

5º CONGRESSO BRASILEIRO DE PESQUISA E DESENVOLVIMENTO EM PETRÓLEO E GÁS



TÍTULO DO TRABALHO:

ANÁLISE ENERGÉTICA E EXERGÉTICA DE UM MICROGERADOR TERMOELÉTRICO SEMICONDUTIVO A GÁS

AUTORES:

**Farias, Sandro R. A.¹; Almeida, Igor M. G.²; Dantas, Marcello A.³;
Fontes, Francisco A. O.⁴; Barbosa, Cleiton R. F.⁵; Silva, Djalma R.⁶**

¹ Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Campus Universitário, Natal-RN,
sandro.farias2@gmail.com

² Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia, Campi Santa Cruz-RN,
igormarcel2002@yahoo.com.br

³ Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Campus Universitário, Natal-RN,
marcello_1984@hotmail.com

⁴ Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Campus Universitário, Natal-RN,
franciscofontes@uol.com.br

⁵ Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Campus Universitário, Natal-RN,
cleiton@ufrnet.br

⁶ Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Campus Universitário, Natal-RN,
djalma@ccet.ufrn.br

INSTITUIÇÃO:

UFRN - Universidade Federal do Rio Grande do Norte

Este Trabalho foi preparado para apresentação no 5º Congresso Brasileiro de Pesquisa e Desenvolvimento em Petróleo e Gás- 5º PDPETRO, realizado pela Associação Brasileira de P&D em Petróleo e Gás-ABPG, no período de 15 a 22 de outubro de 2009, em Fortaleza-CE. Esse Trabalho foi selecionado pelo Comitê Científico do evento para apresentação, seguindo as informações contidas no documento submetido pelo(s) autor(es). O conteúdo do Trabalho, como apresentado, não foi revisado pela ABPG. Os organizadores não irão traduzir ou corrigir os textos recebidos. O material conforme, apresentado, não necessariamente reflete as opiniões da Associação Brasileira de P&D em Petróleo e Gás. O(s) autor(es) tem conhecimento e aprovação de que este Trabalho seja publicado nos Anais do 5ºPDPETRO.

ANÁLISE ENERGÉTICA E EXERGÉTICA DE UM MICROGERADOR TERMOELÉTRICO SEMICONDUTIVO A GÁS

Abstract

The thermoelectric power generation by solid-state, using semiconductor materials, converts thermal energy directly into electricity without moving parts. Although the process still have low energy efficiency, is characterized by high degree of confidence and low maintenance requirements and long life. This paper presents a cogeneration system interesting for application in remote places. The proposed unit uses gas as a primary source of energy and produces power from a thermoelectric generator gas and takes advantage of the dissipative losses to thermal heating. Generator TEG is composed of an infrared burner that heats a battery of thermoelectric modules semicondutores generating electricity cc. The temperature control of the hot side of the modules is done through a proportional controller using a thermocouple sensor to modulate the burner flame infrared. The temperature of the cold side of the modules is maintained through a heat exchanger using a water flow controlled operating system and power cogeneration. The unit was installed in a bench test to measure the performance parameters. The electrical parameters were measured and monitored. An analysis of the system is presented from the analysis of mass balances, energy and exergy. The results were quite satisfactory for the purposes of research.

Keywords: thermoelectric microgenerator, energy analysis, exergetic analysis

INTRODUÇÃO

Ao longo das últimas décadas, o uso racional da energia tornou-se uma questão essencial às políticas de desenvolvimento e à manutenção da sustentabilidade ambiental. Com os grandes potenciais hidroelétricos já explorados, o Brasil tende a diversificar sua matriz para poder aumentar a oferta de energia e garantir o suprimento de sua crescente demanda. As principais alternativas são: a termoeletricidade, as pequenas centrais hidroelétricas e as energias solar e eólica. Dentre elas, a termoeletricidade tem ocupado uma posição de grande destaque, devido às políticas atuais adotadas pelo governo e a descoberta de novas reservas em território nacional dos combustíveis para essa alternativa energética. [8]

De acordo com [9] a geração termoeétrica é bastante atrativa quando comparada às outras tecnologias de produção de pequenas quantidades de energia elétrica, principalmente quando aplicados em áreas remotas. A tecnologia termoeétrica vem ganhando cada vez mais espaço em aplicações de engenharia que requeiram ótima confiabilidade e baixo custo de manutenção.

A utilização do gás natural para geração de energia elétrica vem crescendo em importância no mundo inteiro, sendo considerado o combustível mais adequado para uso em queimadores a gás. Dessa forma, a energia elétrica é produzida a baixo custo, o que torna esse tipo de aplicação economicamente bastante interessante [3].

Segundo a literatura pode-se obter potências de 15 a 550 watts a partir de sistemas termogeradores (TEG's). E essas potências podem ser resultados da combinação de múltiplos TEG's arranjados em paralelo ou em série, de modo a satisfazer aos requisitos de potência.

Um termogerador elétrico desempenha as mesmas funções que um motor-gerador elétrico alimentado por um combustível. Ambos produzem eletricidade para alimentar cargas elétricas. Um gradiente de temperatura é mantido entre a parte quente e a parte fria do módulo termoeletrico.

A análise pela segunda lei da termodinâmica (exergia) tem sido a principal aliada para a investigação do aperfeiçoamento de sistemas térmicos em geral, a qual trata da degradação da energia, a geração de entropia e, conseqüentemente, as perdas de oportunidade da realização de trabalho, identificando os pontos críticos que requerem os esforços principais no sentido de melhorar a performance do sistema. O método da exergia, estima as perdas de exergia ocasionada pelas irreversibilidades, sendo assim uma importante propriedade termodinâmica, pois indica o trabalho útil que pode ser produzido por uma substância ou a quantidade de trabalho necessária para concluir um determinado processo, introduzindo informações a respeito da ocorrência de ineficiências do sistema.

O objetivo deste trabalho é fazer uma análise energética e exergetica de um microgerador termoeletrico tendo como fonte energética um queimador *infrared* a gás natural e avaliá-lo quanto a sua eficiência global.

MATERIAIS E MÉTODOS

Descrição do sistema

A fonte de calor utilizada no sistema proposto é um queimador do tipo *infrared* de 2.250 Kcal/h e GLP como fonte combustível advindo de um botijão comercial de 13 kg. O queimador *infrared* (de 2.250 kcal/h da marca *Jackwal*®), oferece uma troca de calor através da radiação infravermelha associada a um substancial volume de gases aquecidos. Ele é construído sob uma base metálica na qual um leito cerâmico fica inserido, nesse espaço é onde ocorre a reação de combustão. O queimador atua diretamente sobre o módulo termoeletrico, que converte parte desta energia térmica (calor) em eletricidade (cc). O calor não-aproveitado durante a geração de eletricidade é direcionada para o meio ambiente.

A alimentação de gás está instalada na parte externa do laboratório, composto de válvula reguladora de pressão de gás, indicador de pressão de gás e válvula de bloqueio de gás. Conectado ao queimador *infrared*, por meio de mangueira de borracha de 3/8”, especificada para suportar pressão de até 500 psi (3,44 MPa).

Na conversão de energia térmica em elétrica a partir do gradiente de temperatura entre as fontes quente e fria, utilizou-se o módulo termoeletrico, HZ-2, fabricado pela empresa Hi-Z Technology, Inc. Este módulo proporciona o aproveitamento do calor da fonte quente convertendo-o em energia elétrica, com tensão máxima em vazio de 3,5 Vcc. A base de semicondutores consiste de 97 pares como mostrado na Figura 1.

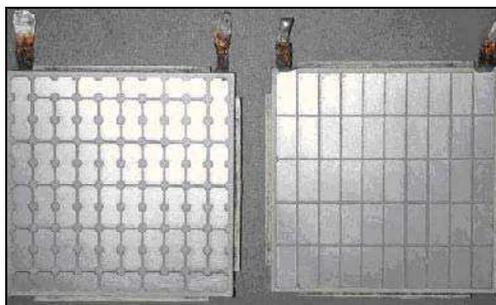


Figura 1. Módulo termoeletrico HZ-2 exibindo a parte fria (esquerda) e parte quente (direita)

Fonte: LEAVITT, 2003[2].

O gradiente térmico necessário é conservado através da instalação de um trocador de calor na região da fonte fria, empregando como fluido refrigerante a água. Para obtenção dessa fonte fria, projetou-se um trocador de calor que foi fixado ao cabeçote, por meio de parafusos e molas, para garantir a compressão ideal do módulo termoeletrico. O trocador de calor foi usinado em um bloco de alumínio, de modo a permitir a circulação de água através de suas conexões de entrada e saída, a fim de manter o lado frio do módulo, sempre a temperatura mais baixa. Para execução da refrigeração da fonte fria, foi providenciado um circuito de água, utilizando-se mangueira de plástico reforçada com nylon. A regulagem da vazão foi feita manualmente através de válvula do tipo gaveta.

A modulação da chama para evitar temperatura alta, é realizada através do monitoramento da temperatura da superfície quente através de um termopar, que envia o sinal para o controlador que por sua vez aciona uma válvula solenóide de duas vias, uma para vazão alta e outra para vazão baixa do gás.

Sistema de monitoração de temperaturas

A análise de eficiência do microgerador de energia é obtida a partir dos cálculos de conversão de energia. Visando obter informações sobre o fluxo térmico da unidade, foram utilizados termopares tipo “K”, instalados em 5 pontos da unidade (temperatura da fonte quente, temperatura da fonte fria, temperatura de entrada da água, temperatura de saída da água e temperatura ambiente).

Na aquisição das temperaturas, os termopares foram interligados aos respectivos canais de número 1 a 5 do sistema de aquisição da National Instruments – Measurement and Automation Explorer 4.5.0fo mediante utilização do software VI Logger Ni-daqmx 2.0.1 interligado a um notebook HP Pavilion dv2000 que registrava os dados. A figura 2 ilustra os componentes da unidade geradora de

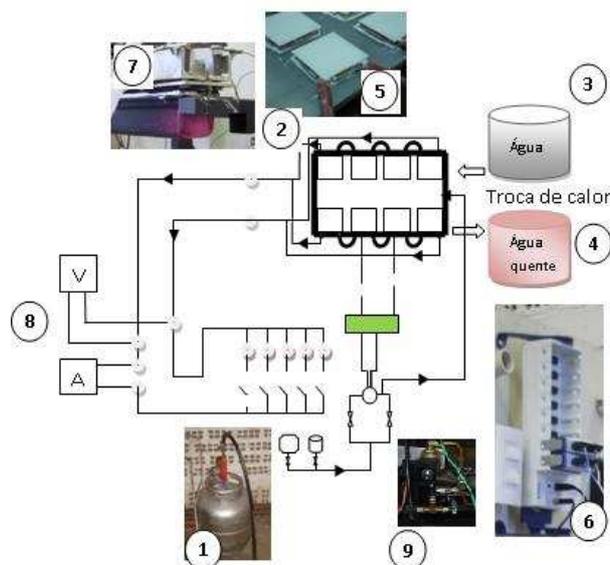


Figura 2. Esquema resumido da unidade de geração termoelétrica proposta.

1. Fonte de calor – (botijão de gás GLP comercial de 13 kg ou cartucho descartável de 190 g).
2. Fonte quente – suporte do trocador de calor, parte inferior.
3. Fonte fria – suporte do trocador de calor, parte superior.
4. Trocador de calor (fonte fria) – usinado em bloco de alumínio.
5. Módulo Semicondutor – modelo HZ - 2 da Hi.Z Technology®.
6. Unidade de Monitoramento:
 - Sistema de aquisição da National Instruments 4.5.0bor® com termopares tipo “K”, para obtenção das temperaturas;
 - Notebook HP Pavilion dv2000 com software VI Logger® 2.0.1 instalado, para registro das temperaturas;
 - multímetros da Minipa® mod. ET - 2500;
7. Queimador *infrared* de 2.250 Kcal/h (2.616 kW/h) da Jackwal®.
8. Multímetros
9. Válvula solenóide

Procedimento de Testes

Após conclusão da montagem da unidade, instalação do sistema de gás, sistema de refrigeração e termopares para medição de temperatura, a unidade de geração termoelétrica foi submetida a um teste de estanqueidade para verificação de vazamento de gás, sendo em seguida iniciado o teste de aquecimento para avaliação do desempenho. A temperatura do módulo, a temperatura dos gases de combustão, a temperatura da água de saída e a tensão gerada pelo módulo foram verificadas para ajuste antes do ensaio definitivo.

A pressão do gás de saída do botijão foi controlada em 2 bar (200 kPa), através da válvula reguladora de pressão instalada no botijão.

O circuito é composto de um multímetro ligado em série, na função de amperímetro, e outro multímetro ligado em paralelo com a função de voltagem. Foram feitas leituras de corrente e tensão simultaneamente para possibilitar o cálculo da potência fornecida pelo módulo termoelétrico.

O teste foi iniciado ligando-se o queimador *infrared* através de uma centelha no bico de entrada do gás combustível. Neste momento deu-se início a coleta de dados através do sistema de aquisição VI logger 2.0.1, o qual registrava as temperaturas a cada segundo. Quando a temperatura estabilizou no patamar máximo de 200°C, entrando em regime estacionário, deu-se início as medições de: consumo de combustível (kg/s), vazão da água de resfriamento (m³/s), corrente (A) e tensão do módulo termoelétrico (V).

O sistema foi submetido a cargas resistivas (cinco lâmpadas de 5w) de 0 a 100% de utilização, a fim de coletar as variações da tensão e corrente.

Para determinação do consumo de combustível, realizou-se a comutação da fonte de combustível através do bloqueio do gás GLP e substituição para um cartucho de gás descartável de 190 g. No instante em que o gás

do cartucho servia de fonte energética para o queimador, mediu-se a perda de massa de gás para um intervalo de tempo pré-estabelecido e assim obter o consumo de gás.

Para determinação da vazão de água de refrigeração, calculou-se a média aritmética de três medidas realizadas em um becker com volume calibrado de 2000 mL. O tempo de escoamento da água foi medido com um cronômetro de precisão.

ANÁLISE ENERGÉTICA E EXERGÉTICA

A primeira lei da termodinâmica afirma que a energia é conservada, desta forma, não demonstra a ocorrência de irreversibilidades em um sistema, como a originada, por exemplo pela perda de pressão do fluido refrigerante. De acordo com a primeira lei, todas as formas de energia são convertidas em outras. No entanto, a segunda lei impõe limitações a essa conversão de energia. A exergia é definida como a máxima quantidade de trabalho reversível que pode ser obtida por um fluido, e é dada por

$$\psi = (h - h_0) - T_0(s - s_0) \quad (1)$$

Os termos h_0 e s_0 representam a entalpia e entropia do fluido a uma condição de referência, adotou-se a temperatura ambiente de 28°C e pressão de 101,3 kPa. A variação de exergia (perda de exergia) é expressa por

$$\Delta\psi = \sum \dot{m}_i \psi_i - \sum \dot{m}_e \psi_e - \dot{Q} \left(1 - \frac{T_0}{T} \right) - W \quad (2)$$

Os dois primeiros termos são os somatórios (balanços) de exergia nas entradas e saídas dos componentes. O terceiro termo é a exergia do calor Q que é transferido a uma temperatura constante T . A exergia do calor é igual ao trabalho obtido por um motor de Carnot operando entre T e T_0 . O último termo é o trabalho mecânico transferido para o sistema ou pelo o sistema.

Após os ensaios realizados procedeu-se com uma análise termodinâmica do sistema através da aplicação da primeira e segunda lei da termodinâmica. Foram realizados balanços de energia e exergia através do sistema, que compreende o fluxo dos gases de combustão, fluxo de água e os módulos termoeletricos. A figura 3 apresenta a fronteira do sistema termodinâmico e fluxos de massa correspondentes.

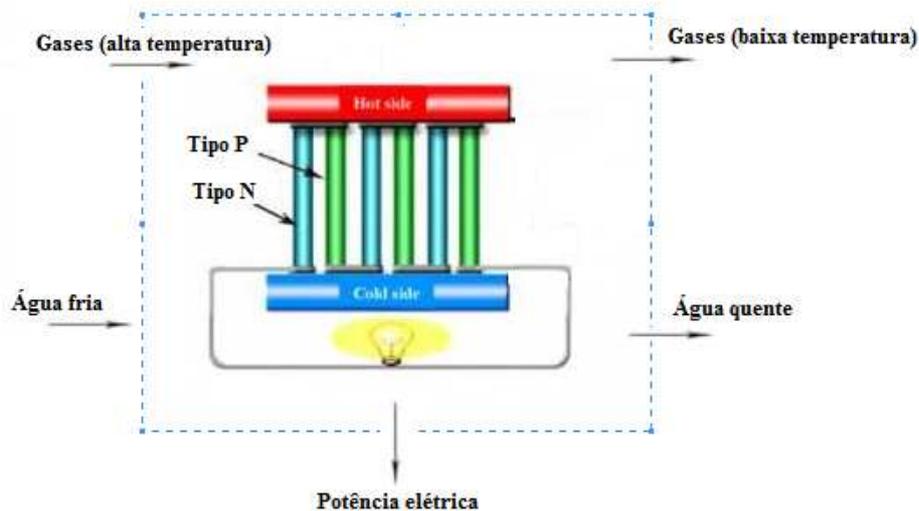


Figura 3. Fronteira do sistema termodinâmico e fluxos de massa correspondentes no microgerador termoeletrico.

Balanco de energia e exergia

Para cada região do sistema, quente e fria, mostradas na figura 3, os balanços de energia e exergia são calculados abaixo, através da aplicação das Eqs. (1) e (2) e mostrados na tabela 1.

Tabela 1. Parâmetros para o cálculo dos balanços de energia e exergia

Parâmetro	Trocadores de calor (lados quente e frio)
Q_{frio}	$\dot{m}_{água}(h_S - h_E)$
Q_{gases}	$\dot{m}_{gases}(h_E - h_S)$
$\Delta\psi_{frio}$	$\dot{m}_{água}(\psi_S - \psi_E)$
$\Delta\psi_{gases}$	$\dot{m}_{gases}(\psi_E - \psi_S)$

A eficiência energética é uma relação entre a energia útil e a energia transferida ao sistema, neste caso, a eficiência é dada por

$$\eta_{Tfrio} = \frac{Q_{frio}}{Q_{gases}} \times 100 \quad (6)$$

A eficiência exergetica de um sistema pode ser definida de diversas maneiras. O rendimento exergetico é definido como sendo o efeito da exergia desejada pela exergia necessária ao processo, conforme mostra a equação abaixo.

$$\psi_{Tfrio} = \frac{\Delta\psi_{frio}}{\Delta\psi_{gases}} \times 100 \quad (7)$$

Esta relação expressa uma comparação entre os fluxos de exergia na saída e na entrada. Este parâmetro mede o desempenho termodinâmico do sistema e mensura as irreversibilidades internas sem considerar a função do equipamento.

Eficiências térmica, elétrica e global do sistema

As equações utilizadas para o cálculo das eficiências do sistema são mostradas na tabela 2 abaixo.

Tabela 2. Eficiências do sistema e suas respectivas equações.

Eficiências	η (primeira lei)	ϕ (segunda lei)
Térmica total	$\frac{Q_{frio}}{m_c PCI} \times 100$	$\frac{\Delta\psi_{frio}}{m_c PCI \phi} \times 100$
Elétrica total	$\frac{P_{ele}}{m_c PCI} \times 100$	$\frac{P_{ele}}{m_c PCI \phi} \times 100$
Global	$\frac{Q_{frio} + P_{ele}}{m_c PCI} \times 100$	$\frac{\Delta\psi_{frio} + P_{ele}}{m_c PCI \phi} \times 100$

Onde:

$\phi = 1,0401 + 0,1728(h/c) + 0,0432(o/c) + 0,2169(s/c)[1 - 2,0628(h/c)]$ é o fator de correção do PCI para obter a exergia do combustível líquido [1]. O valor obtido para o combustível em questão, GLP, foi de 1,115. O GLP utilizado apresenta PCI de 46398 kJ/kg. O processo de combustão foi realizado com excesso de ar de 5 %.

As propriedades termodinâmicas dos fluidos de transferência de calor utilizados no três ensaios do sistema são mostradas nas tabelas abaixo.

5º CONGRESSO BRASILEIRO DE PESQUISA E DESENVOLVIMENTO EM PETRÓLEO E GÁS

Tabela 3. Propriedades termodinâmicas dos fluidos de transferência de calor utilizado no ensaio 1 – temperatura 167°C.

Ensaio 1	h (kJ/kg)	s (kJ/kgK)
Água (entrada)	122,5	0,4258
Água (saída)	141,3	0,4875
Gases (entrada)	3355,63	6,98278
Gases (saída)	646,55	2,66747

Tabela 4. Propriedades termodinâmicas dos fluidos de transferência de calor utilizado no ensaio 1 – temperatura 190°C

Ensaio 2	h (kJ/kg)	s (kJ/kgK)
Água (entrada)	121,8	0,4233
Água (saída)	140,2	0,4838
Gases (entrada)	3355,63	6,98278
Gases (saída)	646,55	2,66747

Tabela 5. Propriedades termodinâmicas dos fluidos de transferência de calor utilizado no ensaio 1 – temperatura 200°C

Ensaio 3	h (kJ/kg)	s (kJ/kgK)
Água (entrada)	124,6	0,4328
Água (saída)	147,5	0,5078
Gases (entrada)	3355,63	6,98278
Gases (saída)	646,55	2,66747

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A partir dos ensaios realizados no microgerador termoelétrico a gás, obtivemos os resultados indicados na tabela 6.

Tabela 6. Dados experimentais obtidos a partir dos ensaios realizados

	Ensaio 1 (167°)	Ensaio 2 (190°)	Ensaio 3 (200°)
Vazão do gás GLP (kg/s)	0,000107	0,000105	0,000101
Vazão da água (kg/s)	0,063	0,082	0,068
Vazão dos gases de combustão (kg/s)	0,000116	0,000120	0,000123
Temp. ambiente (°C)	28	28	28
Pressão GLP (KPa)	200	200	200
Pressão do gás combustível no queimador (KPa)	2,8	2,8	2,8
Temp. fonte quente (°C)	167	190	200
Temp. fonte fria (°C)	49,2	51,7	52,2
Temp. entrada água (°C)	29,2	29,02	29,71
Temperatura de saída água	33,7	33,43	35,19

A tabela 7 abaixo apresenta os resultados das eficiências térmica, elétrica e global do sistema de termogeração.

Eficiências	η (primeira lei)			ϕ (segunda lei)		
	Ensaio 1	Ensaio 2	Ensaio 3	Ensaio 1	Ensaio 2	Ensaio 3
Térmica total	23,8	30,9	33,2	0,259	0,285	0,422
Elétrica total	0,195	0,261	0,314	0,175	0,233	0,282
Global	23,995	31,161	33,514	0,434	0,518	0,704

5º CONGRESSO BRASILEIRO DE PESQUISA E DESENVOLVIMENTO EM PETRÓLEO E GÁS

A potência gerada pelo módulo se mostrou compatível com a fornecida pelo fabricante. O módulo termoeletrico apresentou eficiência energética global razoável, estando também compatível com o valor médio fornecido pelo fabricante. [6] conseguiram rendimento energético de cerca de 26 % para um módulo termoeletrico similar, porém a fonte térmica do sistema apresentava temperatura mais baixa. Os autores também apresentaram eficiência exergética ligeiramente superior.

A eficiência energética global do protótipo poderia ser aumentada a partir das seguintes considerações:

1. A área efetiva de aproveitamento térmico não foi aproveitada na sua totalidade, implicando em uma menor geração de potencia elétrica, ou seja, o numero de módulos poderia ser dobrado para a área aquecida;
2. A diferença de temperatura submetida aos módulos TEG foi de 150 °C, reduzindo também a potência elétrica gerada. O projeto pode ser melhorado para reduzir a resistência de condutividade da placa receptora de irradiação do queimador infravermelho, possibilitando alcançar gradiente de 250 °C máximo especificado pelo fabricante;
3. A tensão de fixação dos módulos TEG poderá influenciar no aproveitamento da conversão de energia, sendo ainda objeto de investigação.

Comparando as eficiências energéticas e exergéticas para geração elétrica observa-se que estão muito próximas o que demonstra uma boa racionalidade no aproveitamento da energia

De acordo com [7], com o aumento do excesso de ar na combustão, ocorre a elevação da eficiência exergética e redução na temperatura adiabática de chama. Mesmo que isto faça com que haja uma redução na exergia dos gases de combustão, e assim ocorra um aumento na eficiência exergética, não se pode considerar este aumento exergético como positivo para o melhor rendimento energético do combustível, pois assim como há o aumento da eficiência exergética há um aumento no consumo de combustível, para uma mesma potência elétrica obtida dos módulos neste caso.

CONCLUSÕES

- Os resultados obtidos são compatíveis com aqueles apresentados na literatura e do fabricante dos módulos semicondutores TEG;
- A eficiência global do sistema poderia ser aumentada melhorando o isolamento térmico do protótipo e reduzindo a resistência condutiva da placa de aquecimento irradiante, através da redução da espessura na zona de contato com os módulos termoeletricos;
- Os resultados mostram que ambas as eficiências, energética e exergética, crescem com o aumento da temperatura da fonte quente do módulo termoeletrico, já que a capacidade calorífica do combustível está sendo melhor aproveitada pelo sistema, possibilitando maior geração de potência elétrica. O fabricante recomenda uma diferença térmica máxima entre as faces quente e fria de 250 °C;
- A economicidade do protótipo é obtida com o ajuste da mistura ar/combustível nos níveis de fogo alto e fogo baixo do controlador de temperatura da fonte quente. A estratégia de controle proporcional adotada foi satisfatória para a regulagem da temperatura da fonte quente através do forno infravermelho.

AGRADECIMENTOS

Agradecemos a UFRN, ao Programa de Pós-Graduação em Ciência e Engenharia de Petróleo e Gás Natural (PPgCEP) e a FINEP/PRH-ANP 14 pela estrutura e suporte.

REFERENCIAS

1. Kotas, T. J. The Exergy Method of Thermal Plant Analysis, Reprint Edition, Krieger Publishing Company, Malabar-Flórida, 328 p, 1995.
2. Leavitt, Frederick A. Et Al... Use, Application And Testing of Hi-Z Thermoelectric Modules.
3. Santanila, C. E. C., 2005. "Generación Y Aprovechamiento de Energía Termoeletrica"
4. Souza, M. L. V., 2006. "Utilização de Termogeradores como Fonte de Energia Alternativa"
5. Torres, E.A. Avaliação Exergética e Termoeconômica de um Sistema de Cogeração de um Pólo Petroquímico, Tese de Doutorado, Unicamp/SP/Brasil, 1999.
6. Fontes, FAO., Araújo, RAF., Barbosa, CRF., Energy and exergy analysis of na micro-cogeneration system using semi-conductive module. 19th International Congress of Mechanical Engineering. Brasília-DF. Brasil. 2007.

5º CONGRESSO BRASILEIRO DE PESQUISA E DESENVOLVIMENTO EM PETRÓLEO E GÁS

7. Ywamoto, PR., Junior, RB., Higa, M., Análise energética e exergetica em sistema de geração de vapor. XII Congresso Brasileiro de Estudantes de Engenharia Mecânica. Ilha Solteira-SP. 2005.
8. Araújo, R. A. F.; Estudo do aproveitamento térmico dos gases de exaustão de um motor-gerador elétrico: cogeração e termoeletricidade, 2005; Dissertação de mestrado; Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica, NTI, UFRN, Natal-RN.
9. Santos, I. M.; Protótipo de uma unidade com tri-geração de energia para utilização remotas: Aplicação de módulo semicondutivo gerador termoelétrico, 2007; Dissertação de mestrado; Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica, NTI, UFRN, Natal-RN.

NOMENCLATURA

<i>TEG</i>	Termogerador
<i>GLP</i>	Gás liquefeito de petróleo
η	Eficiência pela 1ª lei da termodinâmica
φ	Eficiência pela 2ª lei da termodinâmica
<i>PCI</i>	Poder calorífico inferior
m_c	Vazão mássica do combustível
m_a	Vazão mássica da água