



Título: VARIAÇÕES NO FLUXO GEOTERMAL RASO EM LOCAIS COM DIFERENTES GRAUS DE PROTEÇÃO VEGETAL NA CIDADE DE HUMAITÁ (AM).

Elizabeth Tavares Pimentel*; Rutenio Luiz Castro de Araujo*.

*-Universidade Federal do Amazonas

Copyright 2009, SBGf - Sociedade Brasileira de Geofísica

This paper was prepared for presentation during the 11th International Congress of the Brazilian Geophysical Society held in Salvador, Brazil, August 24-28, 2009.

Contents of this paper were reviewed by the Technical Committee of the 11th International Congress of the Brazilian Geophysical Society and do not necessarily represent any position of the SBGf, its officers or members. Electronic reproduction or storage of any part of this paper for commercial purposes without the written consent of the Brazilian Geophysical Society is prohibited.

Resumo

A realização de monitoramento geotérmico na cidade de Humaitá-Am, no período de outubro/2007 a setembro/2008, às profundidades de 0,02 m, 0,5 m e 1,0 m, em locais com (c/c) e sem (s/c) cobertura vegetal, permitiu avaliações do fluxo geotérmico raso em escala local. Também foram utilizados os dados de condutividade térmica de amostras obtidas no local estudado. Os resultados obtidos indicam variações do valor médio do fluxo geotérmico raso de até $0,60 \text{ W/m}^2$, à profundidade de 0,5 m e de $0,15 \text{ W/m}^2$, à profundidade de 1,0 m. Tais variações foram da ordem de 10^3 acima do valor do fluxo terrestre profundo na região. Constatou-se a influência da proteção vegetal nos valores do fluxo geotérmico raso, às profundidades estudadas. A existência de variações mensuráveis do fluxo a 1,0 m de profundidade indica que tais valores não podem ser negligenciáveis, nem associadas somente ao fluxo geotérmico proveniente do interior da Terra, deve-se considerar também a intensidade da radiação solar incidente na superfície terrestre local.

Introdução

Na superfície da Terra, a principal contribuição para a energia geotérmica é procedente da radiação solar. Enquanto que, nas camadas mais profundas, a energia geotérmica é oriunda do interior da Terra (composta por diferentes fontes). As influências das variações térmicas profundas são eliminadas em estudos realizados na superfície e subsuperfície terrestre, assim como, os fenômenos que ocorrem no interior da Terra não podem ser explicados pela energia que este planeta recebe do Sol. No entanto, investigações geotérmicas realizadas na região Amazônica desde a década de 1970, mostram ampliações significativas das variações das magnitudes da temperatura em superfície e em subsuperfície na região, como, também, do fluxo geotérmico local. Entre os trabalhos realizados, destacam-se principalmente os trabalhos de Oliveira et al., 2006; Souza et al., 2006; Araujo et al., 2004; Kalnay e Ming, 2003; Roy et al., 1971.

Pesquisas realizadas em áreas com características diferentes das zonas tropicais úmidas mostram que as

perturbações térmicas, provocadas pela incidência do fluxo de radiação solar na superfície terrestre, propagam-se em direção às camadas subsuperficiais sendo a variação térmica diurna eliminada à 1,0 m de profundidade, enquanto que a variação térmica sazonal atinge profundidades da ordem de 25,0 a 30,0 m (ASTIER, 1975; BECK, 1965; BOWEN, 1966). Trabalhos científicos realizados na região Amazônica registraram perturbações geotérmicas tanto diurnas quanto sazonais, às profundidades superiores às aquelas acima citadas (ARAUJO, 2004; ARAUJO, 1999; ARAUJO, 1987; ARAUJO et al., 1984; ARAUJO & SILVA, 1982 e SERRA, 2002). Esta pesquisa realizada na cidade de Humaitá – Am ratifica estes autores e também, quantifica e analisa as influências no fluxo geotérmico raso geradas pela mudança na cobertura vegetal. Tal ratificação é de grande importância não somente para os estudos geotérmicos na Amazônia como, ainda, para os estudos ambientais, climatológicos, agrônômicos, florestais e sociais, já que significativas variações do fluxo geotérmico ocorrentes às pequenas profundidades podem acarretar efeitos intensos e indesejáveis nessas áreas da ciência.

Procedimentos Metodológicos

A cidade de Humaitá está situada ao sul do Estado do Amazonas, à margem esquerda do rio Madeira. Nesta cidade foram perfurados dois furos, de 1,0 m de profundidade, cada, situados no Instituto de Agricultura e Ambiente da UFAM, nos quais foram realizados programas de monitoramento geotérmico, durante o período de outubro de 2007 a setembro de 2008, estando um destes furos em local c/c e o outro furo em local s/c. Foram instalados sensores de termistores nos furos, às profundidades de 0,02 m, 0,5 m e 1,0 m, e as medidas de temperatura foram realizadas nos horários das 8 h, 13 h e 18 h. Os valores de condutividade térmica foram obtidos através do método transiente de calor, utilizando o aparato tipo agulha. Foram calculados os valores mensais do fluxo geotérmico raso, através do produto do gradiente geotérmico pela condutividade térmica do material geológico local (BECK, 1965), às profundidades de 0,5 m e 1,0 m para todo o ciclo climático de período de um ano, nos três horários em estudo, ou sejam, 8 h, 13 h e 18 h, nos locais s/c e c/c.

Resultados e Discussão

O valor médio do fluxo geotérmico profundo ao longo da superfície terrestre, não é homogêneo. Desde os anos 60 que se tem estado a coligir várias medidas de fluxo geotérmico efetuadas ao longo da Terra, por exemplo, tem-se diferentes valores para o fluxo de calor nos

continentes, fluxo de calor nas zonas de subducção e assim para cada local estudado.

Os resultados de trabalhos realizados na região Amazônica mostram apenas, pequenas diferenças entre os valores médios do fluxo geotérmico profundo para os diversos locais estudados. No trabalho de Araujo (1987) foi obtido o valor de 42,16 mW/m², para a região metropolitana de Belém-PA, enquanto que no trabalho de Carvalho et al. (1986) obteve-se o valor de 44 mW/m², para a Bacia do Médio Amazonas, já no trabalho de Araujo (1999), foi obtido o valor de 44,91 mW/m² para a cidade de Manaus-AM. Ainda no trabalho de Vitorello (1978) foi obtido para três lugares situados no Cráton São Francisco, compreendendo rochas com idades do Ciclo Transamazônico ou mais antigas, o valor de 41,8 mW/m². Diante disso, neste trabalho, toma-se como referência para efeito de análises o valor médio do fluxo geotermal profundo obtido por Araujo (1999) em Manaus-AM, que é a região mais próxima dos locais estudados.

Variações no Fluxo Geotermal Raso a 0,5 m de profundidade

Os quadros 1 e 2 apresentam os valores mensais do fluxo geotermal raso às 13 h, a 0,5 m de profundidade, nos locais s/c e c/c, respectivamente, e também, apresenta os valores do gradiente de temperatura e as variações da temperatura.

Quadro 1 - Valores mensais do fluxo geotermal raso a 0,5 m de profundidade, às 13 h, para o local s/c.

Tempo (mês)	ΔT (°C)	ΔZ (m)	G (°C/m)	Q (W/m ²)
Outubro/2007	-2,23	0,5	-4,65	-2,51
Novembro/2007	-0,89	0,5	-1,85	-1,00
Dezembro/2007	0,32	0,5	0,67	0,82
Janeiro/2008	0,38	0,5	0,79	0,97
Fevereiro/2008	-0,06	0,5	-1,13	-0,15
Março/2008	0,16	0,5	0,33	0,41
Abril/2008	-0,01	0,5	-0,02	-0,03
Mai/2008	0,29	0,5	0,60	0,74
Junho/2008	0,61	0,5	1,27	0,69
Julho/2008	-1,1	0,5	-2,29	-1,24
Agosto/2008	-1,58	0,5	-3,29	-1,78
Setembro/2008	-0,61	0,5	-1,27	-0,69

Para a condutividade térmica foi utilizado o valor de 0,54 W/m°C para o período considerado “seco”, que

compreende os meses de outubro e novembro de 2007, junho a setembro de 2008; e o valor de 1,23 W/m°C para o período considerado “chuvoso”, que abrange os meses de dezembro de 2007 a maio de 2008. Estes valores foram obtidos utilizando o aparato tipo agulha, similar aos descritos por Souza et al. (2006), Araujo et al. (2004), Araujo (1999), Von Herzen & Maxwell (1959), Smith (1973) e Carvalho (1981). O fluxo geotérmico transferido por condução é diretamente proporcional a condutividade térmica do material em estudo. A determinação de valores precisos da condutividade térmica é de importância fundamental para o desenvolvimento de qualquer estudo acerca do estado e comportamento do fluxo de calor em determinada área.

Quadro 2 - Valores mensais do fluxo geotermal a 0,5 m de profundidade, às 13 h, para o local c/c.

Tempo (mês)	ΔT (°C)	ΔZ (m)	G (°C/m)	Q (W/m ²)
Outubro/2007	0,60	0,5	1,25	0,68
Novembro/2007	0,66	0,5	1,38	0,74
Dezembro/2007	0,60	0,5	1,25	1,54
Janeiro/2008	0,82	0,5	1,71	2,1
Fevereiro/2008	0,52	0,5	1,08	1,33
Março/2008	0,53	0,5	1,10	1,36
Abril/2008	0,13	0,5	0,27	0,27
Mai/2008	0,27	0,5	0,56	0,69
Junho/2008	0,61	0,5	1,27	0,69
Julho/2008	0,32	0,5	0,67	0,38
Agosto/2008	0,29	0,5	0,60	0,33
Setembro/2008	0,67	0,5	1,40	0,75

A figura 1 mostra os resultados dos valores do fluxo geotermal raso a 0,5 m de profundidade, às 13 h, nos locais s/c e c/c.

Os valores absolutos mínimo e máximo do fluxo geotermal a 0,5 m de profundidade às 13 h, no local s/c foram de 1,0 W/m² e de 2,51 W/m², respectivamente. De acordo com Araujo (1999), o valor médio do fluxo geotermal profundo na região de Manaus-Am é de 44,91x10⁻³ W/m². Considerando em termos absolutos, os valores máximo e mínimo representam aproximadamente 2,1x10³ a 5,5x10³ % acima do valor do fluxo geotermal profundo. Já para o local c/c, nas mesmas condições físicas, os valores foram de 0,33 W/m² para o valor mínimo e de 2,10 W/m² para o valor máximo, o que representa em termos absolutos de 634,8 a 4,6x10³ %

acima do valor médio do fluxo profundo na região em estudo. A variação entre o máximo e o mínimo no local s/c foi de $1,51 \text{ W/m}^2$, enquanto que no local c/c foi de $1,77 \text{ W/m}^2$, o que representa $3,3 \times 10^3$ e $3,8 \times 10^3$ % acima do valor médio do fluxo profundo terrestre local.

O valor médio do fluxo geotermal raso, no local s/c, foi de $-0,31 \text{ W/m}^2$, e de $0,91 \text{ W/m}^2$ no local c/c, portanto, registrou-se variação de $0,60 \text{ W/m}^2$; isso representa em termos absolutos, $1,2 \times 10^3$ % acima do valor médio do fluxo profundo na região. O sinal negativo indica que o fluxo geotérmico flui no sentido das camadas de menor para as de maior profundidade, o que ocorre na maior parte do período estudado no local sem cobertura vegetal; o sinal positivo indica o inverso, ou seja, o fluxo geotermal flui no sentido das camadas de maior para as de menor profundidade, ocorrendo no local c/c e em alguns meses no local s/c. Nota-se que esses resultados são extremamente elevados em relação ao valor médio do fluxo geotermal profundo, portanto, não se pode dizer que fluxo geotérmico raso local encontrado é oriundo somente do interior da Terra, consequentemente, há mensurável influência da fonte externa no regime geotermal raso local.

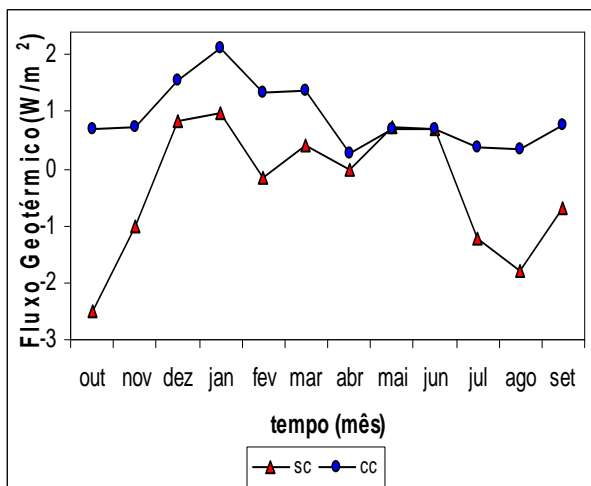


Figura 1 – Variação dos valores médios mensais do fluxo geotermal raso, a 0,5 m de profundidade, às 13 h, para o período de outubro/2007 a setembro/2008, nos locais s/c e c/c.

Variações no Fluxo Geotermal Raso a 1,0 m de profundidade

Nos quadros 3 e 4 são apresentados os valores do fluxo geotermal raso e todos os parâmetros descritos no item anterior, às 13 h, sendo que para a profundidade de 1,0 m. A figura 2 apresenta os resultados dos valores do fluxo geotermal raso, às 13 h, a 1,0 m de profundidade, para os locais s/c e c/c.

Os valores absolutos mínimo e máximo do fluxo geotermal a 1,0 m de profundidade, às 13 h, no local s/c foram de $0,02 \text{ W/m}^2$ e de $0,64 \text{ W/m}^2$, respectivamente. O

valor mínimo representa 44,53 % acima do valor médio do fluxo profundo na região, e o valor máximo representa $1,325 \times 10^3$ % acima desse valor. Considerando as mesmas condições físicas para o local com c/c, os valores foram de $0,09 \text{ W/m}^2$ para o valor mínimo e de $0,71 \text{ W/m}^2$ para o valor máximo. O valor mínimo representa em termos absolutos de 100,40 % acima do valor médio do fluxo profundo, e o valor máximo representa $1,5 \times 10^3$ % acima deste mesmo valor. A variação entre os valores máximo e o mínimo no local sem cobertura vegetal foi de $0,62 \text{ W/m}^2$, enquanto que no local com cobertura vegetal também foi de $0,62 \text{ W/m}^2$, ambos representando $1,3 \times 10^3$ % acima do valor médio do fluxo profundo terrestre local.

Quadro 4 - Valores mensais do fluxo geotermal a 1,0 m de profundidade, às 13 h, para o local s/c.

Tempo (mês)	ΔT (°C)	ΔZ (m)	G (°C/m)	Q (W/m²)
Outubro/2007	-0,26	1,0	-0,52	-0,28
Novembro/2007	0,02	1,0	0,04	0,02
Dezembro/2007	0,06	1,0	0,12	0,15
Janeiro/2008	0,26	1,0	0,52	0,64
Fevereiro/2008	0,17	1,0	0,34	0,42
Março/2008	0,1	1,0	0,20	0,25
Abril/2008	-0,06	1,0	-0,12	-0,15
Mai/2008	0,12	1,0	0,24	0,30
Junho/2008	0,27	1,0	0,54	0,29
Julho/2008	-0,30	1,0	-0,60	-0,32
Agosto/2008	-0,52	1,0	-1,04	-0,56
Setembro/2008	-0,02	1,0	-0,04	-0,02

O valor médio do fluxo geotermal raso no local s/c foi de $-0,06 \text{ W/m}^2$ e de $0,21 \text{ W/m}^2$ no local c/c, portanto, registrou-se variação de $0,15 \text{ W/m}^2$. Isso representa em termos absolutos, 234,0 % acima do valor médio do fluxo profundo na região.

Observa-se que os valores do fluxo geotermal raso são perfeitamente mensuráveis a 1,0 m de profundidade. Mediu-se valores extremamente elevados em relação ao valor do fluxo médio profundo na região, portanto, não podem ser desprezíveis, e também não podem ser explicados exclusivamente como parte do fluxo de calor proveniente do interior da Terra.

Quadro 4 - Valores mensais do fluxo geotermal a 1,0 m de profundidade, às 13 h, para o local c/c.

Tempo (mês)	ΔT (°C)	ΔZ (m)	G (°C/m)	Q (W/m ²)
Outubro/2007	0,08	1,0	0,16	0,09
Novembro/2007	0,10	1,0	0,20	0,11
Dezembro/2007	0,	1,0	0,28	0,34
Janeiro/2008	0,29	1,0	0,58	0,71
Fevereiro/2008	0,17	1,0	0,34	0,42
Março/2008	0,16	1,0	0,32	0,39
Abril/2008	0,03	1,0	0,06	0,33
Mai/2008	0,09	1,0	0,18	0,22
Junho/2008	0,18	1,0	0,36	0,19
Julho/2008	-0,17	1,0	-0,34	-0,18
Agosto/2008	-0,23	1,0	-0,46	-0,25
Setembro/2008	0,08	1,0	0,16	0,09

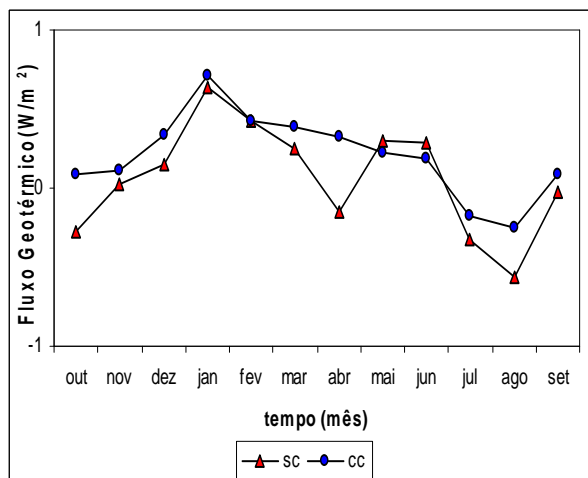


Figura 2 – Variação dos valores médios mensais do fluxo geotermal raso, a 1,0 m de profundidade, às 13 h, para o período de outubro/2007 a setembro/2008, nos locais s/c e c/c.

Para comparar os valores do fluxo geotermal raso à profundidade de 0,5 m com o fluxo geotermal raso à profundidade de 1,0 m, mostra-se as figuras 3 e 4.

Na figura 3, observa-se dois períodos característicos, sendo melhor observado à profundidade 0,5 m. Nota-se que no intervalo entre os meses de dezembro/2007 a

junho/2008, tem-se um período de menor variação do fluxo de calor em valores absolutos, enquanto que no intervalo de julho/2008 a setembro/2008 e outubro/2007 a novembro/2007, tem-se um período com maior variação do fluxo de calor, em valores absolutos. O período de menor variação do fluxo de calor coincide com o período “chuvoso” e o de maior variação do fluxo de calor coincide com o período “seco”. As mudanças na condutividade térmica influenciam diretamente nas variações dos valores do fluxo geotermal, assim como o gradiente de temperatura relativo a cada profundidade estudada.

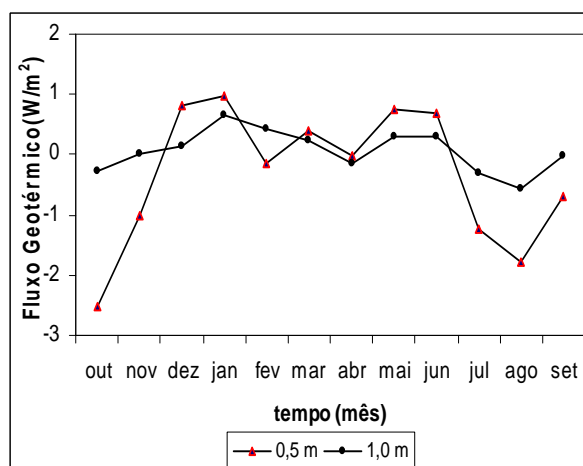


Figura 3 – Variação dos valores mensais do fluxo geotermal raso, a 0,5 m e 1,0 m de profundidade, às 13 h, para o período de outubro/2007 a setembro/2008, no local s/c e c/c.

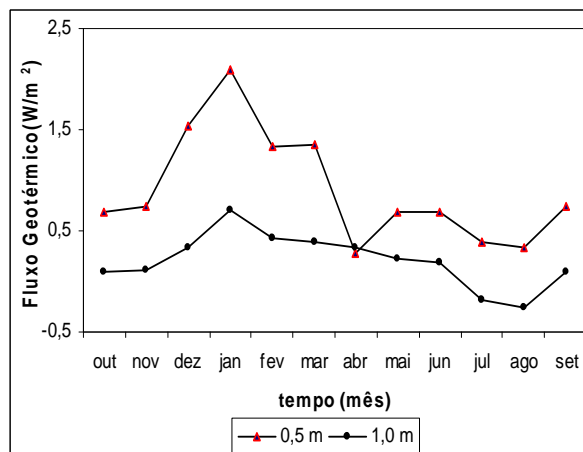


Figura 4 – Variação dos valores médios mensais do fluxo geotermal raso, a 0,5 m e 1,0 m de profundidade, às 13 h, para o período de outubro/2007 a setembro/2008, no local c/c.

A figura 4 mostra nitidamente, mais uma vez, que há variações significativas do fluxo geotermal raso ocorrentes a 0,5 m e a 1,0 m de profundidade, portanto,

tais variações não podem ser desconsideradas, nem tão pouco associadas somente ao fluxo geotermal proveniente do interior da Terra, deve-se considerar também a intensidade da radiação solar incidente na superfície terrestre local.

Conclusões

O valor médio absoluto do fluxo geotermal raso, às 13 h, a 0,5 m de profundidade, no local s/c foi de $0,31 \text{ W/m}^2$, e no local c/c foi de $0,91 \text{ W/m}^2$, registrou-se variação de $0,60 \text{ W/m}^2$. Essa variação representa, em termos absolutos, $1,2 \times 10^3 \%$ acima do valor médio do fluxo profundo na região. A 1,0 m de profundidade o valor médio do fluxo geotermal raso, no local s/c, foi de $0,06 \text{ W/m}^2$, e no local c/c foi de $0,21 \text{ W/m}^2$, portanto, registrou-se variação de $0,15 \text{ W/m}^2$ entre esses valores. Isso representa, em termos absolutos, $234,0 \%$ acima do valor médio do fluxo profundo terrestre na região. Observou-se que essas variações são bastante elevadas em relação ao fluxo médio profundo na região, e são mensuráveis à 1,0 m de profundidade, logo, não podem ser associadas ao fluxo de calor oriundo do interior da Terra

Considera-se que os resultados apresentados neste trabalho são perfeitamente normais, não caracterizando qualquer anomalia geodinâmica.

Referências

- ARAUJO, R. L. C. e SILVA, R.M. Estimativas Preliminares do Gradiente Geotérmico Concernente a cidade de Manaus. In: Anais do XXXII Congresso Brasileiro de Geologia, Salvador, 1982, v. 4, p. 1615–1620.
- ARAUJO R. L. C., SOUZA J. R. S., MAKINO, M. Análise de Perfis de Temperatura na Camada Intempérica da Área Metropolitana de Belém. In: Anais do XXXIII Congresso Brasileiro de Geologia, Rio de Janeiro, 1984, p. 1073–2088.
- ARAUJO, R.L.C. Geotermia Rasa em Belém. 1987. 149p. Tese (Doutorado em Geociências) - Centro de Geociências da Universidade do Pará, Belém-PA.
- ARAUJO, R. L. C. Contribuição da Geotermia Rasa aos Estudos Ambientais, Manaus: ed. EDUA, 1999. 88p.
- ARAUJO, R. L. C., SILVA, R.M., CARVALHO, J.S., MONTEIRO, I. B. Influência Ambiental Sobre a Estrutura Geotermal Rasa. Revista Brasileira de Geofísica, Rio de Janeiro, n.1, v.22, p. 33-44, 2004.
- ASTIER, J. Geofísica Aplicada a la Hidrogeologia. Madrid: Ed. Paraninfo, 1975. 344p.
- BECK, A. E. Techniques of Measuring Heat Flow on Land. In: Lee, W. Terrestrial Heat Flow. Washington. American Geophysical Union, p. 24-57, 1965.
- BOWEN, R. Paleotemperature Analysis. Methods in Geochemistry and Geophysics. Elsevier. Publishing, p. 265, 1966.
- CARVALHO, H.S. Método Para Determinação de Fluxo Geotérmico com Aplicação às Bacias Sedimentares Petrolíferas do Recôncavo Baiano (Brasil) e Sumatra (Indonésia). 1981. 92p. Tese (Doutorado). Universidade Federal da Bahia. Salvador –BA.
- CARVALHO, H.S.; LOBO, P.F.S.; CAMPOS, J.N.P. and ZEMBRUSCKI, S.G. Heat Flow and Hydrodynamic Study in the Medium Amazon Basin. In: International Meeting on Geothermics and Geothermal Energy, São Paulo, 1986, p. 107.
- KALNAY, E. and KAI, MING. Impact of Urbanization and Land-Use Change on Climate. Nature, v.23, p. 528-531, 2003.
- OLIVEIRA, F. N. M., ARAUJO, R. L. C., CARVALHO, J. S., SILVA, C. L. Inferência de Mudanças Climáticas na Região de Manaus (AM) Usando Dados Geotermiais e Meteorológicos. Revista Brasileira de Geofísica., v.24, p.169 - 187, 2006.
- ROY, R. F., BLACKWELL, D. D., DECKER, E. R. Continental heat flow. In: ROBERTSON, R. The Nature of the Soil, New York: Ed. Mc Graw-Hill, p. 506-543, 1971.
- SERRA, P. N. Determinação da Profundidade de Influência da Perturbação Térmica Sazonal Gerada pelo Aquecimento Solar na Região Metropolitana de Manaus. 2002. 80p. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal do Amazonas, Manaus-AM.
- SOUZA, J. R. S., MAKINO, M., ARAUJO, R. L. C. Heat Transfer and Thermal Properties of the Subsoil in Belém. Revista Brasileira de Geofísica, v. 7, p.19 - 28, 1989.
- SOUZA, J. R. S., MAKINO, M., ARAUJO, R. L. C., COHEN, J. C. P., PINHEIRO, F. M. A. Thermal Properties and Heat Fluxes in Soils Under Forest and Pasture in Marabá, PA, Brazil. Revista Brasileira de Meteorologia., v.21, p.89 - 103, 2006.
- SMITH, P.J. Topics in Geophysics. The Open University Press. New York, 1973. 303p.
- VITORELLO, I. Heat Flow and Radiogenic Heat Production in Brazil with Implications for a Thermal Evolution of Continents. 1978. 145 p. Tese de Ph.D. – University of Michigan, Michigan.
- VON HERZEN, R. & MAXWELL, A.E. The measurement of thermal conductivity of deep-sea sediments by a needle probe method. Journal of Geophysical Research. 64:1557-1563, 1959.