



**XX SNPTEE  
SEMINÁRIO NACIONAL  
DE PRODUÇÃO E  
TRANSMISSÃO DE  
ENERGIA ELÉTRICA**

Versão 1.0  
XXX.YY  
22 a 25 Novembro de 2009  
Recife - PE

**GRUPO II**

**GRUPO DE ESTUDO DE PRODUÇÃO TÉRMICA E FONTES NÃO CONVENCIONAIS - GPT**

**GERAÇÃO COM MOTOR STIRLING**

**Cláudio Homero Ferreira da Silva(\*)  
CEMIG GT SA**

**Virgílio Almeida Medeiros  
Cemig D SA  
Vladimir Rafael Mélia Cobas  
UNIFEI**

**André Martins Carvalho  
Cemig GT SA**

**RESUMO**

A biomassa é uma fonte de energia limpa e abundante. Várias tecnologias tem sido desenvolvidas para fazer uso desta fonte na geração de energia elétrica, principalmente considerando-se a questão ambiental e de segurança energética. Dentre essas tecnologias, os motores Stirling se apresentam como uma opção promissora. Este artigo apresenta a pesquisa e desenvolvimento da Companhia Energética de Minas Gerais (CEMIG) junto com a Universidade Federal de Itajubá (NEST/UNIFEI) ocorrida dentro dos projetos de P&D Cemig/Aneel. Os resultados demonstram os avanços e as dificuldades no desenvolvimento do motor Stirling com tecnologia nacional.

**PALAVRAS-CHAVE**

Biomassa, Geração Distribuída, Motor Stirling

**1.0 - INTRODUÇÃO**

A crescente necessidade energética mundial, o quadro de crescimento socio-econômico apresentado pelo Brasil nos últimos anos, as dificuldades de executar o planejamento da ampliação da produção energética e as mudanças em que o setor energético nacional se encontra propicia um ambiente bastante promissor para avanços tecnológicos e de mercado da geração distribuída - GD (1). Essa modalidade de geração é caracterizada por unidades de geração de pequeno e médio porte situadas próximas ao consumidor, podendo estar ou não conectadas à rede.

A utilização da GD apresenta-se como uma alternativa para as concessionárias atenderem a expansão da demanda em algumas regiões afastadas do centro de carga do sistema elétrico, desde que se consiga contar com o adequado suprimento de combustível no local. As soluções tradicionais para o aumento na capacidade de geração, transmissão e distribuição necessitam na maioria das vezes de elevados investimentos e obras demoradas, que requerem um longo tempo para serem finalizadas (2). Além disso, as tecnologias de GD podem apresentar-se como uma opção de rápida execução, agregando também, benefícios sociais, ambientais e de sustentabilidade energética.

Nos últimos anos no mercado internacional, vem crescendo o interesse pela utilização da biomassa para produção de energia elétrica em pequena escala, fundamentada principalmente no carácter renovável dessa fonte de energia. O Brasil é reconhecidamente um país privilegiado por sua diversidade de biomassa e pela disponibilidade de grandes quantidades de resíduo florestal, ou ainda, a possibilidade de criação de florestas energéticas. As tecnologias de conversão que se mostram mais eficientes são: os gaseificadores de biomassa acoplados a microturbinas ou a motores de combustão interna, os motores Stirling (combustão externa), as células a combustível e os sistemas de pirólise (3). Os motores Stirling apresentam como grandes vantagens a flexibilidade

(\*) Avenida Barbacena, n° 1200 – 16º Andar Ala B1 – CEP 30.190-131 Belo Horizonte, MG – Brasil  
Tel: (+55 31) 3506-4340 – Fax: (+55 31) 3506-5044 – Email: chomero@cemig.com.br

da fonte de combustível, a facilidade e a estabilidade de operação, a redução de custos associados com o transporte e o consumo de combustíveis fósseis, o alto rendimento, a elevada vida útil e a menor exigência de manutenções, resultando em um equipamento de melhor custo-benefício. Além disso, esses equipamentos podem contribuir ser utilizados para a ampliação da potência de reserva ou emergência e para minimizar o pico de carga.

A Cemig vem acompanhando desde a década de 1980 a evolução da tecnologia de motores Stirling e sua aplicação nos sistemas de GD. Em 2000, a empresa em parceria com o Núcleo de Excelência em Sistemas Térmicos (NEST/UNIFEI) desenvolveu dentro do projetos de P&D Cemig/Aneel 001, um estudo bastante profundo de avaliação experimental das tecnologias de geração distribuída (2). Esse estudo teve como desdobramento um novo projeto de pesquisa (P&D Cemig/Aneel 123) cujo propósito trata do desenvolvimento, fabricação e testes de um protótipo nacional de motor Stirling de 9 kW com sistema de combustão de biomassa associado(4).

Este artigo apresenta o desenvolvimento desses motores Stirling realizados dentro dos projetos de P&D Cemig/Aneel. O trabalho apresenta um breve histórico acerca da tecnologia (Seção 2). Na seção 3 são apresentados os resultados obtidos da avaliação experimental de motores adquiridos. A Seção 4 descreve os esforços no sentido de produzir um protótipo de motor nacional. A seção 5 comenta sobre as tendências e direções para pesquisa futura. A Seção 6 indica as conclusões e encerrando o artigo, encontram-se as referências utilizadas para elaboração deste trabalho (Seção 7).

## 2.0 - MOTOR STIRLING – BREVE HISTÓRICO

A criação desse motor foi feita pelo escocês Robert Stirling em 1816 com o intuito de simplificar a máquina a vapor e também oferecer uma alternativa mais segura à operação das caldeiras (4). No final do século XIX e no início século XX existiam vários desses equipamentos em operação no mundo, com potências de até 4 KW. O problema central enfrentado pelos motores Stirling desde a sua origem esteve relacionado com a transferência de calor e não atingiram o sucesso comercial devido a não se dispor na época de ligas metálicas resistentes ao calor (5). As grandes vantagens que esse tipo de motor apresentava era a maior segurança que os motores a vapor e a facilidade de operação, contudo o desenvolvimento dos motores de combustão interna acarretou um arrefecimento na aplicação dos motores Stirling, que só reviveu o interesse no anos de 1960-1970, visando a redução da poluição ambiental. Nos anos de 1980 foram desenvolvidos pequenos motores, entretanto os mesmos apresentavam grande sofisticação e alto custo (3).

O conceito elementar desse motor é um arranjo mecânico cilindro-pistão e uma fonte de calor que é externa ao cilindro. A Figura 1 ilustra esse conceito. Este motor sempre contém um gás pressurizado no seu interior, que é chamado de gás de trabalho. A potência é gerada não pela queima explosiva do combustível no cilindro, mas pelo aquecimento e resfriamento do gás de trabalho pelo lado interno do cilindro (2). Estes motores possuem maiores eficiências, pois trabalham em ciclo termodinâmico regenerativo. Isto implica que parte do calor entregue no processo de aquecimento do fluido de trabalho vem do próprio calor a ser rejeitado pelo ciclo (5). O ciclo ideal é composto de quatro etapas, descritas a seguir.

1. Expansão isotérmica;
2. Resfriamento isocórico;
3. Compressão isotérmica;
4. Aquecimento isocórico.

Existem diversas configurações constitutivas destes motores (6): Na estrutura alfa o motor possui 2 pistões que são conectados em série pelo trocador de calor de aquecimento, regenerador e o trocador de calor de resfriamento. A concepção dos tipos beta e gama usam um pistão de deslocamento e um de força arranjados em um mesmo eixo.

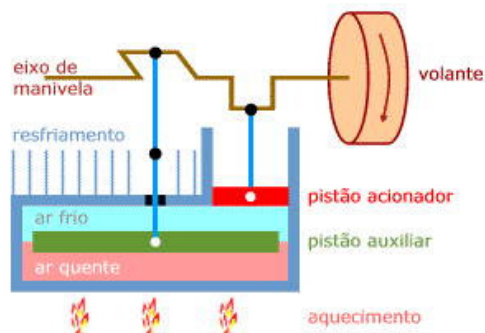


Figura 1 – Funcionamento Motor Stirling.

O motor deve operar geralmente a pressões elevadas para maximizar a potência. Esta operação provoca, naturalmente, problemas na selagem da máquina, fundamentalmente na região de alta temperatura. Nas instalações solares a faixa pressão é de 5 à 20 Mpa sendo que nos motores de biomassa estes valores são bem menores (7).

Como atrativos da tecnologia pode-se indicar: as eficiências globais no patamar de 30% mesmo em carga parcial, o nível de ruído é relativamente baixo, estima-se uma vida útil de 25.000 horas, existe a possibilidade de cogeração, baixas emissões de  $\text{NO}_x$  e CO Deve-se ressaltar o baixo custo de manutenção, estimado em 0.008US\$/kWh que são significativamente menores que os valores de manutenção para motores de combustão interna (10). Por outro lado, somente alguns poucos combustíveis foram testados, não havendo parâmetros relacionados com os resíduos dos combustíveis e operação da unidade; não há resultados práticos em grandes máquinas, apenas unidades de pequeno porte foram testadas. Contudo, certamente a maior barreira para a tecnologia encontra-se no custo de capital que é relativamente alto, estimados na faixa de US\$ 1.500-3.000/kWe.

As aplicações mais recentes se direcionam para a utilização desta tecnologia no o segmento solar, resultando em um equipamento que é composto por espelhos parabólicos e motores que podem alcançar potências de 1 MW. A Figura 2 ilustra um destes equipamentos.

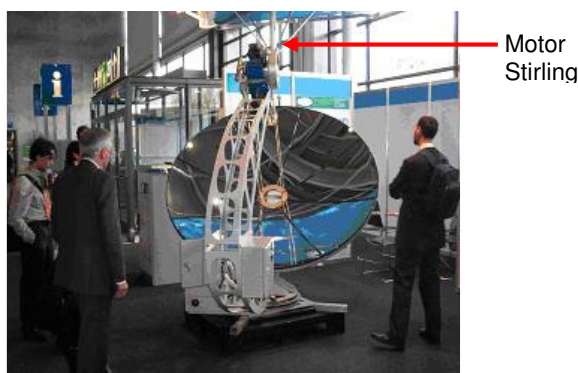


Figura 2 – Motor Stirling e a geração de energia com fonte solar.

Os desenvolvimentos dos motores Stirling no mundo encontram-se principalmente nos seguintes países: Dinamarca, Alemanha, Estados Unidos, Áustria e Nova Zelândia (8). Na Dinamarca, uma empresa vinculada à Universidade Técnica da Dinamarca possui um programa de desenvolvimento concentrado em GD com cogeração utilizando motores Stirling a gás natural e biomassa. As pesquisas encontram-se direcionadas para potências entre 9-75 kW, em motores do tipo beta, usando gás hélio como fluido de trabalho. Nesses equipamentos o gerador é encapsulado no próprio motor. Na Alemanha, encontra-se a Solo *Engine* que produz unidades comerciais de 9 kW, operando com gás natural ou energia solar. A americana STM *Power* produz módulos de geração de 55 kW que podem ser interligados à rede elétrica. Na Áustria, o Instituto de Pesquisas *Joanneum Research* trabalha no desenvolvimento de motores de 3 e 35 kW que operam através da combustão de biomassa. A neozelandesa *Whispergen* desenvolveu um sistema de geração de energia de 750 W de potência operando com diesel e querosene. No Brasil os equipamentos que atualmente são objetos de pesquisa, com finalidade de gerar equipamentos que substituam importação e desenvolvimento nacional de tecnologia, encontram-se no NEST/UNIFEI adquiridos através de projetos de pesquisa e desenvolvimento resultantes da parceria CEMIG/UNIFEI. A seguir serão descritos os desenvolvimentos realizados pelos projetos de P&D.

### 3.0 - AVALIAÇÃO DE MOTORES STIRLING

Para o Projeto de P&D 001 – Avaliação experimental de tecnologias de GD (2000-2006) foram adquiridos dois motores Stirling cujos principais objetivos são mostrados a seguir:

- Determinar o desempenho de um motor Stirling de 1 kW<sub>e</sub> utilizando biomassa como combustível;
- Avaliar um motor Stirling de 9 kW operando com diferentes combustíveis.
- Realizar uma avaliação técnico-econômica detalhada de diferentes sistemas de geração comercial de energia elétrica em pequena escala e a utilização destes sistemas para atender a consumidores rurais;

A Cemig adquiriu os seguintes motores:

- ST 05 G da marca Viebach, configuração Gama. Os equipamentos periféricos foram projetados e montados em Itajubá dentro do projeto de P&D 0001: fornalha, caldeira, trocador de calor, regenerador e radiador. A Potência elétrica é 500W, suficiente para uma família com consumo da ordem de 150 kWh/mês. A tecnologia pode ser aplicada no atendimento a consumidores afastados da rede elétrica, que necessitem maior quantidade de energia. A Figura 3 mostra o ST05 G Viebach instalado no laboratório do NEST. Como

principais resultados: O motor foi ensaiado utilizando uma câmara de combustão para gás liquefeito de petróleo (GLP) (11). Os principais componentes dos gases de exaustão durante os ensaios foram:  $O_2$  (4,2%), NO (238mg/m<sup>3</sup>), CO (26 mg/m<sup>3</sup>) e NO<sub>2</sub> (2 mg/m<sup>3</sup>). A eficiência obtida do motor nos ensaios foi de 10 %, contudo se faz necessário observar que a medição foi feita inclusive considerando-se a partida do sistema. Em ensaios com o motor a quente é possível esperar melhores eficiências. Os resultados de potência mecânica obtidos encontram-se dentro da faixa de projeto do motor, de 350 a 500 W, atingindo uma potência máxima de 450 W. Nos testes utilizando biomassa com aproximadamente 14% de umidade o motor gerou uma potência elétrica média de 200 W , usando um motor de indução trifásico com eficiência de 45%, com potência mecânica do motor em torno de 450 W. Os experimentos indicam ainda a necessidade de modificações construtivas na caldeira de biomassa e do sistema de alimentação da biomassa, a fim de garantir estabilidade na temperatura de operação com a estanqueidade da fornalha.



Figura 3 – Motor Viebach ST 05G instalado.

- Motor SOLO Stirling Engine com potência elétrica de 9kW e potência térmica de 25 kW. Foram adquiridas duas unidades modelo 161 tipo alfa, de ação simples e com dois cilindros dispostos em V usando hélio como fluido de trabalho. O equipamento possui um rendimento de 24% com capacidade de atendimento de comunidades com consumo mensal de até 3.240 KWh (20 residências com consumo de 150kWh/mês) com água quente para banho. A unidade tem aplicação em pequenos povoados, sítios e fazendas. O motor foi testado nos laboratórios do NEST utilizando GLP, gás natural e biomassa. Os experimentos foram planejados para análise em diferentes regimes de operação, definindo-se para tal a instrumentação necessária. Para o GLP os resultados indicam um potência máxima de 9,31 kW e eficiência de 16,38%. O fator de maior influência nesse caso é a pressão de operação (12). Foi observado durante os ensaios que o motor Stirling comporta-se de forma similar a tecnologias mais eficientes, como por exemplo, os motores a Diesel de baixa rotação. Por outro lado, os motores Stirling apresentam uma menor variação de eficiência entre a carga parcial e a carga nominal que outras tecnologias, como por exemplo, as turbinas. O ponto ótimo de consumo específico foi de 7 kW de potência elétrica. A análise dos gases de saída indicam aproximadamente o seguintes valores:  $O_2$  (2,7%),  $CO_2$  (12%), CO (200 ppm) e NO (120 ppm). Com o gás natural o comportamento manteve-se semelhante aos resultados obtidos para o GLP, apresentando o ponto ótimo próximo do valor de 7,5 kW de potência elétrica e com menores valores de emissões. Para a operação com biomassa, o sistema foi acoplado a uma caldeira e foram necessárias várias modificações nos dutos, câmara de combustão e sistema de controle do motor Solo para adaptá-lo à operação com biomassa. Foram relatados diversos problemas. O funcionamento do motor foi instável, ocorrendo diversas interrupções, sendo necessárias algumas adaptações e modificações para operação experimental. Este sistema precisa de ajustes no sistema de combustão já que usa gás de gaseificação de biomassa e o projeto do motor foi concebido para usar gás natural. A Figura 4 apresenta o motor Solo instalado no laboratório do NEST em Itajubá/MG.

Diante dos resultados e da experiência adquiridas, considerando-se principalmente as dificuldades e oportunidades, foi proposto um novo projeto de pesquisa para construção de um sistema de geração de energia com motor Stirling usando a gaseificação de biomassa.



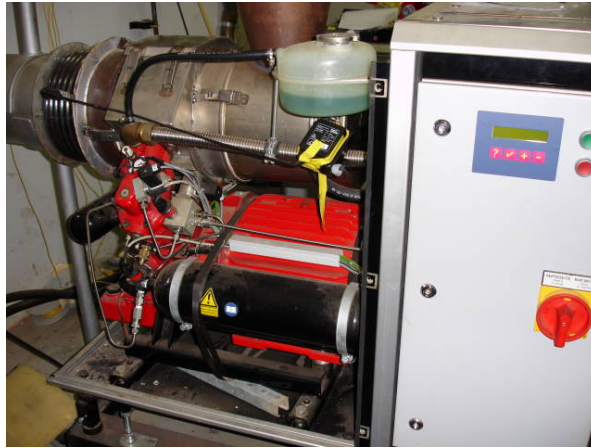


Figura 4 – Sistema com Motor Solo montado.

#### 4.0 - DESENVOLVIMENTO DE UM MOTOR STIRLING COM TECNOLOGIA NACIONAL

O projeto de P&D Cemig/Aneel 123 – “Geração de Energia com Motor Stirling” encontra-se em andamento desde 2004 e tem como principal objetivo o desenvolvimento de um motor, adaptado as condições de operação incluindo regiões isoladas, e fabricação de um protótipo totalmente nacional, englobando o ciclo completo de evolução do produto, desde o seu projeto, até a sua fabricação em escala industrial, o que torna as atividades associadas a esse desenvolvimento especialmente inovadoras e atrativas do ponto de vista tecnológico e industrial. Algumas atividades necessárias para se atingir os objetivos do projeto são descritas a seguir (13):

- A modelagem do sistema, visando a definição das características do novo motor;
- Desenvolvimento, fabricação e testes de avaliação de três protótipos de 9 kW com sistema de combustão de biomassa associado;
- Projetar, construir e testar uma fornalha compacta para queima de biomassa;
- Avaliar a operação isolada, a viabilidade técnico-econômica e possibilidade de fabricação nacional.

Foram realizadas visitas a alguns fabricantes de motores Stirling na Dinamarca e na Áustria. Na Áustria existe um motor Stirling já adaptado para funcionamento com biomassa, na forma de *pellets*, desenvolvido pelo Joanneum Research. Este motor, pela simplicidade de adaptação, foi escolhido como modelo para o desenvolvimento do protótipo nacional através do P&D 123. Após diversos contatos, o pesquisador do Joanneum Research, Dr. Erich Podesser, passou a participar do projeto em uma colaboração bilateral. A Figura 5a mostra o motor austríaco, modelo para os desenvolvimentos do projeto e dos protótipo (Figura 5b). A Figura 6 apresenta um esquema do funcionamento do motor acoplado à alimentação/fornalha de biomassa.



(a)



(b)

Figura 5 – (a) Motor Stirling austríaco (modelo); (b) Protótipo desenvolvido pela Cemig/UNIFEI.

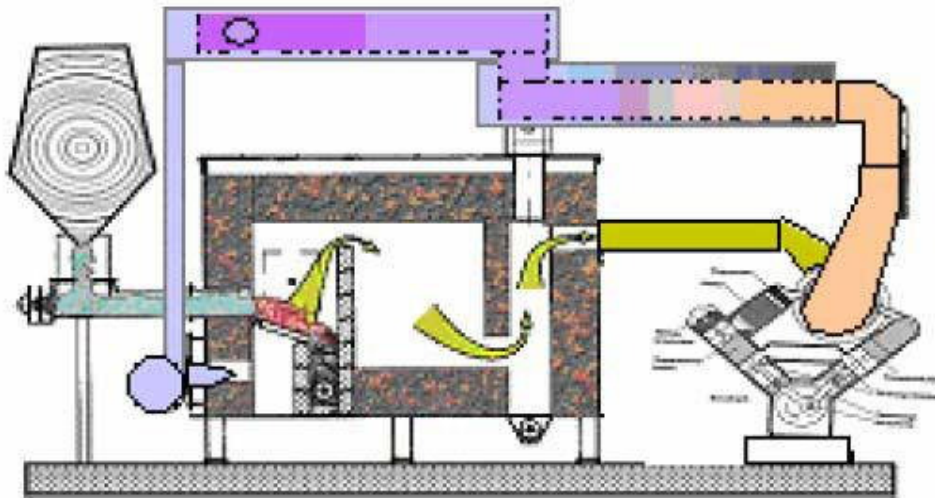


Figura 6 – Esquemático do funcionamento do Motor Stirling construído.

Estudado e modelado o sistema, foram realizadas as definições de tipo do motor, aplicação, fluido de trabalho, mecanismo acionador primário, trocadores de calor, integração com o sistema de biomassa e gerador elétrico, considerando-se principalmente que os critérios de seleção devessem aliar simplicidade, confiabilidade e baixo custo (14) conforme descritas as diretrizes a seguir:

- Motor Stirling tipo alfa fabricado a partir de um motor de ciclo Otto usados em motocicletas modelo Cagiva. Com grandes vantagens dessa opção pode-se citar: o custo e a disponibilidade no mercado nacional;
- Potência de eixo de 8 kW;
- Fluido de trabalho: hélio;
- Fornalha de biomassa de 50 kW e um consumo de 17 kg/h;
- Trocador de calor de liga de aço austenítico cromo nickel apropriado para temperaturas entre 600-850 °C.
- Regenerador de arame de aço;
- Gerador de indução, operando com frequência síncrona constante e tensão regulada;

Foi realizada a busca de patentes, conforme relatório de INPI (14) de forma a se levantar os registros da produção industrial de motores de forma a contribuir para o direcionamento no desenvolvimento do protótipo.

Alguns problemas ocorreram durante os testes e construção do protótipo. Inicialmente ocorreu a quebra da haste de ligação entre o motor Stirling e o pistão Ducatti devido ao ajuste entre as peças a quente, havendo a necessidade de fabricação de peças mais robustas. O consumo de biomassa apresentou-se relativamente elevado, pode-se inferir que a causa tenha sido a não utilização de sistema de pré-aquecimento do ar da fornalha. Os testes não mostraram a presença de incrustações significativas de fuligem provenientes da combustão de biomassa. Contudo, o principal problema ocorrido foi a danificação do sistema de transmissão de movimento (pistão haste) entre o virabrequim e o pistão quente do motor Stirling (16). Depois dos reparos o motor encontra-se em funcionamento normal. No momento, os esforços se concentram na melhoria do rendimento do equipamento, através de modificações estruturais da parte térmica.

#### 5.0 - TENDÊNCIAS E DIREÇÕES PARA PESQUISA FUTURA

No Brasil a visão de futuro apresenta como grande objetivo a ser perseguido nas ações de pesquisa, desenvolvimento e inovação para a consolidação de um equipamento comercial de produção nacional.

Em termos mundiais percebe-se de que o estado da arte encontra-se nos motores Stirling associados a discos parabólicos concentradores de energia solar, conforme mostrado na Figura 2 (17). Contudo, as possibilidades de aplicação destes motores não está restrita a sistemas solares ou de biomassa. Pelas suas características pode-se aplicá-lo a sistemas com aproveitamento de calor de processo, que hoje é usualmente rejeitado, ou mesmo em aplicações nucleares de pequeno porte e espaciais.

#### 6.0 - CONCLUSÕES

Os projetos de P&D Cemig/Aneel 001 e 123 tratam do estudo e desenvolvimento de motores Stirling. Houve a capacitação de mão-de-obra, o fortalecimento do centro de excelência em sistemas térmicos (NEST/UNIFEI), o mapeamento da tecnologia no sentido de fornecer subsídios à concessionária de forma a identificar oportunidade no aproveitamento energético da biomassa, no uso de sistemas de energia com motores Stirling e ainda o

fomento para a indústria nacional no desenvolvimento e nacionalização de tecnologia. A execução destes projetos exigiu recursos da ordem R\$4 Milhões, formando diversos mestres e doutores, como diversas publicações científicas divulgadas em trabalhos científicos em diversos fóruns. Foram realizadas as aquisições de unidades de motores Stirling Viebach e Solo. Estes motores foram testados e encontram-se em pleno funcionamento. Um protótipo nacional de motor Stirling tipo alfa de 9 kW acoplado à fornalha de biomassa de 50 kW encontra-se em fase final de testes e ajustes, estando em funcionamento nos laboratórios do NEST. Outros dois protótipos estão sendo desenvolvidos, já considerando a incorporação das melhorias ocorridas no primeiro protótipo. O desenvolvimento de um bloco de motor nacional, sem caixa de marchas, em substituição ao bloco do motor Ducatti também está sendo estudado, para dar maior rigidez e simplicidade ao motor Stirling nacional. Os estudos indicaram as dificuldades, inerentes aos processos reais e experimentais, principalmente os problemas relacionados a materiais construtivos levando-se em consideração a exigência as condições de operação. Contudo, mantém-se a convicção de que se trata de uma tecnologia que contribuirá de forma relevante para a segurança energética e com menores impactos ambientais.

## 7.0 - REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- (1) NEST/UNIFEI, "Avaliação técnico-econômica de tecnologias de geração distribuída com máquinas térmicas - Relatório de projeto", NEST/UNIFEI, Itajubá, Relatório Técnico P&D CEMIG/ANEEL 001 05, Junho 2000.
- (2) Carvalho, A. M., Silva, C. H. F., Lora, E. E. S., Nascimento, M. A. R., Venturini, O.J., Andrade, R.V., Cobas, V.R.M., Microturbinas a Gás, Motores Stirling e Células a Combustível para Geração Distribuída, IV CITENEL, Araxá, 2007.
- (3) Carvalho, A. M. A Volta do Motor Stirling, In: Biomassa Energia dos Trópicos em Minas Gerais, Mello, M. G (Org.), LabMidia/FAFICH, 2001
- (4) Lora, E. E. S, Carvalho, A. M. P&D 123 –Sistema de geração de energia com motor Stirling, Projeto de P&D Cemig/Aneel, 2004
- (5) Nogueira, L. A. H. Ciclo Stirling: Conceitos básicos e sua evolução, curso de motores Stirling, UNIFEI, 2005.
- (6) Cortez, L. A. B., Lora, E. E. S., Gomes, E. O. Biomassa para Energia, ed. UNICAMP, 2008.
- (7) Cobas, V. R. M. Análise Técnico Econômico e Normativo para Implementação da Geração Distribuída, Dissertação de Mestrado-UNIFEI, Itajubá, 2000.
- (8) Aradas, M. E. C. Relatório da Atividades nº III – avaliação experimental de sistemas de ciclo combinado com células a combustive e microturbinas a gás, para geração de eletricidade de sistemas de geração térmica e elétricas em motores Stirling, Estágio Pós-doutoral, NEST/UNIFEI, 2005.
- (9) Barros, R. W., Aradas, M. E. C., Cobas, V. R. M, Lora, E. E. S. Uso de biomassa como combustível para acionamento de motores Stirling, 5º Encontro de Energia no Meio Rural e Geração Distribuída, Campinas, 2004.
- (10) Corria, M. E., Cobas, V. R. M., Lora, E. E. Perspectives of Stirling engines use for distributed generation in Brazil, Energy Policy, Vol. 34, Issue 18, p. 3402-3408, 2006.
- (11)NEST, Avaliação experimental de um sistema de geração térmica e elétrica de motor Stirling operando com gás natural e acoplamento deste com o sistema de gaseificação de biomassa, 3º relatório parcial, 2005
- (12) Barros, R. W. Avaliação teórica e experimental do motor Stirling Solo 161 operando com diferentes combustíveis, dissertação de mestrado, Unifei, 2005.
- (13) Lora, E. E. S., Carvalho, A. M. P&D 123 – Sistema de geração de energia com motor Stirling, Projeto de P&D Cemig/Aneel, 2003.
- (14) Lora, E. E. S., Cobas, V. R. M, Waki, R., Wilke, H. Adaptações do projeto original para operação em região isolada, 2º relatório parcial de projeto, 2005.
- (15) INPI, Relatório de busca isolada, C/INPI/CEDIN/DINTEC/SEBUS/nº277/08, 2008.
- (16) NEST Sistema de geração de energia com motor Stirling, Relatório parcial 6ª etapa, UNIFEI, 2008.
- (17) <http://www.stirlingenergy.com/>, acessado em 02/03/2009 às 08:53.

## 8.0 - DADOS BIOGRÁFICOS

Cláudio Homero Ferreira da Silva

Nascido em Araguari/MG em 04 de setembro de 1973

Engenheiro Químico (2000) e Doutor em Engenharia Química (2009) pela UFU

Empresa: Cemig GT SA – Companhia Energética de Minas Gerais Geração e Transmissão SA desde 1991.

Atual como Engenheiro de Tecnologia e Normalização na Gerência de Alternativas Energéticas

Virgílio Almeida Medeiros

Nascido em Belo Horizonte/MG em 04 de maio de 1958

Engenheiro Eletricista (1991) e MBA em Gestão Empresarial pela FGV (2002)

Empresa: Cemig D SA – Companhia Energética de Minas Gerais Distribuição SA desde 1984

Atual como Engenheiro de Tecnologia e Normalização na Gerência de Alternativas Energéticas

André Martins Carvalho

Nascido em Rio Doce, MG em 04 de janeiro de 1957

Engenheiro Mecânico e Mestre em Administração (2007) pela FDC.

Empresa: Cemig GT SA – Companhia Energética de Minas Gerais Geração e Transmissão SA desde 1978.

Atual como gerente da Gerência de Alternativas Energéticas

Vladmir Rafael Mélian Cobas

Nascido em Santiago de Cuba/Cuba, 03 de Novembro de 1965

Engenharia Elétrica pelo Instituto Superior Politecnico Julio Antonio Mella (Cuba, 1991), e Doutor em Engenharia Mecânica pela UNIFEI (2006).

Atual como professor no Núcleo de Excelência em Sistemas Térmicos – NEST/UNIFEI