

Cogeração de energia através do efeito Seebeck: Um estudo bibliométrico

Nunes, H. J. L. (*), Barbosa, A. T. R., Jesus-Lopes, José Carlos De, Renda Dos Santos, Luiz Miguel

* Programa de Pós-Graduação em Eficiência Energética e Sustentabilidade, Fundação Universidade Federal de Mato Grosso do Sul, Campo Grande / MS, Brasil, email: hiltonjames.eng@gmail.com

RESUMO

O estudo apresentado traz uma pesquisa bibliográfica quantitativa de artigos referentes ao sistema de cogeração através do efeito Seebeck. Este efeito é capaz de transformar energia térmica proveniente de uma caldeira em energia elétrica útil, isso devido ao efeito Seebeck, fenômeno característico de módulos termoeletrônicos. Este tipo de cogeração é tratado nos artigos a ser utilizado em locais onde o calor é desperdiçado ou simplesmente trocado com o ar, podendo ser utilizado para aumentar sua eficiência de uma determinada máquina ou processo. De frente a necessidade de se obter energia a partir de outras fontes, é que se deu a ideia de contribuir cientificamente com o estudo deste trabalho. E futuramente contribuir com a utilização de um sistema de cogeração de energia elétrica utilizando módulos termoeletrônicos. Este artigo demonstra apenas resultados quantitativos que de antemão mostram-se muito promissores, de maneira que novas pesquisas devem aprimorar o projeto, como pesquisas qualitativas com enfoque nos métodos e resultados obtidos por pesquisadores da área.

PALAVRAS-CHAVE: módulos termoeletrônicos, cogeração.

INTRODUÇÃO

Este trabalho procura apresentar uma contribuição científica ao avaliar publicações, dissertações e teses no âmbito da eficiência energética. Foram buscados referentes a assuntos sobre cogeração de energia a partir de módulos termoeletrônicos ou geradores de estado sólido que funcionam a partir do efeito Seebeck. As pesquisas foram efetuadas em títulos e resumos levando em consideração palavras chaves que convergem a um tema específico.

Tema este que é o aumento da eficiência de uma caldeira a partir da aplicação de um sistema de cogeração de energia. Sistema este que deve ser composto por módulos termoeletrônicos que utilizam do efeito seebeck para transformar calor desperdiçado no sistema de exaustão da caldeira em energia elétrica útil. Logo para que seja possível elucidar esta pesquisa é de extrema importância explanar a respeito das caldeiras, dos módulos termoeletrônicos e o efeito Seebeck.

As caldeiras são máquinas térmicas de combustão externa e que em sua maioria desperdiçam muita energia em forma de calor em suas paredes, no sistema de exaustão e de descarga de fundo.

Os módulos termoeletrônicos são dispositivos geradores de energia em estado sólido, ou seja, não precisam efetuar movimentos para gerar energia. Característica que o torna em um gerador de baixo custo tornando o seu uso viável economicamente para o reaproveitamento de calor e à cogeração de energia. Podendo ser aplicados a inúmeros dispositivos ou máquinas que desperdiçam energia em forma de calor.

Em 1821, Thomas Seebeck observou um fenômeno em que quando dois metais distintos unidos são aquecidos, em sua junção surge uma diferença de potencial elétrico entre as extremidades da mesma. A este fenômeno foi dado o nome de efeito Seebeck (MOURA, 2010) (FERNANDES, 2012).

Com esta diferença de potencial é possível obter-se uma corrente elétrica I quando uma determinada quantidade de calor é aplicada sobre uma das junções composta de dois metais semicondutores distintos, conforme a Figura 2. A este fenômeno foi dado o nome de efeito Seebeck, Para que seja possível quantificar a energia gerada em relação à quantidade de calor aplicado à junção, T.J. Seebeck criou um coeficiente de tensão por temperatura, que é uma relação matemática onde o coeficiente Seebeck é em função da tensão V dividida pelo diferencial das temperaturas referentes às junções. Ou seja, o coeficiente Seebeck é dado em V/K .

O efeito Seebeck é o princípio base dos geradores termoeletrônicos. O trabalho é produzido sobre uma carga quando uma fonte de calor Q_h a alta temperatura, aquece uma junção ao mesmo tempo em que o calor é absorvido por um sumidouro de calor Q_l na outra junção como pode ser observado na figura 1 (BOLES et al, 2006) (GERTHSEN et al, 1998,).

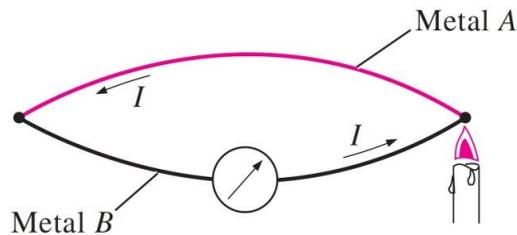


Figura 1 - Efeito Seebeck. Fonte: (BOLES; ÇENGEL, 2006).

Jean Peltier, em 1834, observou um fenômeno contrário ao efeito Seebeck. Ele observou que quando aplicado uma tensão elétrica nas extremidades de uma junção metálica composta por dois materiais metálicos distintos, o calor é retirado de um lado da junção e transportado para o outro lado. A este fenômeno foi dado o nome de efeito Peltier (FERNANDES, 2012) (ANACLETO, 2007).

Joseph Thomson, por volta de 1850, estudou os efeitos Seebeck e Peltier sobre uma junção entre materiais metálicos distintos e ao ensaiar a passagem de corrente elétrica sobre um material homogêneo, onde sobre o mesmo existia um gradiente de temperatura, observou que a absorção ou a liberação de calor é proporcional a intensidade do fluxo de elétrico ou corrente elétrica (ANACLETO, 2007) (CARVALHO, 2012).

As máquinas feitas a partir de junções criadas com materiais metálicos distintos foram às precursoras da termoelectricidade. Logo, com o avanço da tecnologia, novos materiais surgiram no âmbito científico e os materiais semicondutores criados a partir de telureto de bismuto (Bi_2Te_3) foram os que se mostraram mais eficientes em comparação aos materiais metálicos homogêneos. Logo, foram criadas placas ou módulos termoeletrônicos compostos por n junções entre materiais semicondutores tipo N e tipo P, distribuídos de maneira uniforme para um melhor aproveitamento da área de contato.

Nos dias atuais o avanço da tecnologia nos permite ter acesso a equipamentos que possuem os efeitos Seebeck e Peltier, que são os módulos termoeletrônicos. Estes são utilizados em refrigeradores e aquecedores modernos, através do efeito Peltier, bem como através do efeito Seebeck no uso para a geração de energia (MOURA, 2010) (CARVALHO, 2012) como é demonstrado através da figura 2.

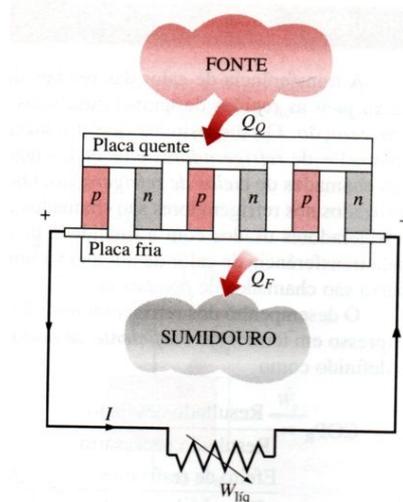


Figura 2 Gerador termoeletrico. Fonte: (BOLES; ÇENGEL, 2006).

OBJETIVOS

Esta pesquisa bibliométrica tem como objetivo reunir o máximo de informações de publicações testes e dissertações que relacionem os módulos termoeletrônicos, suas características de geração de energia e calor desperdiçado em caldeiras. De maneira que esta pesquisa bibliométrica venha servir de embasamento, como uma fundação a uma futura pesquisa científica na área de eficiência energética.

Esta futura pesquisa científica, que será fruto desta pesquisa bibliométrica, tem como objetivo principal aumentar a eficiência de uma caldeira abastecida por gás natural. Utilizando um sistema de cogeração de energia composto por

módulos termoeletrônicos sobre o sistema de exaustão de uma caldeira. Seguido de dois objetivos específicos, onde o primeiro é efetuar testes sobre a eficácia do sistema de cogeração de energia composto de módulos termoeletrônicos aplicados à saída dos gases de exaustão de uma caldeira. E o segundo objetivo específico é testar o aumento da eficiência de uma caldeira ao aplicar o sistema de cogeração de energia composto pelos módulos termoeletrônicos.

METODOLOGIA

Para verificar os trabalhos relacionados a este projeto e verificar sua originalidade foi realizado um levantamento bibliométrico para obter o estado da arte do assunto: “Cogeração de energia através do efeito Seebeck em caldeiras”.

Foram feitas pesquisas no site de periódicos eletrônicos Capes que por sua vez efetua pesquisa dentro de outros sites como, por exemplo, o Elsevier (Journal of Cleaner Production), Emerald (International Journal of Sustainability in Higher Education). Além disso, foi utilizado o software livre Harzing’s Publish or Perish versão 5.24.1.6182.

A 1ª etapa da pesquisa nos sites foi realizada em dezembro de 2016 utilizando como palavras chave de busca os termos “Industrial boiler, thermoelectricity, seebeck” que em português é “Caldeira industrial, termoeletricidade, Seebeck”.

Na 2ª etapa da pesquisa a prioridade foram os trabalhos apresentados a partir de 2010 delimitando os artigos. O fato de filtrar os artigos mais novos dos últimos seis anos leva em consideração a evolução dos materiais que compõem os módulos termoeletrônicos. Visto que os artigos mais recentes apresentam módulos termoeletrônicos mais modernos com melhor desempenho.

E para a 3ª etapa da pesquisa foi efetuada uma procura pelos títulos onde foi possível melhorar a seleção dos artigos utilizando um filtro rejeitando palavras. As palavras utilizadas no filtro de rejeito foram “solar, rankine, teological, handbook, book, turbine, treating organic, fiber optic, controller” que em português são “Solar, rankine, teológico, manual, livro, turbina, tratamento, orgânica, fibra óptica, controlador”.

Devido a escolha de se utilizar por dois meios de pesquisa, o site periódicos CAPES e o software livre Harzing’s Publish or Perish versão 5.24.1.6182, foram identificados artigos duplicados. Isto se deve ao fato de que o software livre efetua uma busca muito ampla em uma base de dados semelhante a utilizada no site do periódicos CAPES.

Para eliminar resultados ambíguos foi executada uma varredura por nomes de artigos e seus autores e manualmente foram excluídos da listagem, que por fim refinou os resultados por não conterem duplicidades.

RESULTADOS

Foram levados em conta a quantidade de artigos encontrados, números de autores e principalmente número de citações, o que demonstra o fator de impacto. Como resultado para a realização do estudo bibliométrico onde foi feito um levantamento de publicações, teses e dissertações referentes a esse assunto no site de periódicos eletrônicos Capes que por sua vez efetua pesquisa dentro de outros sites como, por exemplo, o Elsevier (Journal of Cleaner Production), Emerald (International Journal of Sustainability in Higher Education).

Utilizando o software livre Harzing’s Publish or Perish versão 5.24.1.6182. Na 1ª etapa da pesquisa ao efetuar as buscas em dezembro de 2016 utilizando como palavras chave de busca os termos “Industrial boiler, thermoelectricity, seebeck” que em português é “Caldeira industrial, termoeletricidade, Seebeck”. Foi possível encontrar um total de 631 artigos, com 385 autores e um total de 8407 citações, como pode ser observado na figura 3.



Figura 3 - Gráfico 1ª etapa. Fonte: Autor do Trabalho

Logo foi aplicado o filtro de data buscando os artigos com tecnologias mais recentes desde o ano de 2010, resultando em 377 artigos na 2ª etapa da pesquisa. Foi possível encontrar um total de 377 artigos, com 211 autores e um total de 4452 citações, como pode ser observado na figura 4.



Figura 4 – Gráfico 2ª etapa. Fonte: Autor do Trabalho

Ao vasculhar todos os títulos foi utilizado um filtro rejeitando palavras, as quais foram “solar, rankine, teological, handbook, book, turbine, treating organic, fiber optic, controller” que em português são “Solar, rankine, teológico, manual, livro, turbina, tratamento, orgânica, fibra óptica, controlador”. O que delimitou para um total de 27 artigos na 3ª etapa da pesquisa. Foi possível encontrar um total de 27 artigos, com 83 autores e um total de 278 citações, como pode ser observado figura 5.

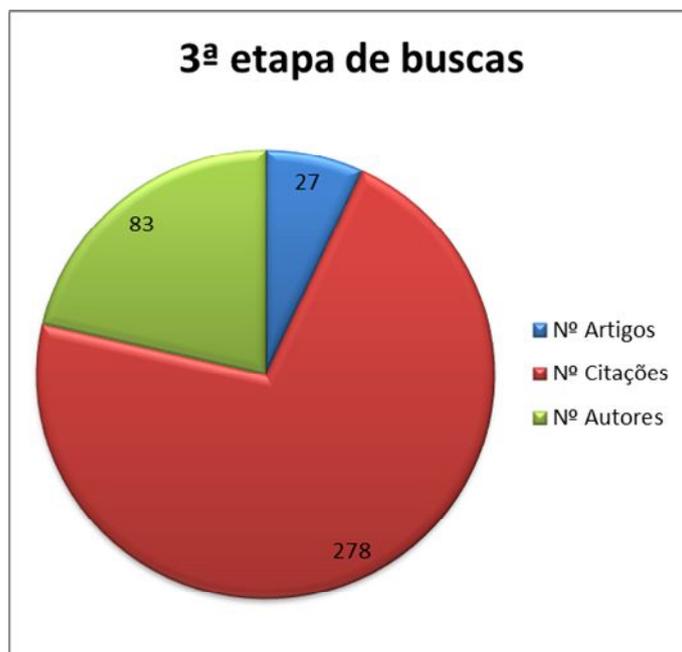


Figura 5 - Gráfico 3ª etapa. Fonte: Autor do Trabalho

Todas as etapas da pesquisa bibliométrica podem ser observadas conforme é demonstrado na tabela 1.

Tabela 1

Pesquisa Bibliométrica			
	1º etapa	2º etapa	3º etapa
Nº Artigos	631	377	27
Nº Citações	8407	4452	278
Nº Autores	385	211	83
Ano de publicação	1847 - 2016	2010-2016	2010-2016

Através da quantidade de quantidade de artigos publicados nos anos de 2010 a 2016 podemos observar o nível de interesse dos pesquisadores, o que demonstra que apesar do grande potencial do efeito seebeck, o assunto ainda é pouco explorado. Como podemos observar através da tabela 2.

Tabela 2

Ano	Nª de publicações
2010	5
2011	6
2012	2
2013	4
2014	3
2015	4
2016	3

CONCLUSÕES

Através deste estudo foram identificados muitos estudos sobre o efeito Seebeck no exterior, sendo um assunto ainda pouco explorado no Brasil. A cogeração de energia através do efeito Seebeck não é um tema abordado em artigos científicos brasileiros nas plataformas pesquisadas, apesar de apresentar grande potencial efetivo em cogeração de energia e relevante contribuição científica para publicações. Em contra partida foram encontradas teses de mestrado contendo grandes pesquisas referentes ao assunto pesquisado neste artigo foram encontradas. O que ressalta a importância não só do assunto, mas também o potencial à sua publicação em revistas científicas para que exista uma efetiva contribuição à comunidade científica. Outro fator importante é a inovação tecnológica por se tratar de estudo bibliométrico de duas tecnologias já conhecidas. A tecnologia das caldeiras e a tecnologia dos módulos termoeletricos. Onde até a data da edição deste artigo não fora encontrado publicações que se utilizam destas duas tecnologias para efetuar cogeração de energia.

Desta maneira, as teses de maior importância para esta pesquisa bibliométrica e que tratam sobre os assuntos aqui pesquisados são abordas neste artigo devido ao fato de colaborarem para o desenvolvimento da pesquisa científica de cogeração de energia termoeletrica no sistema de exaustão de caldeiras.

Costa (2010) propôs um aumento teórico do rendimento do efeito Seebeck em fios quânticos compostos por telureto de chumbo PbTe em substituição ao telureto de bismuto Bi₂Te₃. Costa (2010) mensurou as propriedades termoeletricas e eletrônicas de fios quânticos compostos por PbTe a partir da análise de variações na condutância e no efeito Seebeck dos fios em função da geometria e de parâmetros estruturais, além de efetuar estudos comparativos com resultados experimentais ao longo das direções dos fios quânticos.

Carvalho (2012) apresenta uma proposta de geração de energia a partir do calor gerado no escapamento de um automóvel utilizando módulos termoeletricos. Em sua pesquisa, Carvalho (2012) comprova a eficácia de seu projeto para a geração de energia limpa sem a liberação de resíduos nocivos para o meio ambiente.

Fernandes (2012) propôs a utilização de módulos termoelétricos para desenvolver um sistema de recuperação de energia de um equipamento industrial. Em seu trabalho, através de ensaios, Fernandes (2012) comprovou a eficácia da utilização de um gerador termoelétrico constituído por placas termoelétricas alocadas em uma tubulação de alumínio, com face externa octogonal, gerando energia limpa e sem liberação de resíduos para o meio ambiente.

O presente trabalho buscou demonstrar uma análise quantitativa as publicações científicas em revistas e periódicos sobre a cogeração de energia através do efeito Seebeck.

Para um amadurecimento do assunto e como proposta de trabalhos futuros é de sobremaneira relevante e necessário que sejam efetuadas novas pesquisas o assunto, como pesquisas qualitativas com enfoque nos métodos utilizados e resultados obtidos na cogeração de energia através do efeito Seebeck.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Anacleto, A. M. C. Temperatura e sua medição. (2007). 218f. Dissertação (mestrado em departamento de física) - faculdade de ciências da universidade do porto, Faculdade de Ciências da Universidade do Porto - Portugal.
2. Aung Nn, et al. (2015) Development of self-powered wireless high temperature electrochemical sensor for in situ corrosion monitoring of coal-fired power plant. *Isa transactions*, elsevier. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0019057814002286>> acesso em: 02 de dezembro de 2016
3. Bensaid et al. (2012) High efficiency thermo-electric power generator. *Hydrogen energy publications*, Ilc. Published by elsevier ltd. , italy, n.37, p.1385-1398. Doi:10.1016/j.ijhydene.2011.09.125
4. Bhatt, M. S.; jothibas, s. (1999) Performance enhancement in coal fired thermal power plants. Part i: boilers. *International journal of energy research*, india, v.23, n.3, p.465-487.
5. Borcuch M, et al. (2016) The analysis of heat exchangers geometry in thermoelectric generators for waste heat utilization. *E3s web*. Disponível em: <http://www.e3s-conferences.org/articles/e3sconf/abs/2016/05/e3sconf_seed2016_00003/e3sconf_seed2016_00003.html> acesso em: 02 de dezembro de 2016
6. Barati M, et al. (2011) Energy recovery from high temperature slags. *Energy*, elsevier. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0360544211004555>> acesso em: 02 de dezembro de 2016
7. Borgnakke, C.; Sonntag, R. E.; Wylen, G. J. V. (2003) Fundamentos da termodinâmica. Sexta. Ed. São paulo-sp: editora edgard blucher ltda. 577p.
8. Carvalho, C. A. R. (2012) Estudo da viabilidade do aproveitamento do calor de escape para a geração de energia elétrica em automóveis. 68f. Dissertação (mestrado em engenharia mecânica) - universidade de taubaté, taubaté - são paulo, 2012.
9. Bianchini A, et al. (2010) Innovative stand-alone biomass boiler characterized by low pm emission. *Researchgate.net*. Disponível em: <https://www.researchgate.net/profile/marco_pellegrini6/publication/309726868_innovative_stand-alone_biomass_boiler_characterized_by_low_pm_emission/links/581f5fa108aea429b298ddfd.pdf> acesso em: 02 de dezembro de 2016
10. Bianchini A, et al. (2014) Thermoelectric cells cogeneration from biomass power plant. *Energy procedia*, elsevier, n.1876610214000307, 8. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1876610214000307>> acesso em: 02 de dezembro de 2016
11. Colombo, F. M. R. M. J. B. E. (2010) Cfd feasibility analysis of an improved cook stove (ics) for electricity production. *Researchgate.net*. Disponível em: <https://www.researchgate.net/profile/jacopo_barbieri/publication/282005741_cfd_feasibility_analysis_of_an_improved_cook_stove_ics_for_electricity_production/links/5601223208aeba1d9f84edec.pdf> acesso em: 02 de dezembro de 2016
12. Costa, V. A. (2010) Estudo das propriedades termoelétricas de fios quânticos de telureto de chumbo. 92f. Monografia (bacharelado em engenharia e tecnologia espaciais /ciência e tecnologia de materiais e sensores) - instituto nacional de pesquisas espaciais - inpe, são josé dos campos, 2010.. Inpe-16679-tdi/1624 disponível em: <<http://urlib.net/sid.inpe.br/mtc-m19@80/2010/01.18.16.50>> acesso em: 3 dez. 2016
13. Dm Rowe, (1989) Estados Unidos Termoelétricos Atividades no espaço, in: proceedings viii int conf on termelétrica conversão de energia, nancy, França,, pp. 133e142.
14. Duff, M.; Towey, J. (2010) Two ways to measure temperature using thermocouples feature simplicity, accuracy, and flexibility. *Analog dialogue*, analog.com. Disponível em: <<http://www.analog.com/library/analogdialogue/archives/44-10/thermocouple.html/thermocouple.pdf>> acesso em: 02 de dezembro de 2016

15. Engler O, et al. (2013) Impact of homogenization on particles in the al–mg–mn alloy aa 5454–experiment and simulation. Journal of alloys and compounds, elsevier. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0925838813002260>> acesso em: 02 de dezembro de 2016
16. Fernandes, A. E. S. S. (2012) Conversão de energia com células de peltier. 119f. Dissertação (mestrado em energias renováveis - conversão elétrica e utilização sustentáveis (merceus)) - fct - faculdade de ciência e tecnologia universidade nova de lisboa, lisboa - portugal, 2012.
17. Gerthsen, et al. (1998) Física. Segunda. Ed. Av. De berna lisboa: fundação calouste gulbenkian. 959p. Tradução do original alemão intitulado physik. Ein lehrbuch zum gebrauch neben vorlesungen
18. Hayden, A.; Qiu, K. (2011) Development of thermoelectric self-powered heating equipment. Journal of electronic materials. Disponível em: <<http://link.springer.com/article/10.1007/s11664-010-1473-0>> acesso em: 02 de dezembro de 2016
19. Höftberger E, et al. (2010) Grid autarchy of automated pellets combustion systems by the means of thermoelectric generators. Goes thermoelectrics. Disponível em: <https://scholar.google.com/scholar?cites=2982152798524164355&as_sdt=2005&scioldt=0,5&hl=en&num=20> acesso em: 02 de dezembro de 2016
20. Kreith, F.; Bohn, M. S. (2003) Princípios de transferência de calor. São paulo: pioneira thomson learning. 623p.
21. Moura, J. A. S. (2010) Filmes nanométricos de fen e aln crescidos por sputtering e aplicações do efeito peltier. 131f. Tese (doutorado em programa de pós-graduação em física) - universidade federal do rio grande do norte, natal-rn, brasil, 2010.
22. Mason, R.; White, D. A (2010) Thermocouple homogeneity scanner based on an open pressure-controlled water heatpipe. Springer, international journal of thermophysics. Disponível em: <<http://link.springer.com/article/10.1007/s10765-010-0820-y>> acesso em: 02 de dezembro de 2016
23. Ma Hk, et al. (2015) Waste heat recovery using a thermoelectric power generation system in a biomass gasifier. Applied thermal engineering, elsevier. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1359431114008424>> acesso em: 02 de dezembro de 2016
24. Rezanía, A.; Rosendahl, L. A (2015) Comparison of micro-structured flat-plate and cross-cut heat sinks for thermoelectric generation application. Energy conversion and management, elsevier. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0196890415005294>> acesso em: 02 de dezembro de 2016
25. Rodríguez A, et al. (2014) Experimental study and optimization of thermoelectricity-driven autonomous sensors for the chimney of a biomass power plant. Journal of electronic. Disponível em: <<http://link.springer.com/article/10.1007/s11664-014-3097-2>> acesso em: 02 de dezembro de 2016
26. Rosendahl La, et al. (2011) Hybrid solid oxide fuel cell and thermoelectric generator for maximum power output in micro-chp systems. Journal of electronic. Disponível em: <<http://link.springer.com/article/10.1007/s11664-011-1552-x>> acesso em: 02 de dezembro de 2016
27. Sakurada, S.; Shutoh, N. (2010) Thermoelectric material, thermoelectric conversion module and thermoelectric power generating device using the same. Us patent 7,851,692. Disponível em: <https://scholar.google.com/scholar?cites=94234365791727114&as_sdt=2005&scioldt=0,5&hl=en&num=20> acesso em: 02 de dezembro de 2016
28. Mityakov, V.; Sapozhnikov, s. (2010) High-temperature heat transfer investigations using heterogeneous gradient sensors. Asmedigitalcollection.asme.org, conferences. Disponível em: <http://proceedings.asmedigitalcollection.asme.org/data/conferences/ihtc14/72314/19_1.pdf> acesso em: 02 de dezembro de 2016
29. Yatim, N. (2012) “Open-short circuit” dimensionless figure-of-merit (zt) measurement technique for investigation of thermoelements and segmented thermoelectric. Orca.cf.ac.uk. Disponível em: <<http://orca.cf.ac.uk/37335/1/2012mdyatimnphd.pdf>> acesso em: 02 de dezembro de 2016
30. Zhang, z.; Zhou, h. (2011) Research on the intramural thermoelectric generator for lower speed fluid. Ieeexplore.ieee.org, consumer electronics, communications, n.5768965. Disponível em: <http://ieeexplore.ieee.org/xpls/abs_all.jsp?arnumber=5768965> acesso em: 02 de dezembro de 2016
31. Zhang z, et al. (2011) Modeling and simulations on the intramural thermoelectric generator of lower-re-fluid. Springer, advanced research on electronic commerce.
32. Zhang h, et al. (2013) A review of waste heat recovery technologies towards molten slag in steel industry. Applied energy, elsevier. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S030626191300127x>> acesso em: 02 de dezembro de 2016