



# **DESENVOLVIMENTO DE UM MOTOR STIRLING MOVIDO A ENERGIA SOLAR**

**ISABELA TEREZA MAGACHO**  
**isabelamagacho@hotmail.com**  
**AEDB/FER**

**GUSTAVO BORGES E SILVA**  
**gustavoborgesesilva@gmail.com**  
**AEDB/FER**

**GABRIEL GONÇALVES PESSOA DE CASTRO**  
**gabriel.pessoa@aedb.br**  
**AEDB/FER**

**Resumo:** As preocupações básicas deste estudo são refletir no desenvolvimento sustentável e no avanço da tecnologia, elaborando um motor que utiliza a energia solar como fonte de calor. Este artigo tem como objetivo principal analisar a importância da utilização de uma fonte limpa, livre de gases poluentes e com redução no custo devido ao aumento no preço do combustível no Brasil. Foi realizada uma pesquisa bibliográfica considerando as contribuições de autores importantes como Mattozo, Melo e Barros. Buscando enfatizar o início da revolução industrial e o desenvolvimento da tecnologia, é possível observar que a preservação ambiental é tema de grande relevância, devido à quantidade de recursos naturais dispostos, e visto que a maior parte de energia não é renovável. A junção de tantos fatores positivos gera grande importância social, inclusive tema de pesquisa em grandes universidades e empresas. Conclui-se que o estudo do projeto foi importante para a qualidade do motor, gerando energia com boa eficiência e ganhos econômicos, e consequentemente gerando qualidade de vida devido à fonte limpa.

**Palavras Chave:** Motor Stirling - redução de custos - fonte limpa - energia - sustentável



## 1. INTRODUÇÃO

No início do século XIX, as máquinas a vapor eram muito utilizadas, porém, sua utilização provocava inúmeros acidentes graves nos quais muitos chegavam à morte. Mediante a esta realidade e sensibilizado com tantas vítimas, o pastor Robert Stirling e seu irmão, estudaram um motor que pudesse substituir o motor a vapor trazendo mais segurança e evitando acidentes. Com os estudos realizados, chegaram à conclusão de que o motor ao funcionar com pressões mais baixas devido ao uso de ar ou outros gases, gerava mais segurança.

Pode parecer uma proposta bastante inovadora, mas estes tipos de motores vêm sendo estudados há um tempo por grandes universidades e empresas altamente reconhecidas. A Nasa por exemplo, tem projetos para usos espaciais.

Os conflitos causados pelo alto preço dos combustíveis e o desgaste ambiental tem rodeado o país afetando diversos setores industriais e socioeconômicos. Superaquecimento global, mudanças climáticas, aumento do nível do mar, dentre outros fatores, são pautas frequentes na atualidade. Em maio de 2018, caminhoneiros de todo o Brasil realizaram uma paralisação devido ao alto preço do diesel, foram dez dias em negociações com o governo em busca de preços mais acessíveis. De acordo com o presidente do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), Roberto Olinto, a paralisação dos caminhoneiros vai impactar o resultado da produção do país no segundo semestre.

Este artigo tem como escopo o desenvolvimento de um motor stirling movido à energia solar. Tendo em vista o crescimento da tecnologia, a indústria 4.0, o aumento no preço do combustível e os efeitos colaterais evidentes no ecossistema, este projeto visa atender as necessidades humanas sem causar danos à população.

Mediante este cenário atual, a busca por alternativas econômicas e sustentáveis é de grande relevância, objetivando não somente a construção de um sistema de geração de energia, mas uma forma de contribuição social visando um futuro melhor.

## 2. A REVOLUÇÃO INDUSTRIAL E O DESENVOLVIMENTO DA TECNOLOGIA

A Revolução Industrial se resume em um período onde ocorreu a transição do trabalho artesanal pelo uso de máquinas entre os séculos XVIII e XIX na Europa. As máquinas foram desenvolvidas com o objetivo de aumentar a produção, consequentemente os lucros e minimizar o esforço humano.

“Foi adotada a energia a vapor, mas como as exigências não eram grandes, até 1838 um quarto da energia ainda era de fonte hidráulica” (Hobsbawm, 1968, p. 56).

A máquina a vapor foi o principal meio utilizado para dar movimento a outras máquinas, seu funcionamento básico é baseado em três partes: a caldeira onde o vapor é produzido, a máquina térmica que transforma a energia do vapor em energia mecânica, e o tender que transporta o combustível e água necessários para o funcionamento da máquina. Neste período, a falta de equipamentos para controlar a pressão nas caldeiras era grande, não suportando a pressão e rompendo causando grandes números de acidentes.

Atualmente, contamos com uma ampla fonte de tecnologia, a cada momento nos deparamos com novas tendências e a velocidade com que tudo está sendo desenvolvido tem sido cada vez mais rápida. Platão, a sua época (300 AC), já afirmava a dependência do



homem dos meios tecnológicos para sobreviver. O desenvolvimento contínuo desses meios permitiu que o ser humano fosse a lua, se multiplicasse, dominasse – e destruísse- a natureza.

Diante de tantas formas de inovação dispostas, a conscientização sustentável deve ser primordial em todos os aspectos.

### 3. SETOR ENERGÉTICO BRASILEIRO

De acordo com o professor Gilba, no Brasil há três principais tipos de usinas geradoras de eletricidade: as hidrelétricas, que utilizam a força das quedas-d'água para acionar turbinas e produzir eletricidade; as termelétricas convencionais, que utilizam os combustíveis fósseis; e as termonucleares ou atômicas, que utilizam a energia contida nos minerais atômicos.

A participação das termoelétricas a diesel e a óleo combustível, as mais caras do sistema, na produção de energia elétrica no País tem crescido ano a ano. O peso dessas térmicas na geração aumentou praticamente 286% em apenas dois anos, segundo dados divulgados pela Agência Nacional de Energia Elétrica (Aneel) sobre o setor elétrico brasileiro. Mediante esses dados, vale investir em fontes alternativas de energia, com o objetivo de reduzir gastos excessivos, e a enorme poluição causada. Os hidrocarbonetos presentes nos combustíveis fósseis liberam gases de efeito estufa podendo danificar a camada de ozônio. Além disso, estes combustíveis liberam outros gases responsáveis pela chuva ácida. De acordo com o Lana Magalhães, foi observado um exemplo da consequência da chuva ácida no Brasil. O município litorâneo de Cubatão, em São Paulo, apresenta grande concentração de indústrias e a chuva ácida destruiu a vegetação da encosta da serra do Mar, expondo o solo à erosão.

De acordo com a figura 1, a maior parte do Brasil e do mundo utiliza como principais fontes de energia, as que não são renováveis, sendo o petróleo o destaque em ambas as situações trazendo fortes impactos ambientais e sociais.

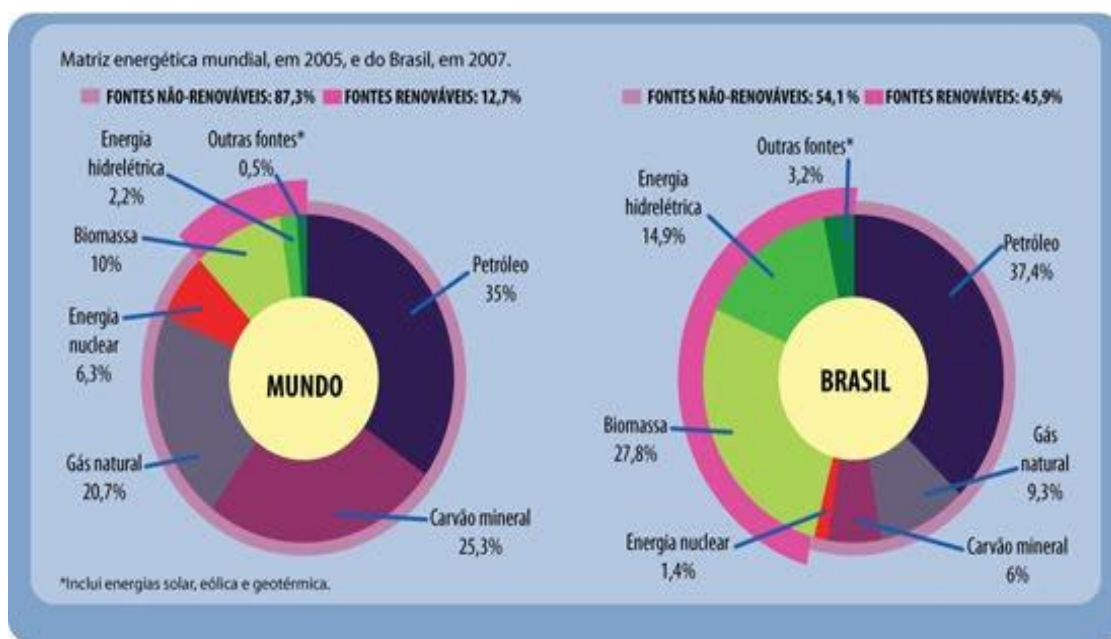


Figura 1: Matriz energética mundial em 2005, e do Brasil em 2007.

Fonte: <http://energiatermeolica.blogspot.com/>



## 4. MOTOR STIRLING

### 4.1 OS COMBUSTÍVEIS FÓSSEIS E SEUS IMPACTOS AMBIENTAIS

O meio ambiente é fundamental para vida de todo ser humano, nosso corpo depende da natureza saudável para sobreviver, e o combustível afeta de certa forma este pilar.

“Com relação as fontes não renováveis, tem-se expectativas de que as reservas de petróleo durem por aproximadamente 75 anos, as de gás natural por aproximadamente 100 anos e as de carvão por aproximadamente 200 anos” (MATTOZO, 2001).

Devida a alta eficiência dessas substâncias, elas são altamente utilizadas, porém são fontes esgotáveis e não renováveis. O petróleo, carvão e os gases naturais segundo geólogos têm data certa para acabar, tornando-se assim prejudiciais ao meio ambiente. Apesar de muitas fontes serem utilizadas, o petróleo permanece sendo a principal como mostra em vários livros.

“Entretanto, a principal fonte primária de energia utilizada atualmente continua sendo o petróleo, que contribui com 34,4% da produção total de energia primária no ano de 2003” ((INTERNATIONAL ENERGY AGENCY, 2005 apud BARROS, 2005).

No presente contexto, a busca por formas de viabilizar a diminuição do consumo desses combustíveis, para fontes alternativas tem sido de grande relevância. Segundo Pereira et al. (2006) o aproveitamento da energia solar é vantajoso em todo o território, mesmo nas regiões menos favorecidas pela irradiação solar. Partindo deste princípio almeja-se elaborar um motor stirling no qual sua fonte de calor é proveniente da luz solar.

### 4.2 MOTOR STIRLING MODELO GAMA

Existem três tipos de motores stirling, alfa, beta e gama. No desenvolvimento deste projeto foi escolhido o gama devida a sua simplicidade, baixo custo e boa transferência de calor que é um fator e grande importância devida a utilização de energia solar.

“O motor Gama tem um pistão de deslocamento similar ao do motor Beta, apesar de ser montado em diferentes cilindros. Essa configuração tem o conveniente de separar a parte quente do trocador de calor, que é associada ao pistão de deslocamento, do espaço de trabalho de compressão e expansão, associado ao pistão de trabalho”(MELLO, 2001).

O motor gama é menos complexo se formos equiparar com o motor do tipo Beta, sendo mais fácil de adquirir transferência de calor e ajuste na taxa de compressão. No entanto vale ressaltar que tem redução de potência na saída devido a expansão dar-se no espaço de compressão.

“Comparado com o motor tipo Beta, o seu mecanismo é mais simples, e ajustes na taxa de compressão e incremento da área de transferência de calor, são relativamente fáceis de obter” (HIRATA, 1995).



A figura 2 demonstra um esquema com as variáveis de um motor stirling do tipo gama.

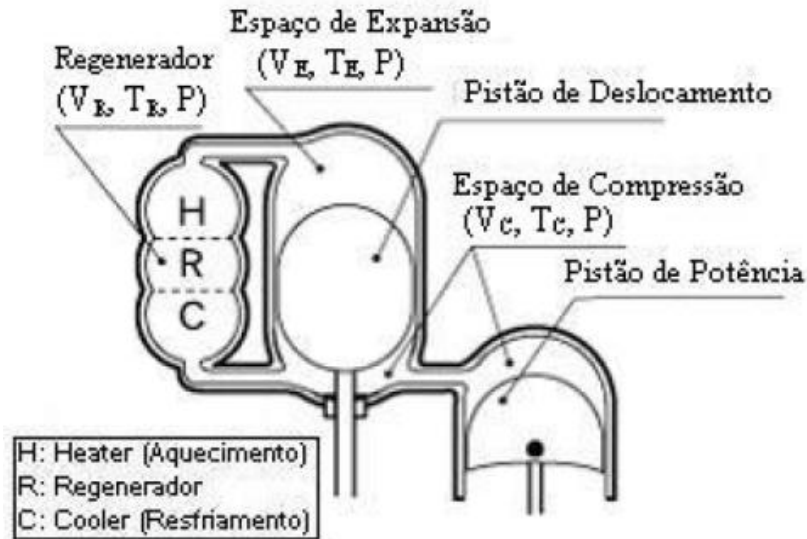


Figura 2: Esquema de um motor stirling tipo Gama (Hirata, 1995)

#### 4.3 OS BENEFÍCIOS DO MOTOR STIRLING

O motor stirling tem grandes vantagens, visto que necessita apenas de uma fonte de calor, é um motor de combustão externa e sua eficiência se assemelha a de Carnot, ou seja, mesmo utilizando energia solar como combustível sua eficiência não é afetada, podendo citar também que ele é bastante silencioso.

“Outra motivação importante na retomada dos motores Stirling é sua capacidade de converter energia térmica em mecânica sem explosão, como no caso do motor de combustão interna, levando a uma operação silenciosa e limpa, que são essenciais para aplicações especiais, tais como operações militares e usos médicos” (TLILI, TIMOUMI, NASRALLAH, 2006).

Outro benefício do motor Stirling, é que por ser de combustão externa torna-se possível controlar sua emissão de gases poluentes e com isso reduzindo-os. Com o avanço da tecnologia é possível buscar um desenvolvimento sustentável, evoluir sem agredir o meio ambiente, fato que todas grandes empresas e universidades buscam.

“A constante tentativa de diminuir a utilização de combustíveis fósseis e utilizar combustíveis alternativos reduzindo a emissão de poluentes motivou a retomada do interesse pelos motores Stirling, pois este tipo de motor necessita apenas de uma fonte de calor independentemente do tipo de combustível, podem alcançar alta eficiência e ser alimentados inclusive através da energia solar. Este interesse deu-se, também, pelo avanço de fatores como a tecnologia dos materiais, dos processos de fabricação e sistemas de selagem, fatores que inviabilizaram os motores Stirling levando-os ao desaparecimento comercial e desinteresse pela tecnologia no início do século XX” (BARROS, 2005).



## 5. MOTOR STIRLING MOVIDO A ENERGIA SOLAR

### 5.1 A PROPOSTA DO MOTOR STIRLING MOVIDO A ENERGIA SOLAR

O projeto pressupõe a realização do protótipo de um motor stirling acoplado a uma antena parabólica. A antena será revestida com um espelho côncavo e terá como objetivo captar a energia solar e concentrá-la de forma pontual para o funcionamento do motor. Vale ressaltar a importância da utilização dessa fonte de calor, devido aos benefícios apresentados ao meio ambiente e a mesma poderá ser transformada em energia elétrica.

O motor stirling opera basicamente por 4 tempos, nos quais podem ser classificados como compressão, expansão, aquecimento e resfriamento. Motor considerado simples, devido a utilização de apenas duas câmaras com temperaturas diferentes para produzir trabalho. Vale ressaltar que diferente do Otto ou Diesel, ele pode utilizar todo tipo de combustível sendo ideal ao trabalho proposto.

O funcionamento desse motor stirling acoplado a uma antena se dará com esses quatro tempos citados anteriormente. Para que o motor funcione é necessário que haja diferença nas temperaturas das câmaras, ou seja, haja uma câmara quente e uma câmara fria.

A energia solar será captada por meio de uma antena parabólica revestida por um espelho côncavo, que estará voltado para o motor gerando um vapor quente. Este gás entra na câmara quente realizando o processo de compressão e expansão consequentemente, o gás se expande e acaba sendo transferido pelo pistão de deslocamento forçando o pistão de trabalho para cima na câmara fria, onde sofre resfriamento e acaba se contraindo, ou seja, diminuindo seu volume, forçando o pistão para baixo, onde o ciclo é reiniciado.

Na figura 3 é apresentado um esquema com o funcionamento básico deste motor.

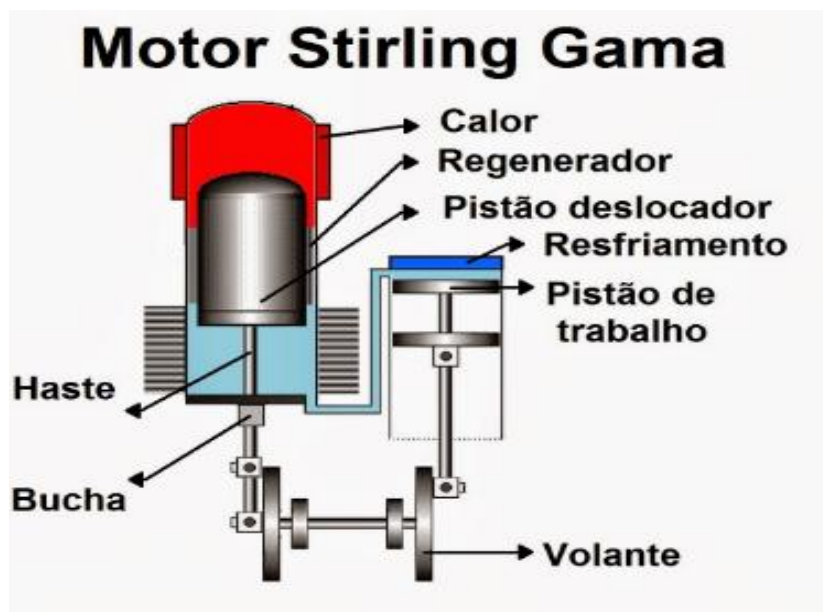


Figura 3: Funcionamento do Motor Stirling

Fonte: [manualdomotorstirling.blogspot](http://manualdomotorstirling.blogspot)



## 5.2 VANTAGENS E APLICAÇÕES DO MOTOR

Com o desafio da otimização do gerenciamento de recursos naturais a fim de evitar danos ao meio ambiente e prezar pela saúde e qualidade dos seres vivos, esta é uma alternativa econômica, de grande eficiência e bem simples. Com o objetivo de geração de energia elétrica, este motor funciona baseado na captação solar por meio de uma parábola revestida de um espelho côncavo, que chega na superfície por meio de radiação. Esta energia é concentrada em um ponto específico da parábola no qual é transferida para o motor que é constituído por dois pistões. O pistão deslocador transfere o fluido entre as extremidades quente e fria e o pistão de trabalho é responsável por processos como: compressão, expansão, descompressão e contração do fluido de trabalho.

De acordo com a empresa MyBeloJardim, Arizona-USA foi a primeira usina comercial do mundo a usar tecnologia Stirling de concentração de energia solar em discos parabólicos gigantes para gerar eletricidade a partir do sol. Foram instalados na usina solar 60 coletor-parabólicos solares, chamados de SunCatcher. Cada unidade parabólica tem capacidade de produzir 25 kilowatts e toda a instalação tem uma capacidade de 1,5 megawatts de geração de eletricidade. Suficiente para suprir as necessidades energéticas de cerca de 200 casas em janeiro de 2010.



**Figura 4: Usina Solar Stirling – Arizona USA**

**Fonte:** <http://mybelojardim.com/inaugurada-usina-solar-sterling-de-geracao-de-eletricidade/>



## 7. CONCLUSÃO

Diante do exposto, foi possível concluir que a geração de energia elétrica por meio do motor Stirling acoplado a uma parábola, agrega grandes benefícios ao setor energético brasileiro. Utiliza uma fonte limpa, livre de gases poluentes, evitando assim grandes impactos ambientais.

O motor Stirling tem sido bastante estudado universidades e empresas, devido a sua eficiência e sustentabilidade. É um motor de combustão externa, o que o torna muito flexível, podendo utilizar diferentes tipos de combustíveis, pois necessita apenas de uma fonte quente.

Eficiência comparada a Carnot, o que supera outros motores neste quesito, como o diesel, gasolina e máquinas a vapor. Esta eficiência os leva a serem utilizados até mesmo em sistemas de refrigeração, assim como na captação de energia solar, conforme o projeto proposto e até mesmo em motores de submarinos.

O projeto escolheu o motor Stirling gama por conta da sua simplicidade comparado a Beta e Alfa, além de um baixo custo, e boa taxa de transferência de calor obtendo assim uma boa eficiência e com isso obtendo resultados satisfatórios.

## 8. REFERÊNCIAS

**BARROS, R. W.** Avaliação Teórica e Experimental do Motor Stirling Modelo Solo161 Operando com Diferentes Combustíveis. Itajubá, 2005. 143 p. Dissertação (Mestrado em Conversão de Energia) - Instituto de Engenharia Mecânica, Universidade Federal de Itajubá, Itajubá. 2005.

**CARDOSO, Mayara.** Disponível em: <https://www.infoescola.com/fisica/ciclos-termodinamicos/> acessado em 02/06/2018

**DUARTE, Michelle** Disponível em: <https://www.todamateria.com.br/combustiveis-fosseis/> acessado em 02/06/2018.

**GARCIA, Armando Suarez** Disponível em: [https://www.suapesquisa.com/energia/consumo\\_energia\\_brasil.htm](https://www.suapesquisa.com/energia/consumo_energia_brasil.htm) acessado em 03/06/2018

**GUIMARÃES, Vinicius** Disponível em: <http://btdt.biblioteca.ufpb.br/bitstream/tede/5341/1/arquivototal.pdf> acessado em 30/05/2018

**HELERBROCK, Rafael** Disponível em: <https://mundoeducacao.bol.uol.com.br/fisica/motor-stirling.htm> acessado em 10/06/2018

**HIRATA, K.** (1995). Schmitdt Theory for Stirling Engines. Stirling Engine Home Page. Disponível em <<http://www.bekkoame.ne.jp/~khirata/>>.

**HOBBSAWM, Eric J.** (1968). Da Revolução Industrial Inglesa ao Imperialismo. Rio de Janeiro: Forense-Universitária, 1983

**IZILDA, Maria** Disponível em :<http://radioboanova.com.br/importancia-da-tecnologia-na-vida-atual/> acessado em 02/06/2018

**JESUS, Fernando Soares** Disponível em: <https://www.geografiaopinativa.com.br/2013/08/como-funciona-as-usinas-hidreletricas.html> acessado em 06/06/2018

**MAGALHÃES, Lana** Disponível em: <https://www.todamateria.com.br/chuva-acida/> acessado em 06/06/2018





SIMPÓSIO DE EXCELÊNCIA EM GESTÃO E TECNOLOGIA

**XV SEGET**

**Indústria 4.0**  
e o uso de tecnologias digitais

30, 31/10  
e 01/11



**MARSHALL, Brain** “HowStuffWorks” Disponível em: [https://www.if.ufrgs.br/~dschulz/web/ciclo\\_stirling.htm](https://www.if.ufrgs.br/~dschulz/web/ciclo_stirling.htm) acessado em 05/06/2018

**MELLO, M.G.** (2001). Biomass and Energy in the Tropics in Minas Gerais. Belo Horizonte: LabMídia/FAFICH

**RODRIGUES, Maxwell** <http://www.administradores.com.br/artigos/tecnologia/a-importancia-da-tecnologia-no-crescimento-empresarial/24362/> acessado em 03/06/2018

**SALLOWICZ, Mariana** upud **SALES Robson** Disponível em: <https://g1.globo.com/economia/noticia/presidente-do-ibge-confirma-impacto-negativo-da-greve-dos-caminhoneiros-na-producao-do-pais.ghtml> acessado em 11/06/2018

**TLILI, I., TIMOUMI, Y., NASRALLAH, S. B.**, Analysis and design consideration of mean temperature differential Stirling engine for solar application. Renewable Energy, v. 33, p. 1911-1921, 2008.