

## Motor Térmico de Ciclo Fechado: um Estudo Comparativo para Alimentação de Bateria de Celulares

OTANIEL FERREIRA MARTINS

ERLLON DE ANDRADE FERNANDE

ARLESON SILVEIRA DE MELO TEIXEIRA

Engenheiros eletricista | Centro Universitário do Norte – UNINORTE  
Manaus, Amazonas, Brasil

ALINE DOS SANTOS PEDRAÇA

JOÃO ALMEIDA PEDRAÇA

AMARILDO ALMEIDA DE LIMA

Aliança em Inovações Tecnológicas e Ações Sociais AITAS-AM  
Associação Brasileira dos Engenheiros Eletricistas – ABEE-AM  
Manaus, Amazonas, Brasil

JOSÉ YOANNIS GONZÁLEZ SAN JUAN

Mestre em ciências da educação pela  
Universidade de ciências pedagógicas José de la Luz y Caballero, Holguín, Cuba

### Resumo

*A proposta aqui destaca a utilidade de motores de ciclo para utilização na alimentação de aparelhos celulares em localidades distantes dos centros urbanos, onde o fornecimento de energia elétrica é deficiente ou inexistente. A perspectiva é fazer um estudo comparativo sobre a capacidade de dotar de carga o aparelho celular, mesmo localizado em regiões sem sinal das operadoras. A necessidade de comunicação é um desafio, uma vez que os habitantes das áreas rurais se deslocam para a cidade para negociar seus produtos, com os aparelhos carregados ao aproximam do sinal das operadoras já conseguem fazer seus contatos e negócios. Para este trabalho o destaque é o motor Stirling tipo Gama com combustão, pois, apresenta vantagens, principalmente quanto à pressão. A pesquisa é um estudo bibliográfico e se desenvolveu de modo qualitativo, observando os dados disponibilizados na literatura, como ponto de partida, fazendo uma análise dos parâmetros que tange a seleção do motor, especificação*

*fazendo uma compilação de dados que explicitam os fatores pró a utilização do mesmo. Os trabalhos que tratam do tema mostram que são de fácil operação e construção, permitindo melhoramentos que podem ser implementadas com materiais de baixo custo. A trajetória da utilização do motor Stirling se identifica pelo fato de sua obsolucência, por apresentar limitações quando comparados com motores mais adequados como o motor Otto (1877) e diesel (1893) que mostraram maior potência, o que permite se fizer adequações para aplicações pontuais, além da possibilidade de melhorias de funcionalidade com custos menos efetivos, tornando-os mais adequados e aptos a equiparar aos motores Otto e diesel. A forma de visualizar fatores que podem corroborar com a utilização de mecanismos simples, porém, capazes de solucionar problemas pontuais e de interesse social é a premissa deste trabalho, discutir diante de estudos já apresentados, as soluções para tais problemas.*

**Palavras-chave:** Motor de Combustão. Smartphones. Potência. Cargas.

### **Abstract**

*The proposal here highlights the usefulness of cycle motors for use in the supply of mobile phones in locations far from urban centers, where the supply of electricity is poor or nonexistent. The perspective is to make a comparative study on the ability to charge the mobile device, even located in regions without signal from operators. The need for communication is a challenge, as rural people move to the city to negotiate their products, with the handsets charged as they approach the signal operators can already make their contacts and business. For this work the highlight is the Stirling combustion range type engine, as it has advantages, especially in terms of pressure. The research is a bibliographical study and developed in a qualitative way, observing the data available in the literature, as a starting point, making an analysis of the parameters related to the engine selection, specification making a compilation of data that explain the factors for the use of the same. The works that address the theme show that they are easy to operate and build, allowing improvements that can be implemented with low-cost materials. The trajectory of using the Stirling engine is identified by the fact that it is obsolete, as it has limitations when compared to more*

*suitable engines such as the Otto (1877) and diesel (1893) engines that showed higher power, which makes it possible to make adjustments for specific applications, and feature cost-effective functionality enhancements, making them more suitable and able to match Otto and diesel engines. The way to visualize factors that can corroborate the use of simple mechanisms, however, capable of solving punctual and social interest problems is the premise of this paper, discussing in the light of studies already presented, the solutions to such problems.*

**Keywords:** Combustion Engine. Smartphones. Power. Loads

## INTRODUÇÃO

A tecnologia hoje está em todos os ambientes sociais, mas para essa tecnologia ter sua eficiência é necessária energia elétrica. Este estudo trás, entre outras aplicações o estudo sobre a aplicação e utilização de um motor de combustão para alimentar a bateria de aparelhos celulares em regiões de pouca oferta de energia ou a inexistência dela, utilizando um motor Stirling tipo Gama com adaptações. A iniciativa se mostra relevante quando se observa a situação das populações ribeirinhas que lidam diariamente com a necessidade de utilização de aparelhos celulares para movimentar suas produções e contatos com familiares que residem na cidade. Muitas comunidades dos afluentes do Rio Negro, como por exemplo, do igarapé do Tarumã, mesmo algumas delas, tendo conexão com o sistema de distribuição de energia interligado a cidade, tem limitações para atingir a comunidade como um todo. Essa inquietude que permeia a atual situação das comunidades rurais, que ainda é evidente fator limitador de comunicação nas regiões ribeirinhas que, mesmo no século XXI, a energia elétrica é limitada, em algumas situações, os geradores de energia local são muito dispendioso, devido a condição de manutenção e o preço do combustível ser alto e de difícil obtenção, muitas das vezes o uso racionado da energia elétrica se faz insuficiente, sem contar com as populações que suas moradias são distantes das aglomerações, como em sítios e residências produtoras de insumos agrícolas.

A observação dos fatores que credenciam a necessidade de entender a logística que dificulta a vida dessas populações, visto que a eletrificação é um vetor de desenvolvimento, não há como não querer integrar os cidadãos dessas regiões para o alavancar suas produções e melhorias em suas vidas. As políticas públicas até que tem se expandido para as regiões rurais mas ainda há um vazio que dificilmente é expresso nas estatísticas.

Este trabalho tem a pretensão de validar um olhar mais emergente para mediar um problema que assola a comunicação das comunidades ribeirinhas, fazendo uma busca minuciosa sobre a utilização do motor Stirling adaptado para gerar cargas e alimentar baterias de celular tipo smartphones, proporcionando ao ribeirinho a possibilidade de ao se aproximar a cidade, seu telefone esteja com cargas e receber o sinal das operadoras para assim, fazer seus contatos com fornecedores e compradores. Diante de tal situação que requer uma visão mais adequada para subsidiar soluções para problemas que se estendem há séculos na região ribeirinha da Amazônia. A energia elétrica chegou sim às regiões ribeirinhas, mas muitas localidades ainda não usufruem dessa corrente que fica a mercê de que estudos possam ser aferidos e levar ao conhecimento das autoridades a necessidade de uma distribuição mais igualitária da energia. Mas enquanto, não se promove essa integração vale ações como a descrita neste trabalho que promove um elo de integração entre as comunidades e a tecnologia.

A história relata que foi pelo poder de criação que Robert Stirling que o mesmo conseguiu inventar o motor com essa peculiaridade, que foi denominado “motor Stirling” (MEDINA, 2017; FARIA, 2018). Essa invenção se deu na Escócia, agregando no período de sua descoberta vantagens grandiosas, visto que, o motor por ele inventado se mostrou relevante frente às outras descobertas da época, sendo o ponto alto que credencia o motor como relevante é o fator pressão. Como se podem notar as descobertas advem de um tempo e a forma de percepção da sociedade na sua vivência, mas com o avanço das tecnologias, essas descobertas, que outrora foram de impacto social, vão sendo abandonadas e substituídas por outras mais robustas, mas há de se convir que mesmo essas tecnologias, consideradas obsoletas, tendem a ser utilizadas em situações onde se requer mais a capacidade criativa

que a utilização de materiais de alto padrão e de custo muito elevados. No caso do motor Stirling muito se tem utilizado para solucionar problemas em localidades isoladas, dando uma conotação de validar o saber e as habilidades para interagir e mediar problemas.

No caso do motor de combustão interna starling, mesmo tendo sido superado por outros mais eficientes, a tecnologia e formas de funcionamento do motor ainda é útil para sistemas pontuais, nesse caso, pessoas que não tem energia elétrica suficiente, e que demandam de comunicação para conduzir suas atividades laborais e comunicação com familiares, nesse contexto o motor sterling se mostra uma opção possível de subsidiar a alimentação da bateria dos celulares para facilitar o acesso a ligação telefônica, uma vez que ao chegar a cidade, não dispõe de fontes de alimentação acessível nas localidades de portos e feiras. Este trabalho busca discutir os fatores que contribuem para o desenvolvimento de regiões que pouco recebe a assistência do estado e de políticas públicas voltadas para o desenvolvimento local.

## **DESENVOLVIMENTO**

### **MOTOR DE COMBUSTÃO EXTERNA: UM OLHAR SOBRE O MOTOR STIRLING**

A crise energética mundial se propaga e obriga a sociedade, através das entidades de pesquisa e ciência, a buscar soluções mais equilibradas frente aos problemas ambientais, a utilização das tecnologias e outras formas de geração de energia movem a iniciativa de energia renováveis aquelas que se mostram eficientes devido a oferta abundante de recursos. Atualmente, essas fontes alternativas de energia são fatores de muito estudo e dinamismo, pois a alternativa leva a pensar num melhor trato ao ambiente, oferta de vida mais digna, e opções de melhor utilização das tecnologias disponíveis. É sabido que o organismo dedicado ao fator equilíbrio no planeta tem buscado alternativas de atingir cada vez mais pessoas, diminuindo o isolamento das comunidades e buscando integrar o saber universalizado. Mas essa tarefa não é simples e tampouco fácil de realizar, pois regiões de difícil acesso aonde as políticas públicas não chegam a ser efetivas se configuram o garagalo dos problemas dessa natureza.

A tecnologia não chega eficazmente a todos os setores, por essa razão adaptações devem ser implementadas para minimizar limitações que causam transtornos às pessoas, é o caso das comunidades ribeirinhas afastadas dos grandes centros urbanos. A geração de energia e utilização das tecnologias são realidades nos mais variados ambitos sociais e a alternativa onde falta essa geração é utilizar sistemas pensados para solucionar problemas localizados com um enfoque pontual.

Partindo dessa necessidade, se especula formas de geração de baixo custo e eficiência razoável para produzir soluções. O motor Stirling tipo Gama alvo de análise neste trabalho é uma dessas alaternativas que se mostram eficientes em situações de dificuldades, visto que sua funcionalidade é de fácil acesso e seus custos se mostram razoáveis para sustentar a garga que se propõe. A história registra que no ano de 1816, Escócia, Robert Stirling inventou o motor que recebeu esse nome em homenagem ao seu mecenas. Na época de sua descoberta foi mutio celebrado a inclusão de um motor que se mostrou mais seguro que os motores a vapor existentes, pois o princípio básico de seu funcionamento era pelo nível baixo de pressão.

Sobre o motor Stirling, BARROSI (2001) em seus estudos descreve que seu uso mais comumente acionado se deu até meados do ano 1920, período de descoberta de novos motores de combustão interna, elétricos que o tornaram fora de competitividade. Com novos papéis e padrões de funcionalidade que espelhava para os novos motores, o motor Stirling teve sua escala de produção limitada, pois a indústria prioriza a produção em larga escala de produtos que potencializem vantagens, no caso do motor stirling, problemas como dificuldades em vedar os cilindros, por exemplo, era um impedimento sério, pois a alocação de materiais adaptados para adequar o funcionamento gerava custos e dedicação em estudos, logo, num universo competitivo, problemas que dificultavam a operação do motor sob pressão e altas temperaturas, foram levando a não utlização mais efetiva do motor stirling.

À medida que o tempo se passou e a descoberta de novos motores, menos atrativo era a utilização dos motores srtiling, como destaca HIRATA (1995) que o motor Otto, inventado em 1877 e o diesel em 1893, foram amis efetivos em razão da potência mais adequada que

sucumbiram ainda mais a utilização do motor stirling em larga escala (DRUMOND, 2017).

Mas qual a razão de se utilizar um motor que ao longo do tempo historicamente foi abandonado por impedimentos estruturais e de potência? A razão é óbvia, dentro de uma escala de soluções que problemas são detectados a engenharia tem que buscar soluções, então conciliando a condição de funcionalidade simples e o baixo custo de adaptação, os motores Stirling recebem atenção especial na classe acadêmica, pois muitos trabalhos são executados para mostrar as aplicações de tais motores como destaca BARROS (2004); WILKE (2004); BARROS (2005); SANTOS (2012) entre outros que destacam as aplicações dos motores Stirling em setores diversos sempre voltados a solucionar problemas pontuais e versáteis, visto que, a combinação de menor custo de manufatura e a relação da potência gerada que não chega ao nível dos motores de combustão interna, mas que são suficientes para gerar soluções em sistemas adaptados.

A utilização de materias inovadores, como o aço inoxidável, o avanço dos estudos da área de engenharia e materiais levou ao desenvolvimento de motores mais baratos e mais eficientes, quanto ao motor Stirling, como relata BARROS (2018) após a segunda guerra Mundial, esses mecanismos muitos corroboraram para a explicação da operação do ciclo do motor, acionando tecnologias mais adaptadas para aumentar a capacidade e diversificar o uso de combustíveis, o que tornou atrativo novamente sua utilização.

Para a utilização do motor Stirling as vantagens que se pode notar pelo seu uso, se destaca algumas que são apresentadas nos trabalhos de DIAS (2016) e CAETANO (2018): O Motor Stirling é silencioso, sem vibrações, devido interiormente não ocorre explosões, por essa razão não se faz necessário manutenção regulares; é menos poluente quando comparado com os motores de combustão interna; a geração de energia se dá por combustível que manifesta uma fonte de calor constante; apresenta alta capacidade de diversificação de combustíveis; no seu funcionamento o desgaste interno é relativamente baixo por isso o consumo de óleo lubrificante também é mínimo; outra vantagem é pela possibilidade de diferentes arranjos físicos, permitindo diversificar as formas de operação; desses arranjos pode gerar largo valor de eficiência energética e toda a sua estrutura é

simples, permitindo que a utilização seja descomplicada e apta a adaptações.

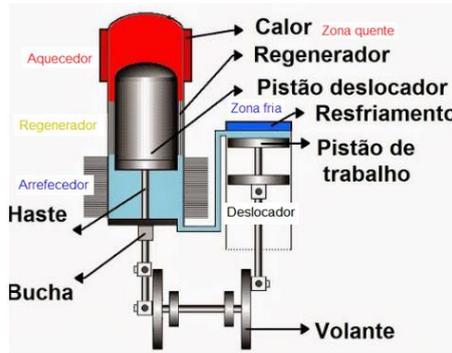
Para VIDAL (2012) e DIAS (2016) as desvantagens para a utilização do Motor Stirling pode ser considerada a dificuldade inicial de rotação, pois a existência de grande variação de movimento instantâneo, o que inviabiliza sua instalação em veículos, por exemplo; outro fator limitador é o sistema de vedação, pois precisa de vedação pontual das câmaras que acomoda os gases de trabalho, caso contrário a contaminação do gás pelo lubrificante, pode comprometer o funcionamento, uma vez que o rendimento do motor Stirling se desenvolve em torno da pressão do gás, que sabendo do princípio isobárico, se a pressão for alta e a vedação deve suportar uma força elevada, por isso a dificuldade de se vedar perfeitamente; além dos fatores citados, pode ser o custo uma desvantagem, uma vez que esses motores deixaram de ser utilizados, seus componentes ficaram mais difíceis de obtenção e quando comparado a oferta e procura para outros motores, essa perspectiva pode ser mais caro em relação ao motor a diesel, por exemplo, de potência similares, mas fazendo uma procura mais minuciosa e organizada esse fator custo pode ser atenuado.

## **COMO FUNCIONA O MOTOR STIRLING?**

Para essa discussão é necessário compreender quem são os moteres os Motores Stirling, como são classificados, entre outros aspectos. Então, de acordo com os cilindros e pistões, os motores stirling podem ser do tipo Alfa, Beta e Gama (BEATO, 2018). Quanto ao mecanismo de operação básica, os moteres Stirling no geral apresenta um mecanismo de operação dinâmico que os motores a vapor da época da invenção, o que motivou seu inventor a melhorar o rendimento do motor, dessa maneira ela propôs a inserção de um regenerador térmico com a função de um trocador de calor regenerativo, esse mecanismo seria responsável pelo armazenamento e transmissão de endotérmica de calor ao fluido de trabalho na realização do ciclo, sustentando assim uma melhora no rendimento (DIAS, 2016).

Dentre a diversidade dos motores Stirling, o motor do tipo Gama foi selecionado para esse estudo pelo fato da diferença nas configurações, quando comparados com os do tipo Alfa e Beta que são

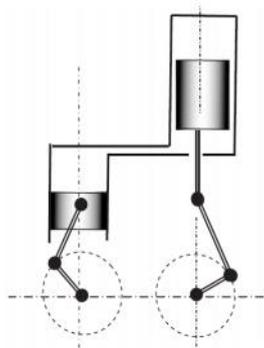
amplamente discutidos em inúmeros trabalhos (; SILVA, 2019; PEREIRA, 2015; BUOSI, 2016). A peculiaridade que motivou a escolha do moter do tipo gama é que apresenta aspectos mais simples, dentre eles o destaque vai para um pistão de trabalho, um deslocador. A figura 1 mostra o esquema de configuração do motor Stirling tipo gama.



**Figura 1.** Sistema de configuração do Motor Stirling do tipo gama.

Fonte: <https://images.app.goo.gl/n4R4UBWm>. 2019 (adaptado)

O detalhe que identifica o critério de escolha do motor tipo gama é que o deslocador é instalado no cilindro que possui em sua extremidade superior e inferior, os permutadores de calor de aquecimento e arrefecimento, nessa mesma ordem e interliga ao outro cilindro, dessa forma o pistão de trabalho é instalado. Quando se observa a figura 2, destaca a simplicidade do motor stiling do tipo gama que apresenta estrutura similar ao tipo beta, porém com os pistões montados em cilindros diferentes.



**Figura 2-** Esquema básico do motor Stirling tipo gama.

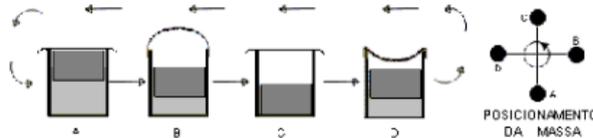
Fonte: Dias, 2016.

Sobre o aspecto funcional do motor stirling do tipo gama, DIAS (2016) destaca que o deslocador se move em direção ao ponto morto superior fazendo o fluido migra para o cilindro frio. Ao movimentar o pistão de trabalho, o movimento desloca o fluido em direção ao ponto morto superior comprimindo-o e impede a entrada de calor para a fonte fria, quando o pistão de trabalho chega ao máximo do ponto morto superior deslocando o fluido, este é pré-aquecido no regenerador, só então é liberado no espaço de expansão. Quanto ao gás esse sofre expansão, visto que o calor recebido de fonte externa ocasiona a realização do trabalho que age sobre o pistão, movendo-o em direção ao ponto morto inferior. O deslocador que se movimenta em direção ao ponto morto superior força a passagem do fluido pelo regenerador onde é pré-arrefecido, cedendo calor para o regenerador. Todo o funcio do Motor Stirling é executado como uma produção produção de trabalho, pois acontece a partir de uma mudança de temperatura dos gases em função das variáveis que agem sobre ele, e à medida que as mudanças de temperatura e a expansão do volume do gás acontecem, gera o efeito trabalho, ocasionado pela manipulação de válvulas. No resfriamento e o no aquecimento dos gases, a alternância que é provocada aciona uma contração cítrica e proporciona uma expansão do sistema, fazendo o motor funcionar, trabalhando por ciclo termodinâmico relacionado a quatro fases e estas fases são executadas em dois pistões.

De acordo com BARROS (2004), FERNADES (2010) e DIAS (2016) o principio de funcionamento do motor Stirling é baseado em um ciclo fechado, onde o gás de trabalho é mantido dentro dos cilindros e o calor é adicionado e removido do espaço de trabalho através das paredes destes cilindros. Na compressão isotérmica ( $A \rightarrow B$ ) o deslocador segue na direção do ponto morto superior deslocando o fluido até o cilindro frio, segudo pelo pistão de trabalho que se movimenta rumo ao ponto morto superior comprimindo o fluido que impede o que o calor migre para a fonte fria; no aquecimento isocórico ( $B \rightarrow C$ ), o pistão de trabalho atinge o seu máximo no ponto morto superior fazendo com que o fluido seja deslocado para um pré-aquecido no regenerador e só então é conduzido a entrar no setor de expansão; na expansão isotérmica ( $C \rightarrow D$ ) ao receber o calor da fonte externa, o gás se expande e realiza o trabalho sobre o pistão, movendo-o na direção ao ponto morto inferior; e no resfriamento isocórico ( $D \rightarrow A$ ) o deslocador ao movimentar-se

rumo ao ponto morto superior aciona a passagem do fluido pelo regenerador proporcionando um pré-arrefecido, nesse processo doa calor para o regenerador que segue o ciclo.

Os processos termodinâmicos que o gás atravessa no cilindro são apresentados na figura 3, demonstrando as relações que demandam no ciclo de funcionamento do motor.



**Figura 3-** Representação esquemática do ciclo termodinâmico.

**Fonte:** Fernandes (2010).

De acordo com CULP (1991); MORAN (1995) e FERNADES (2010) o ciclo consiste de quatro processos internamente reversíveis –processos nos quais o sistema e as vizinhanças possam retornar ao seu estado inicial depois de ter completado o ciclo – dois isotérmicos e dois a volume constante:

A → B: Expansão isotérmica a temperatura constante (temperatura da fonte quente de onde recebe calor).

B → C: Resfriamento a volume constante

C → D: Compressão isotérmica a temperatura constante (temperatura da fonte fria, para onde perde calor)

D → A: Aquecimento a volume constante

A forma de funcionalidade do motor Stirling é um forte motivador para a utilização em sistemas que precisam de motores adaptados para gerar energia em razão de seu fácil mecanismo e bons resultados. Não há limites para áreas de aplicação dos motores Stirling que vai desde geração de energia a sistemas mais complexos, aplicados me agricultura, pecuária, entre outros.

## **MOTOR STIRLING, COMPONENTES E RELAÇÕES.**

Aqui se mostra as particularidades do moto, pois basicamente qualquer que seja o tipo, existe padrões de componentes principais para o funcionamento, essas partes são primordiais para a utilização do motor. Quanto ao motor Stirling, consiste numa estrutura montada com duas

câmaras pistões, sendo que dentro de uma dessas câmaras são confinados os gases que produzirão o trabalho, esses gases passam por processos diversos, sendo o cíclico de expansão, resfriamento, compressão e aquecimento, acionados por uma fonte de energia calorífica externa. Esse gás sofre deslocamento e esse movimento alternado entre os pistões transmite uma forma de força que aciona o virabrequim, que ao movimentar-se converte energia térmica em energia mecânica.

Esse motor, simples e dinâmico é formado por diversas combinações que se pode destacar: o regenerador, os permutadores de calor e aquecimento de arrefecimento, pistões de trabalho, virabrequim, deslocador, biela e volante. Esses componentes são suficientes para gerar energia a partir do trabalho dos gases em deslocamento. Dentro da perspectiva de operação do motor Sterling, o regenerador se trata do componente capaz de armazenar calor durante parte do ciclo e no restante do processo, o que habilita a devolução do gás confinado nas câmaras. Dessa forma, a matriz do regenerador absorve calor do fluido de trabalho, pelo aquecimento, antes dele se deslocar para a zona fria e conseqüentemente, e quando o fluido resfriado retornar para a zona quente, o próprio regenerador se encarrega de entregar o calor ao fluido (VELAZQUEZ, 2007).

No aspecto da permutação de calor de aquecimento e arrefecimento, LLOYD (2009) destaca que o arrefecedor é o responsável pela permutação de calor que se dissipa do fluido no período da compressão. A refrigeração é feita em geral pela presença do ar, pelas cavidades de escape, ou ainda, quando conveniente com água corrente, a forma de refrigeração pode ser feita de maneira livre ou direcionada, mas o aquecedor se encarrega de transferir calor da fonte externa para o fluido de trabalho durante a expansão.

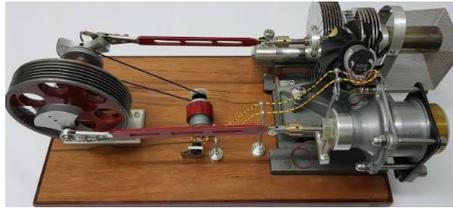
O processo de transição de gases e a relação com a pressão, são necessários aportes que permitem a devida troca de calor e os permutadores devem apresentar um dinamismo entre volume e superfície, como fator amplificador, visto que, o contato do fluido com a superfície do permutador pode acionar fatores que interfira no ciclo do motor, na ocorrência, o dimensionamento da relação entre superfície e volume, deve ser ajustada para que as seções dos permutadores adquiram um pequeno diâmetro causando a queda de pressão dentro

dos trocadores devido a fricção do fluido, causando a perda de bombeamento.

A respeito dos Pistões de trabalho se utiliza a energia gerada pela expansão útil para a realização da compressão do fluido, visto que está localizado na zona fria do motor e no formato de anéis de vedação de qualidade ao seu redor para evitar fuga de gás. Já o deslocador é capaz de deslocar o fluido de trabalho da zona quente para a zona fria, nesse espaço de deslocamento é conveniente estabelecer um gradiente de temperatura devido à presença de impacto de fontes divergentes. Com relação ao virabrequim ou eixo de manivelas que se caracteriza como o eixo central do motor, este recebe a força gerada pelo movimento dos pistões e a converte em torque, e proporcionando a rotação do eixo, este por sua vez, recebe inúmeras opções, visto que sua tendência é sofrer torções e flexões o que culmina na vibração em seu movimento, o virabrequim é posicionado sobre mancais, que mecânicamente, apoiado na base de apoio, passa a deslizar ou rolar no sistema, gerando um nível baixo de atrito para o eixo.

Outro componente importante é a biela cujo papel é transformar o movimento linear do pistão e do deslocador em movimento rotacional ao virabrequim, uma vez que o pistão e o deslocador estejam interligados ao virabrequim através da biela, tem uma forte tendencia de apresentam defasagem em torno de  $90^\circ$  entre si. O que parece ser aceitavel, quando LLOYD (2009) indica que a potência de saída não apresenta valor máximo para o ângulo de defasagem fixado em  $90^\circ$ .

Quanto ao volante esse componente mecânico é capaz de armazenar energia cinética de rotação e minimiza os impulsos provocados pelos pistões sobre o virabrequim. No processo de expansão é o volante que acumula energia e depois a libera para execução dos outros intervalos de tempo em que não se produz energia no motor, esse acúmulo de energia favorece o aumento da velocidade angular. Dessa forma, quando carga é conectada, o volante disponibiliza parte dessa energia acumulada à carga, assim, sua velocidade é reduzida. A figura 4 destaca a imagem de um motor Stirling tipo gama montado e funcinando, pelo detalhe é possível verificar a simplicidade do sistema o que motiva os estudos sobre a aplicação deste tipo de motor em sistemas pontuais e de solução de problemas.



**Figura 4-** Imagem de um motor Stirling tipo gama na paltaforma de funcionalidade.

**Fonte:** Quintela, 2017 (adaptado).

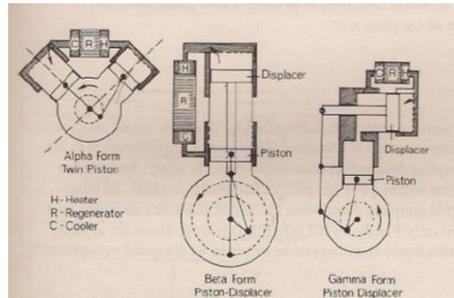
O motor geralmente é modelado observando as especificações e mecanismo de operação, o modelo acima descrito refere-se a um padrão, que aplicado consegue gerar corrente suficiente para alimentar um celular, dende que sejam feitos certos ajustes. De acordo com os trabalhos destacados nos bancos de periódicos e na literatura os estudos levam a entender a importancia dos estudos referentes ao motor stirling, o que destaca o motor do tipo gama é a simplicidade de operação, mas de modo geral os motores stirling podem ser utilizados em varias aplicações. Assim; SILVA (2019); SANTOS (2015); DIAS (2016); CRESTANI (2016); MEDINA (2017); BUOSI (2016); DE FREITAS LIMA (2017); BEATO (2018); CRESTANI (2016). e outros trabalhos destacam que os motores stirling são muito versáteis e possiveis de aplicações diversas, basta elaborar um projeto que permitam adequar as condições de funcionamento.

Embasado nas informações que tecem a capacidade de adequações para os motores stilirling e suas variações, a literatura destaca que eles são amplamente estudados e comparados com sistemas mais recentes, tanto no quesito potência, custo benéfico, adequações e combinações, uso sustentável de combustíveis e outros. A tecnologia e os avanços da ciência permitem que profissionais, com a capacidade criativa e adaptativa possa aproveitar materiais ou dispositivos considerados obsoletos, para aplicações úteis e de impacto para pessoas que não recebem assistência do estado como seria devido, seja pelas dificuldades geográficas, seja pela inoperância da distribuição das políticas públicas em igualdade.

A forma de funcionalidade dos motores Srling é o fator atrativo em sua escolha para estudos e aplicações, uma vez que o fator

termodinâmico pode ser dinamizado e re combinado para produzir melhor eficiência e aplicações diversificadas. O mesmo destaca que:

A estrutiração do motor Stirling mostra que o motor gama incorpora ambos os motores alfa e beta. A figura 5, destaca o esquema que compara os tipos de motores.



**Figura 5.** Design dos três tipos de motores Stirling: tipo alfa, tipo beta e tipo gama.

Fonte: (HOOPER e READER, 1983).

Diante desse cenário, fica destacado porque o motor Stirling foi selecionado pelo trabalho, pois ele apresenta características intrigantes que permitem adaptações e o exercício de testes para aplicações diversas, valorizando a capacidade de profissionais no modo de criar, redimensionar e dinamizar processos.

## METODOS EMPREGADOS

Foi empregada neste estudo, uma metodologia qualitativa, com característica documental, pois o pretende comparar a capacidade de utilização do motor stirling do tipo gama no carregamento de celulares, sendo o trabalho dividido em etapas:

- Levantamento teórico a cerca dos motores Stirling, com destaque ao do tipo Gama, um pouco de sua trajetória e a utilização em trabalhos acadêmicos de referência, como forma de sustentação de utilização da tecnologia e a comparação dos fatores pró e contra de sua aplicação.
- Descrição do motor Stirling, diante comparando os dados em lietratura de aplicação de testes para verificar o

comportamento do motor e a verificação da geração de carga dentro da necessidade que se pretende subsidiar, o estudo focou no modo de verificar a capacidade de geração de tensão suficiente para sustentar a carga da bateria do celular. Dentre as provisões e testes, alguns se mostraram ineficientes, pois não atingiram a tensão esperada e suficiente para manter a carga na bateria, mas, outras tentativas se mostraram promissoras, visto que, nos trabalhos o sistema como pensado, quase sempre, requer adaptações, sendo aquele motor que apresentou melhor condição de manter a carga da bateria foi selecionado. Nesse caso foi preciso analisar a especificação de cada motor, observar a sua tensão meticulosamente, pois o carregamento do celular requer uma tensão mínima de pelo menos cinco (5) volts. Verificado esses aspectos norteadores, é possível selecionar o motor Stirling capaz de gerar uma rotação de saída no eixo do volante satisfazendo a tensão mínima para garantir estabilidade de carga da bateria do celular..

- Uma vez escolhido o motor, se buscou na literatura trabalhos que dinamizam as necessidade de identificar os problemas persistentes, estudá-los e corrigi-los. Após sancionar essas etapas de adequações, realizar novos testes, monitorando o fluxo de corrente, fazendo os devidos ajustes e melhorias, alinhando entre outros aspectos os componentes mecânicos e operacionais. Para discutir os pontos de ação no sistema se considera o motor stirling habilitado para gerar a energia capaz de manter a carga necessária nos celulares. Este trabalho busca integrar um padrão analisado nos estudos publicados e analisar os resultados, de modo comparativo, em aparelhos de variadas formas e característica para se conciliar as formas de alimentação e manter a carga em aparelhos diversificados. A perspectiva é trazer informações que insiram o motor Stirling dentro de uma escala de aplicações e recombinações, utilizando o conhecimento como premissa.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

Como visto na figura 4, o motor Stirling tipo Gama é resultado de testes e análises de componentes, e como se trata de um aprimoramento de utilidade de um dispositivo, os estudos consultados demonstram que houve muita variação dos resultados, por essa razão é necessário produzir um layout adequado para cada aplicação que se pretende inserir, pois este trabalho tende a levantar argumentos de organização de um motor com capacidade para manter carga em celulares tipo smartphones.

Observando as aplicações relacionadas ao motor Stirling nessa área de manutenção de baterias de celulares destaca o trabalho de MENDONÇA (2017), SOUZA (2018) pois o motor apresenta problemas de ordem funcional, mas outros autores como BARROS (2004, 2005); DIAS (2016); WILKE (2004); MAIA (2018) destacam que as aplicações dos motores Stirling são viabilizadas para várias aplicações, seja na geração de energia, seja em processo automotivos entre outros.

Nesta proposta foi avaliar a aplicação do motor Stirling tipo gama para carregamento de celulares, da bibliografia consultada foi visualizado que, inicialmente, os testes apresentam resultados que não sustentaram o previsto, uma vez que o motor pode apresentar problemas relacionados ao funcionamento, requerendo ajustes, mas pelo princípio da funcionalidade as partes formam possíveis arranjos adequacionais, fazer melhorias no resfriamento do motor, por exemplo. Sobre a tensão gerada, a literatura relata que a capacidade gerada inicialmente, não sustenta a carga por determinado tempo, ficando pendente de sustentação da bateria do smartphone, se entende que o radiador não funciona corretamente, comprometendo o sistema gerando aquecimento desordenado, o efeito contrário aos resultados obtidos, estudos e relatos de aplicações foram consultados e constatou-se que, no caso de trabalhos para ajuste da carga, se adicionou uma bateria com uma voltagem de 9 volts SOUZA (2018). O resultado foi que o sistema destravou passando a refrigerar o sistema proporcionando carga para manter o aparelho. SOUZA (2018) relata que o aparelho ficou plugado por algumas horas e a carga sendo adicionada, mas quando se desconectou o aparelho da fonte, a carga ligeiramente se esvaiu. Se procedeu novo ajuste do sistema, se mediu a tensão

novamente e o celular foi novamente posto para carregar e a carga disponibilizada se manteve num intervalo de tempo curto, não se mostrando eficiente nos moldes do motor que se havia projetado para a atividade. Como o objetivo do trabalho se fundamenta em observar e comparar a capacidade de manutenção de carga em celulares utilizando o motor Stirling tipo gama, se procurou na literatura a organização de um motor capaz de carregar um celular em regiões onde a luz elétrica ainda é ineficiente, nos redimensiona que o motor precisa de mais adaptações, pelo fato de carga ser gerada e o sinalizador do aparelho celular demonstrar que está sendo carregado, como já havia sido sinalizado por vários trabalhos (MENDONÇA, 2017; SOUZA; 2018), que se mostrou necessário corrigir as condições de manutenção de carga.

Este trabalho mostrou-se desafiador, uma vez que pretende apresentar soluções, baseados em experiências relatadas na literatura, para utilização dos motores stirling para carregamento de celulares, não tem caráter de testar o motor alvo do trabalho, mas demonstrar sua flexibilidade de aplicação e comparar os resultados destacados. A análise nos resultados se observou que o motor gera uma carga que oscila em torno de 3,0 a 4,0 volts, como citado na teoria, sabe-se que para manter a carga de um aparelho celular é necessário pelo menos 5,0 volts. É destacado na maioria dos estudos que, ao voltar para a bancada para estudar os fatores que limitam a geração de uma carga eficiente, novamente novos estudos são reajustados e com a identificação dos pontos falhos do motor se promove novos arranjos e testes. Com o desmonte e montagem novamente do sistema, é possível se organizou o sistema alinhando os pontos de possível fraqueza, que foram destacados, no quesito desvantagens do motor Stirling que se identifica, em função da pressão interna ficar em níveis abaixo do esperado e que o trabalho realizado não sustenta a carga com eficiência. Para os trabalhos de SOUZA (2018); e MENDONÇA (2017) destacam que os resultados foram surpreendentes, pois o motor conseguiu gerar energia suficiente para alimentar a carga do sistema que era alvo de carregamento, no caso de o celular, que quando desconectado da fonte se manteve por um tempo relativamente seguro. É relatado que nos testes vários problemas ainda surgiram, como aquecimento de partes

do motor, vazamento de água e outros, mas que foram solucionados a medida que o sistema era monitorado.

Como observado nos relatos dos trabalhos destacados na literatura, é que o resultado apresentou problemas, inicialmente nos testes, que sempre é possível realinhar e redimensionar os pontos problemas para aprimorar soluções. Os pontos de maior problemas estão relacionados a pressão, pois promove a amplitude das cargas, visto que, qualquer que seja a situação que permita a perda de pressão diminua a eficiência do motor, então, se destaca que ajustando os fatores, o sistema de vedação do motor gera um resultado atrativo, a geração de energia suficiente para carregar o celular e aplicável em situações diversas.

Para este estudo se baseia na forma de produzir carga suficiente para carregar um celular em regiões distantes, mas há uma infinidade de aplicações onde a presença de um motor ajustável pode solucionar problemas. O motor Stirling tipo beta é flexível e permite que estudantes, profissionais produzam adequações que possam ser aplicados em situações indefinida, pois depende do olhar do profissional para direcionar as aplicações.

## CONCLUSÃO

Este trabalho se mostra uma busca de compreensão da utilização do motor Stirling do tipo gama para a alimentação da bateria de celulares, para tanto buscou na literatura trabalhos que testaram a eficiência do motor Stirling para a geração de energia para solucionar um problema bem peculiar da região amazônica, uma vez que se observou na literatura, pouca atividade que destaca a utilização de tais mecanismos para solucionar situações problemas. A escolha do motor Stirling se deu justamente pelo fato da literatura relatar problemas de funcionalidade, mas que mostra suas aplicações em vários ambientes logrando certa eficiência, por isso a motivação de compreender a funcionalidade da máquina, entendendo os fatores que explicitam o motor, baseado nas especificações já conhecidas para solucionar um problema. Mas qual o diferencial de se utilizar um sistema que já foi testado anteriormente? A medida que se questiona processos que foram limitados por problemas, se faz desafiador o seu aperfeiçoamento, Nesta proposta se

buscou questionar os defeitos e as vantagens comparando as formas de utilização do motor e sua diversificação. A ideia é dinamizar as falhas e que discutir novas soluções, como percurso, se deparou com o desafio de má funcionalidade do motor, problemas estruturais graves que sobressaem a situação a que se pretende alcançar, cabe a engenharia questionar, discutir e buscar soluções. Mas o papel do engenheiro é visualizar o desafio e se posicionar sobre ele, entender que na sua mão está a possibilidade de sucesso ou fracasso e nesse trabalho ficou evidente que a obseção pela conquista é uma causa que vem da persistência, pelos relatos tudo tende ao fracasso, mas os trabalhos foram embasados em teorias reais, o que levou a apresentar resultado tão desajustado? São perguntas que recebem resposta à medida que se recorre a teoria, se reajusta os passos e responde aos questionamentos.

Com base nos relatos, na compilação dos dados coletados em sites, livros e periódicos se entende ser possível construir soluções utilizando o motor Stirling do tipo gama, pois é destacado que mesmo apresentando problemas de funcionalidade é possível redimensionar pontos para aprimorar as aplicações. No caso de celulares é conveniente utilizar a ideia para promover soluções pontuais de baixo custo e aplicação de saber dentro das comunidades da Amazônia.

## REFERÊNCIAS

1. AGUIAR, Wilson Mansur de, **O uso de fontes alternativas de energia como fator de desenvolvimento social para segmentos marginalizados da sociedade**. Tese de doutorado, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2004.
2. BARROS, Robledo Wakin. **Avaliação Teórica e Experimental do Motor Stirling Modelo Solo 161 Operando com Diferentes Combustíveis**. Itajubá, Instituto de Engenharia Mecânica, Universidade Federal de Itajubá, 2005.
3. \_\_\_\_\_. **Uso de biomassa como combustível para acionamento de motores Stirling**. Proceedings of the 5th Encontro de Energia no Meio Rural, 2004.
4. BEATO, Lucas Boacnin. **Uso de motores Stirling para recuperação de energia em propulsores navais: Avaliação da sustentabilidade**. 2018.
5. BUOSI, Diogo Cesar Franzoi. **Reprojeto de motor Stirling tipo gama didático**. Trabalho de Conclusão de Curso. Universidade Tecnológica Federal do Paraná, 2016.

6. CAETANO, Bryan Castro. **Estudo da influência das dimensões do pistão deslocador nos parâmetros de desempenho de um motor Stirling do tipo beta**. Acta Mechanica et Mobilitatem, v. 2, n. 4, p. 20-26, 2018.
7. CULP A. W. **Principles of Energy Conversion, Singapore**, McGraw-Hill Series in Mechanical Engineering, 1991.
8. DA SILVA, Jonas Cordeiro; HOFFMANN, Ronaldo. **O uso do ciclo Stirling no aproveitamento de fontes térmicas**, 2013.
9. DE FREITAS LIMA, Paulo Henrique de Freitas Lima, P. H., Santos, A. C. Á., da Cunha, F. A., & Brasil, A. C. D. M. **Análise de um Motor Stirling Através de um Modelo Adiabático e de um não Adiabático**. v. 2, n. 11, p. 225-245, 2017.
10. DIAS, Laura Vitória Rezende, **Modelagem e Análise Experimental de um Protótipo Didático de Motor Stirling**. Dissertação de mestrado, Escola de Engenharia Elétrica, Mecânica e de Computação. Goiânia, 2016.
11. DRUMOND, Carlo Cesar. **Simulação Numérica de um Motor Stirling Rotativo**. Tese de Doutorado. PUC-Rio. 2017.
12. FARIA, Leticia Carolaine. **Motor de Stirling Um Aliado No Processo de Aprendizagem da Termodinâmica**. 2018.
13. FERNANDES, Belquis Luci; DE SOUSA, Rogério Poltronieri. **Motor Stirling**. Revista Ciência e Tecnologia, v. 6, n. 9, 2010.
14. MAIA, Julio Eduardo Paiva Sena; MINEGATTI, Daniel; ATHAYDE, Alexandre. **Confecção de Motores Stirling**. In: Simpósio. 2018.
15. MATIELLO, S.; PAGANI, C. H. P., LEAL, M. L. M., CERRI, F., & MORET, A. D. S. **Energia e Desenvolvimento: Alternativas Energéticas para Áreas Isoladas da Amazônia**. Revista Presença Geográfica, v. 5, n. 1, p. 11-21, 2018.
16. MEDINA, Juan Ricardo Vidal. **Motor Stirling**. Programa Editorial Universidad Autónoma de Occidente, 2017.
17. MENDONÇA, J.P; REGINALDO, J; ALEXANDER, P; ALVES, R; CORREA, T.P. **Motor Stirling**. Instituto Federal de Minas Gerais Campus Arcos. Arcos-MG, 2017.
18. MORAN, M. J., SHAPIRO H. N., **Fundamentals of Engineering Thermodynamics**, USA, John Wiley & Sons, Inc., 1995.
19. OLIVEIRA, Maurício Figueiredo. **Metodologia para aplicação de fontes renováveis de energia elétrica em plataformas marítimas de produção de petróleo e gás natural**. Tese de Doutorado. Universidade de São Paulo, 2013.
20. PEREIRA, Ayan Martins. **Fabricação e estudo de um motor Stirling tipo gama**. Trabalho de Conclusão de Curso. Universidade Tecnológica Federal do Paraná, 2015.
21. SANTOS, Ana Carolina Ávila. **Análise numérica de modelos adiabático e não adiabático em um motor stirling**, 2015.
22. SANTOS, Marco Ricardo Correia dos. **Estudo de um sistema de cogeração com motor Stirling e concentrador solar**. 2012.
23. SILVA, Lucas Ambrósio Paz. **Uso de energia solar como fonte de calor para acionamento de motor stirling de baixa temperatura diferencial na configuração tipo gama em áreas rurais e remotas**, 2019.

Otaniel Ferreira Martins, Erllon de Andrade Fernande, Arleson Silveira de Melo Teixeira, Aline dos Santos Pedraça, João Almeida Pedraça, Amarildo Almeida de Lima, José Yoannis González San Juan- **Motor Térmico de Ciclo Fechado: um Estudo Comparativo para Alimentação de Bateria de Celulares**

---

24. SOUZA, L. R.C.; FERREIRA, G. R.; SANTANA, K.; OLIVEIRA NETO, B. B. **Alimentação de Bateria de um Aparelho Celular a Partir de um Motor Stirling**. I I ETCEECAU Uninorte Laureate- Manaus, 2018.
25. VIDAL, Juan Ricardo Medina. **Análise Teórica do Motor Stirling Amazon visando à otimização do desempenho**. 2012.