível em: <[http://www.ufrj.br/institutos/it/deng/varella/Downloads/IT154\\_motores\\_e\\_tratores/Aulas/constituicao\\_dos\\_motores.pdf](http://www.ufrj.br/institutos/it/deng/varella/Downloads/IT154_motores_e_tratores/Aulas/constituicao_dos_motores.pdf)>. Acesso em 3 de abril de 2016