

APLICAÇÃO DE MÓDULOS TERMELÉTRICOS PARA CONDICIONAMENTO DE AR

José Rui Camargo (rui@unitau.br)

Maria Claudia Costa de Oliveira (maclau_oliveira@hotmail.com)

UNITAU, Engenharia Mecânica, Rua Rua Daniel Danelli, s/n, Jardim Morumbi, 12060-440, Taubate/SP

Resumo. *O presente trabalho estuda a aplicação de módulos termelétricos para o condicionamento do ar a partir do conhecimento que efeitos térmicos e elétricos são detectados em um circuito composto por materiais semicondutores mantidos a diferentes temperaturas. Esses fenômenos, denominados efeito Seebeck e efeito Peltier foram utilizados para a produção de potência elétrica e para refrigeração. Os sistemas termelétricos são considerados sistemas ecoeficientes de condicionamento de ar, uma vez que não agredem o ambiente e podem ser mantidos por energia solar. Com o desenvolvimento de um protótipo experimental de um sistema de condicionamento de ar que consiste em módulos termelétricos acoplados a dissipadores de calor e montados dentro de dutos por onde fluem duas correntes de ar sendo que, uma delas foi resfriada e a outra aquecida, utiliza-se a corrente de ar frio para resfriar um determinado ambiente. Foram estudados e otimizados alguns parâmetros do sistema, quais sejam, o coeficiente de desempenho, a taxa de calor transferido e a máxima diferença de temperatura possível de ser obtida entre os lados quente e frio do módulo termelétrico. Para as avaliações foram utilizados sensores de temperatura, umidade e velocidade do ar e um software para aquisição, armazenamento e análise de dados.*

Palavras-Chave: *Efeito Peltier, Efeito Seebeck, Módulo Termelétrico, Uso de Energia Limpa, Conforto Ambiental.*

1. INTRODUÇÃO

Este trabalho apresenta as equações teóricas que permitem avaliar o desempenho de um sistema de ar condicionado baseado no efeito termoeletrônico e também apresenta os resultados experimentais de testes aplicados em um dispositivo termoeletrônico composto por módulos dispostos em dutos para a simulação de um pequeno sistema de ar condicionado.

O sistema de refrigeração termoeletrônica baseia-se em um fenômeno descoberto por Jean Charles Athanase Peltier, em 1834. Segundo ele, quando uma corrente elétrica é induzida através de uma junção entre dois semicondutores com propriedades diferentes, o calor em um dos lados é absorvido e do outro dissipado. Assim, os módulos são feitos por materiais termoeletrônicos semicondutores, selados entre duas placas através das quais uma corrente contínua mantém uma chapa quente e a outra fria.

Muitos pesquisadores têm estudado as aplicações dos dispositivos termoeletrônicos, Goktun (1995) mostra as considerações para o processo de um refrigerador termoeletrônico, afirma que a transferência de calor numa taxa finita e perda de resistividade elétrica são necessariamente processos irreversíveis e inevitáveis num processo termoeletrônico caracterizando um parâmetro denominado processo-equipamento; Sofrata (1996) desenvolve um método eficaz para a rejeição de calor do lado quente do módulo termoeletrônico utilizando ventilação forçada e natural; Bojic et al (1997) usou um refrigerador termoeletrônico como dispositivo de condicionamento de ar em um trem de transporte e simulou seis diferentes cenários para o sistema energético; Lindler (1998) investigou a melhoria potencial do uso de uma bomba de calor que pode ser obtida por duas ou mais bombas de calor em série em operação constituindo um multistágio em cascata; Duang e Huang (2000) mostram um modelo linear dinâmico de um refrigerador termoeletrônico incluindo um dissipador de arrefecimento de carga e permutador de calor; Huang et al (2000) apresenta um sistema de refrigerador termoeletrônico com um método que utiliza a curva de desempenho do módulo determinado experimentalmente para obter as propriedades físicas; Chen et al (2002) utilizam o ciclo de modelos de uma única fase de duas fases e um sistema de refrigeração termoeletrônica para manifestar o coeficiente de desempenho, a taxa de refrigeração e da potência de entrada; Luo et al (2003) aplicou a teoria da termodinâmica de tempo finito para analisar e otimizar o desempenho de uma geladeira termoeletrônica, composta de multi-elementos; Dai et al (2003) apresentam uma investigação experimental e análise sobre um frigorífico termoeletrônico impulsionado por células solares, com aplicação de células solares de energia nos frigoríficos durante o dia e utilizando uma bateria de armazenamento para fornecer energia elétrica durante a noite; Astrain et al (2003) apresentam um dispositivo para a dissipação do calor do lado quente das pastilhas de Peltier baseada no princípio da termosifão e provou experimentalmente que o dispositivo aumenta o coeficiente de desempenho; Chein e Huang (2004) apresentam um refrigerador termoeletrônico por princípio eletrônico, utilizando diferença de

temperatura entre os lados frio e quente como parâmetros; Hansen (2004) investiga o comportamento térmico estático de um detector derivado de silício; Cheng e Lin (2005) apresentam um método de otimizar as dimensões dos módulos termoeletrônicos utilizando algoritmos genéticos, para maximizar a capacidade de resfriamento e Vasiliev (2007) apresentou uma breve resenha sobre os micro e mini tubos de calor aplicados na refrigeração de componentes eletrônicos.

Trabalhos de pesquisa nesse sentido vêm sendo desenvolvidos do Departamento de Engenharia Mecânica da Universidade de Taubaté, e seus resultados podem ser verificados em Camargo (1999), Camargo et al (2003) e Camargo e Nogueira (2004).

Dispositivos termoeletrônicos oferecem várias vantagens sobre outras tecnologias, por não possuírem peças móveis dispensam manutenção frequente e não contêm clorofluorcarbonos, a direção do calor bombeado é reversível, ou seja, mudando a polaridade da DC um refrigerador de alimentação de energia pode, então, tornar-se um aquecedor, pois eles podem trabalhar em ambientes que são demasiadamente sensíveis ou muito pequenos para refrigeração convencional e não são dependentes de posição. Devido a estas vantagens, dispositivos termoeletrônicos têm encontrado aplicações em escala muito extensas, tais como, militar, aeroespacial, médica, microeletrônica, laboratório, sensores e instrumentos, produtos industriais e comerciais. A Fig. 1 mostra um esquema do efeito Peltier (dispositivo de resfriamento).

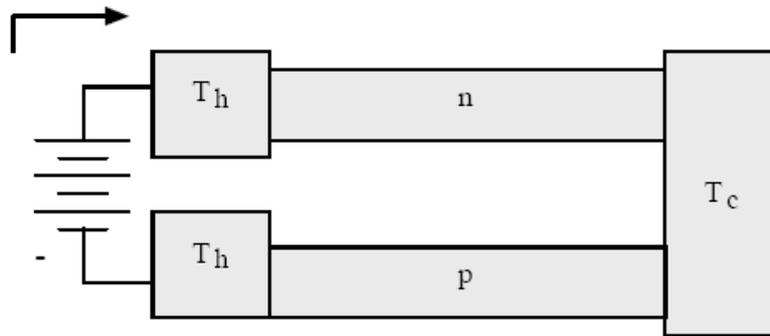


Figura 1. Esquema de um efeito Peltier (dispositivo de refrigeração termoeletrônica).

2. MODELO MATEMÁTICO

Os parâmetros que são interessantes para avaliar o desempenho de um sistema frigorífico são o coeficiente de desempenho (ϕ), a taxa de bombeamento de calor (Q_c) e a máxima diferença de temperatura (ΔT_{\max}) que o dispositivo irá produzir. O coeficiente de desempenho ϕ é definido por:

$$\phi = \frac{Q_c}{P} \quad (1)$$

onde: Q_c é a taxa de bombeamento de calor a partir do lado frio e P é a energia elétrica consumida. O "efeito frio" ou "carga térmica" é a taxa de bombeamento de calor a partir do lado frio, e é a soma de três termos (Heikes e Ure Jr, 1961): a) o Joule, calor de cada lado por unidade de tempo, b) a taxa de transferência de calor quando igualada a zero entre os dois lados e, c) a taxa de Peltier, calor de cada lado, ou seja, a taxa de remoção de calor.

$$Q_c = \alpha T_c I - \frac{1}{2} I^2 R - K \Delta T \quad (2)$$

onde: α é o coeficiente de Seebeck, T_c é a temperatura do lado frio do módulo termoeletrônico, I é a corrente elétrica, R é a resistência elétrica (R), K é o total de condutância térmica do módulo termoeletrônico de refrigeração e ΔT é a diferença entre as temperaturas dos lados quente e frio ($T_h - T_c$). O balanço energético dos resultados do resfriamento resultante será:

$$Q_c = \dot{m}_a C_p (T_i - T_o) \quad (3)$$

onde: \dot{m}_a e a massa de ar frio, C_p e o calor específico a pressão constante, T_i e a temperatura do ar de entrada e T_o e a temperatura do ar de saída. A potência requerida é:

$$P = V.I = \alpha.I.\Delta T + I^2.R = \frac{V(V - \alpha.\Delta T)}{R} \quad (4)$$

onde: V e a tensão aplicada e a soma das tensões em Joule:

$$V = \alpha.\Delta T + IR \quad (5)$$

3. OBJETIVO

Este projeto teve como objetivo desenvolver, testar e analisar técnica e economicamente uma configuração eficiente de um sistema utilizando módulos termoeletricos, buscando:

- 1) o desenvolvimento de inovação tecnológica pela utilização efetiva de módulos termoeletricos, comercialmente disponíveis, para condicionamento de ar;
- 2) a redução de impactos ambientais, pois os sistemas em estudo, por não emitirem gases CFC ou HFC, portanto não agredem o meio ambiente;
- 3) a melhoria da qualidade e do controle do ar interior,
- 4) a realização de um estudo metodológico efetivo e sistematizado visando a ampliação do nível de conhecimento a respeito da utilização do efeito Peltier em sistemas frigoríficos, uma vez que a pesquisa neste campo, no Brasil, é quase incipiente.

4. MATERIAIS E MÉTODOS

Para analisar o modelo matemático com o objetivo de avaliar o desempenho do sistema de ar condicionado, um dispositivo experimental termoeletrico para ar condicionado foi construído. A Fig. 2 apresenta uma foto da bancada experimental, a Fig. 3 mostra o sistema esquemático do experimento.

O aparelho consiste em um conjunto de módulos termoeletricos acoplados fisicamente em ambos os lados por trocadores de calor e estes são inseridos cada um dentro de um duto sendo que por um dos dutos o fluxo de ar será aquecido e no outro duto o fluxo vai ser resfriado quando passados pelos trocadores de calor. Ambos os dutos são feitos de alumínio e possuem isolamento térmico de poliestireno e de fibra de vidro. Os trocadores de calor, frio e quente, são feitos de alumínio, medindo 150x80x40mm, com 19 barbatanas cada uma com largura de 2 milímetros. A base do dissipador possui 6 milímetros.

Os fluxos de ar frio e quente têm suas velocidades reguláveis. O fluxo de ar frio é controlado por um gerador de ar modelo "Marotec 8203-B". O fluxo de ar quente é controlado por um transformador de tensão variável "Varikeld 220V". A temperatura do ar e a umidade são medidos com termo-higrômetros modelo "Instrutherm HT-210". As velocidades dos fluxos de ar quente e frio são medidas com anemômetro digital modelo "Instrutherm TAFR-180". A corrente e tensão são medidas com multimetros "Minipa ET-1502 e ET-2052". Os módulos termoeletricos são do modelo TE Tecnologia (0,04 x 0,04) m e 16,5 V. A medição da temperatura das placas é feita com um controlador de temperatura com dois termopares modelo "Gefran 600, 220V". A energia elétrica utilizada provém de uma fonte solar fotovoltaica "Solarterra", com potência nominal 250 Wp, composto por módulos solares fotovoltaicos de silício policristalino, suporte de fixação, controlador de carga de baterias 20 A 12 V, LCB 20 A (Linear Buster Current), bateria selada estacionária 150 Ah C 20.



Figura 2. Bancada experimental.

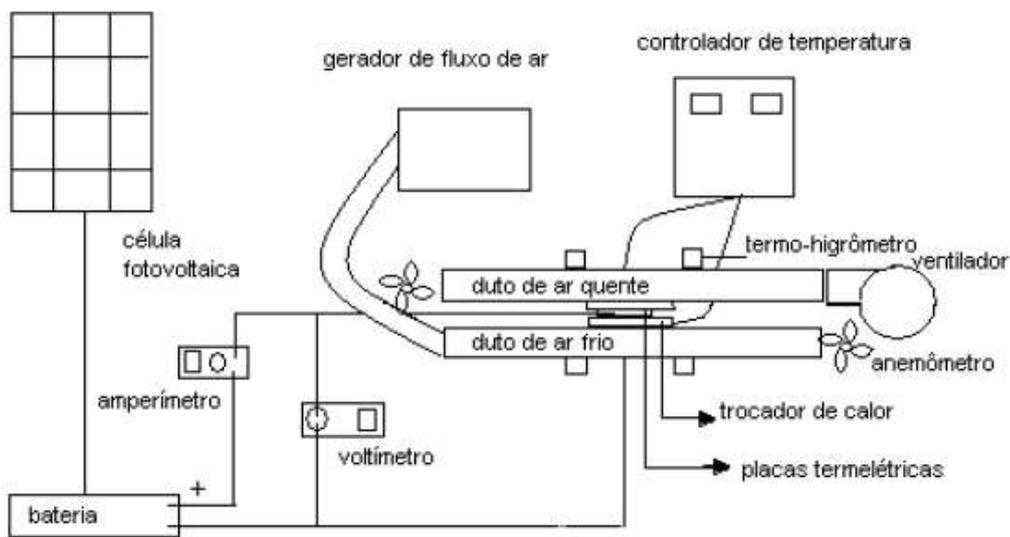


Figura 3. Esquema experimental do sistema

4.1. Procedimento Experimental

Foram controlados e medidos os seguintes parâmetros durante todo o experimento: temperatura de entrada do ar no lado quente, temperatura de saída do ar do lado quente, temperatura de entrada do ar no lado frio, temperatura de saída do ar no lado frio, temperatura da placa no lado quente (T_h), temperatura da placa no lado frio (T_c), a corrente elétrica aplicada (i), a tensão elétrica aplicada (V) e a velocidade dos fluxos de ar quente e frio nos lados dos módulos termoeletricos correspondentes.

Os testes foram realizados fornecendo uma corrente contínua, tensão igual a 12V, a partir de uma bateria que é alimentada por um painel fotovoltaico. Quatro séries de testes foram realizadas, cada uma com dezessete medições, a começar com apenas um módulo termoeletrico e, em cada novo conjunto de

teste, outro modulo foi acrescentado, ligados em paralelo. Para cada serie a velocidade do vento, no duto de ar quente foi mantida constante e igual a 8,5 m/s, a velocidade do ar no duto do lado frio foi sendo alterada em 0,5 m/s para 8,5 m/s. Essa variacao foi controlada por um reostato acoplado a um gerador de fluxo de ar. Para uma maior confiabilidade dos resultados, cada teste foi realizado duas vezes, na primeira aumentando o fluxo de ar na segunda reduzindo-a. Entao, houve uma confirmacao e validacao dos resultados obtidos. Os graficos apresentados nas Figuras 4 a 7 mostram os valores medios de todos os testes.

5. RESULTADOS

O desempenho do dispositivo de ar condicionado termoeletrico pode ser verificado nas Figs. 4 a 6. A Fig. 4 mostra o COP (coeficiente de desempenho) como funcao da corrente eletrica, a Fig. 5 mostra o COP como funcao de diferenca de temperatura ($T_h - T_c$) (oC) e a Fig. 6 mostra a potencia eletrica requerida como funcao de diferenca de temperatura. Pode ser observado que o COP diminui quando a corrente eletrica ou diferenca temperatura aumenta. A potencia requerida aumenta ao aumentar a temperatura e que quando a corrente eletrica aumenta a diferenca de temperatura tambem aumenta.

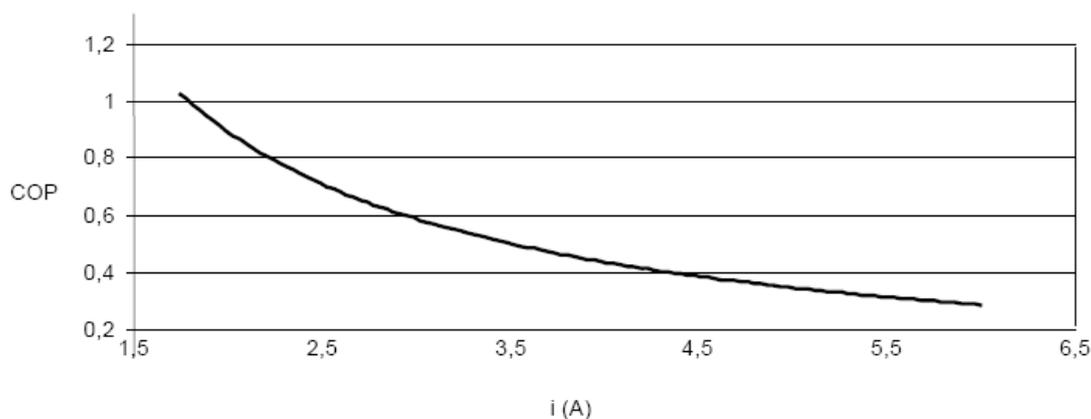


Figura 4. Coeficiente de desempenho em funcao da corrente eletrica.

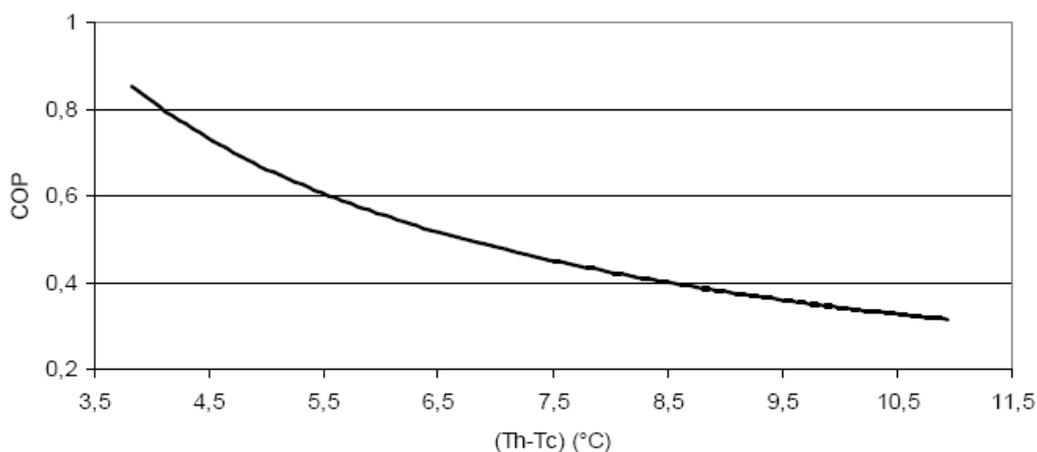


Figura 5. Coeficiente de desempenho em funcao de diferenca de temperatura.

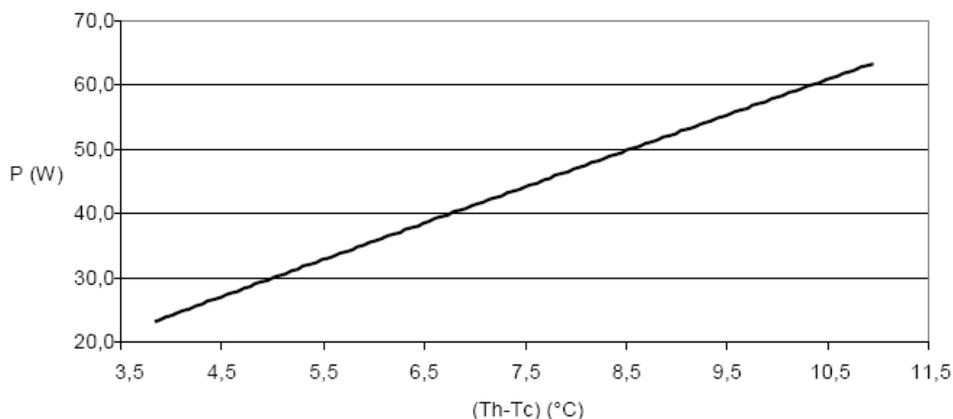


Figura 6. Potencia de entrada como funcao de diferenca de temperatura.

5.1. Discussão

Constata-se finalmente que o COP da refrigeração termoeletrica pode ser aumentado pela diminuicao da diferenca entre as temperaturas dos lados quente e frio ou diminuindo a corrente eletrica. Baixas diferenças de temperatura são obtidas com baixa corrente eletrica. Assim, há maximização do coeficiente de desempenho, para cada diferenca de temperatura poderao ser feitos ajustes da tensao aplicada. O desenvolvimento de novos materiais com grande potencial termoeletrico, coeficiente Seebeck e de tecnologia apropriada podem fazer um avanço em aplicacoes dos dispositivos termoeletricos em muitos dominios. Melhores resultados do dispositivo termoeletrico de ar condicionado podem ser obtidos através do aumento do número de módulos termoeletricos e este é o proximo alvo da presente investigacao.

6. CONCLUSÕES

Conclui-se que a tecnologia estudada traz resultados promissores quanto ao objetivo almejado, porem neste primeiro momento ainda não aplicaveis a tal fim, ja que a diferenca de temperatura alcançada não estimula a troca do equipamento de condicionamento de ar encontrado atualmente no mercado. Analisando o comportamento grafico do sistema, acredita-se que pode-se obter melhores resultados se utilizar-se uma maior quantidade de placas termoeletricas, aumentando assim a corrente eletrica, e estudando um metodo mais eficiente de retirada do calor, que é inevitavel no sistema, sera esta a segunda etapa de nossa pesquisa.

Contudo pode-se afirmar que mais investimentos nesta tecnologia são desejaveis, por tratar-se de uma forma de energia limpa, ja que não emite gases toxicos e pode ser alimentada por energia solar.

7. AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem o apoio financeiro da UNITAU e CNPq, processo de pesquisa código: MEC 500/07.

8. REFERÊNCIAS

- Astrain D., Via J. G., Dominguez M. (2003) Increase of COP in the thermoelectric refrigeration by the optimization of heat dissipation. *Applied Thermal Engineering* 23, 2183-2200.
- Bojic M., Savanovic G., Trifunovic N., Radovic L., Saljic D. (1997) Thermoelectric cooling of a train carriage by using a coldness-recovery device. *Energy*, vol.22, No. 5, p.493-500.
- Camargo J. R. (1999) Parametros basicos para avaliacao da eficiencia de um refrigerador que utiliza o sistema termoeletrico. In: XIX Congresso Brasileiro de Aplicacoes de Vacuo na Industria e na Ciencia – XIX CBRAVIC. Campinas, SP.
- Camargo J. R., Nogueira E. (2004) Thermoelectric cooling – state of art review. In: IX Encontro de Iniciacao Cientifica e V Mostra de Pos-graduacao, Universidade de Taubate, Taubate, SP.
- Camargo J. R., Ebinuma C. D., Silveira J. L. (2003) Thermoeconomic analysis of an evaporative desiccant air conditioning system. *Applied Thermal Engineering*, v.23, p.1537-1549.

- Chein R., Huang G. (2004) Thermoelectric cooler application in electronic cooling. *Applied Thermal Engineering*; 24: 2207-217.
- Chen J., Zhou Y., Wang H., Wang J. T. (2002) Comparison of the optimal performance of singlestage and two-stage thermoelectric refrigeration systems. *Applied Energy* 73, 285-298.
- Cheng Y., Lin W. (2005) Geometric optimization of thermoelectric coolers in a confined volume using genetic algorithms. *Applied Thermal Engineering* 25, 2983-2997.
- Dai Y. J., Wang R. Z., Ni L. (2003) Experimental investigation on a thermoelectric refrigerator driven by solar cells. *Renewable Energy* 28, 949-959.
- Duang C.L., Huang B.J. (2000) System dynamic model and temperature control of a thermoelectric cooler. *International Journal of Refrigeration* 23, 197-207.
- Goktun S. (1995) Design considerations for a thermoelectric refrigerator. *Energy Conversion and Management*, Vol.36, No.12, p.1197-1200.
- Hansen K. (2004) Thermal performance of a 61-cell Si-drift detector module with thermoelectric cooler. *Nuclear Instruments and Methods in Physics Research, A*, 517: 254-263.
- Heikes R. R., Ure Jr R. W. (1961) *Thermoelectricity: Science and Engineering*. Interscience Publishers.
- Huang B.J., Duang C.L. (2000) System dynamic model and temperature control of a thermoelectric cooler. *International Journal of Refrigeration*; 23:197-207.
- Lindler K. W. (1998) Use of multi-stage cascades to improve performance of thermoelectric heat pumps. *Energy Conversion and Management*, vol. 39, No.10, p.1009-1014.
- Luo J., Chen L., Sun F., Wu C. (2003) Optimum allocation of heat transfer surface area for cooling load and COP optimization of a thermoelectric refrigerator. *Energy Conversion and Management* 44, 3197-3206.
- Sofrata H. (1996) Heat rejection alternatives for thermoelectric refrigerators. *Energy Conversion and Management*, vol.37, No.3, p.269-280.
- Vasiliev L.L. (2007) Micro and miniature heat pipes – Electronic component coolers. *Applied Thermal Engineering*.

DIREITOS AUTORAIS

Os autores são os únicos responsáveis pelo conteúdo do material impresso incluído no seu trabalho.