



## Variações do Fluxo Geotermal Raso na Região de Manaus

\* Irecê Barbosa Monteiro; \*\* Roberto Matias da Silva; \*\*\*Rutenio Luiz Castro de Araujo & \*\*\*João da Silva Carvalho  
\* Universidade do Estado do Amazonas; \*\* Fundação de Tecnologia do Estado do Acre; \*\*\* Universidade Federal do Amazonas

Copyright 2004, SBGf - Sociedade Brasileira de Geofísica  
*Este texto foi preparado para a apresentação no I Simpósio de Geofísica da Sociedade Brasileira de Geofísica, São Paulo, 26-28 de setembro de 2004. Seu conteúdo foi revisado pela Comissão Tecno-científica do I SR-SBGf mas não necessariamente representa a opinião da SBGf ou de seus associados. É proibida a reprodução total ou parcial deste material para propósitos comerciais sem prévia autorização da SBGf.*

### Resumo

Foi quantificado, para a área estudada, as variações dos parâmetros condutividade térmica e fluxo geotermal raso, à profundidade de 1,0m, durante um ciclo climático completo. Verificou-se que as fontes externas principais que influenciam diretamente esses parâmetros são o grau de cobertura vegetal superficial e os índices de precipitação pluviométrica e insolação locais. Foram observadas mudanças mensuráveis nos valores da condutividade térmica em amostras provenientes de um mesmo local, porém, coletadas em períodos distintos. Tais amostras apresentavam quantidades diferentes de água, cuja origem está relacionada às variações dos parâmetros climáticas locais. Os resultados auxiliam para o melhor conhecimento sobre a estrutura geotérmica rasa, determinando as faixas de variações sazonais do fluxo térmico terrestre local, a 1,0m de profundidade.

### Introdução

O fluxo geotérmico em estado de estratificação plana, pode ser definido pelo produto do gradiente de temperatura e da condutividade térmica características da região estudada, BECK (1965). Por outro lado, HEILAND (1940), HOLMAN (1983), MONGELLI (1994), assinalam que os valores da condutividade térmica, referentes a uma mesma amostra, podem ser muito diferentes entre si caso haja variações de parâmetros que possam interferir em suas propriedades. Como exemplo, podem ser citadas as variações da umidade e da temperatura.

Conforme ARAUJO (1999) e ARAUJO et al (1995), em estudos de geotermia rasa, realizados na região amazônica, foram observadas, freqüentemente, mudanças mensuráveis nos valores da condutividade térmica atinentes às amostras provenientes de um mesmo local, no entanto, coletadas em períodos distintos. Conseqüentemente, tais amostras apresentavam quantidades diferentes de água, sendo que esta quantidade de água é caracterizada como função da variação climática local.

O presente trabalho ratifica resultados e análises anteriores e, ainda, quantifica a faixa de variação dos

parâmetros geofísicos condutividade térmica e fluxo geotermal raso possibilitando, conseqüentemente, o melhor conhecimento acerca da estrutura geotermal rasa.

### Materiais e Métodos

As medidas de condutividade térmica atinentes a este trabalho foram realizadas com o aparato tipo agulha, que constitui um dos métodos mais precisos do estado transiente de calor. As amostras foram coletadas na cidade de Manaus.

Foram realizadas medidas de condutividade térmica em 12 amostras, sendo uma amostra representativa para cada mês do ano de 2000. Todas as amostras analisadas apresentaram um percentual de areia de cerca de 97%. Esses teores de areia foram obtidos através de procedimento de separação granulométrica. As amostras foram coletadas à profundidade de 1,0m, com o auxílio de um trado. As amostras tinham forma cilíndrica, com dimensões de 10,0cm de altura e 2,0cm de raio.

Logo após a coleta, as amostras foram armazenadas em recipientes apropriados e transportadas para o laboratório, onde foram realizadas as medidas. O intervalo de tempo decorrido entre a obtenção da amostra e a realização das respectivas medidas de condutividade térmica, foi de cinco minutos. Tal procedimento foi fundamental para que fosse minimizado o possível efeito da evaporação de fluidos contidos nas amostras. Foram realizadas, para cada amostra, quatro medidas sucessivas de condutividade térmica, a fim de se verificar a possível variação de erro de medida. O valor resultante da condutividade térmica, aqui apresentado, corresponde à média aritmética dessas quatro medidas, com erro da ordem de 4%.

As amostras foram pesadas com precisão de  $\pm 0,01g$  e secadas em estufa à temperatura de  $100^{\circ}C$ , onde permaneceram por um período de vinte e quatro horas. Em seguida, essas amostras foram novamente pesadas e, face às diferenças de massa, pode-se determinar o conteúdo de água anteriormente existente nas mesmas. O valor da temperatura de  $100^{\circ}C$  se deu em função de que a essa temperatura é removida da amostra somente a quantidade de água livre e a água fisicamente ligada, não ocorrendo, portanto, a remoção das águas quimicamente ligadas, que são as águas de cristalização e de constituição, já que caso suas remoções ocorressem, provocaria alterações mineralógicas (ARAUJO, 1999).

### Resultados e Discussão

Os gradientes de temperatura foram obtidos com os resultados do monitoramento térmico, realizado nos locais sem e com cobertura vegetal superficial, utilizando-

se um sensor de termistor, às profundidades de 0,0m e 1,0m, no horário das 14h.

#### Varição da Condutividade Térmica

A figura 1 mostra os valores de condutividade térmica e da quantidade de água existente nas amostras analisadas. Nota-se, nitidamente, nesta figura, que há uma relação direta entre estes dois parâmetros. Esta excelente relação é explicada pelo fato de que a condutividade térmica da água é aproximadamente vinte e duas vezes superior à condutividade térmica do ar (HOLMAN, 1983). Desta forma, o valor da condutividade térmica da amostra é acrescido quando o ar presente em seus interstícios é substituído pela água, aumentando de forma considerável a eficiência no transporte de calor ao longo do material analisado (ARAUJO, 1999).

A figura 2 mostra que existe uma eficiente relação direta entre a quantidade de água presente nas amostras e o índice de precipitação pluviométrica local. Existe também uma eficiente relação inversa entre a quantidade de água e a evaporação local, o que fica evidenciado na figura 3. Nota-se também, na figura 2, que existe uma nítida superioridade dos valores da condutividade térmica no período de maior precipitação pluviométrica, em relação ao período de menor precipitação pluviométrica. O valor da condutividade térmica da amostra analisada para o mês de abril, que é o mês representativo do período de maior precipitação pluviométrica na região é de  $2,72\text{W/m}^{\circ}\text{C}$ ; enquanto que o valor deste parâmetro, para a amostra analisada no mês de outubro, que é o mês representativo do período de menor precipitação pluviométrica é de  $2,31\text{W/m}^{\circ}\text{C}$ . Há uma variação de  $0,41\text{W/m}^{\circ}\text{C}$ , entre os meses representativos de cada período climático na região. Por conseguinte, fica caracterizado que a precipitação pluviométrica e a evaporação local constituem-se em fontes externas que provocam variações mensuráveis nos valores de condutividade térmica dos materiais situados na zona de aeração dos locais estudados.

Desta forma, pode-se concluir que os resultados dos valores de condutividade térmica dos materiais existentes na zona de aeração sofrem mudanças mensuráveis durante um ciclo climático. Essas mudanças são provocadas por variações das fontes externas que agem de forma eficiente sobre a estrutura geotermal rasa.

ARAUJO (1999) e ARAUJO et al. (1995), através de experimento realizado, em laboratório, com amostras arenosas e argilosas, obtidas próximas ao local onde a presente pesquisa foi desenvolvida, ratifica a obtenção dos valores de condutividade térmica obtidos por esse trabalho, como também, confirma a influência que exerce o conteúdo de água existente nas amostras sobre os valores de condutividade térmica, tanto para o material arenoso como, também, para o material argiloso.

Face ao fato de ocorrer variações expressivas nos valores de condutividade térmica em profundidades onde são realizados os estudos de Geotermia Rasa, aconselha-se que cuidados devem ser tomados com a utilização de valores desse parâmetro físico disponível na literatura. A fim de se obter um valor confiável do fluxo geotermal raso, há necessidade de serem realizadas

medidas de condutividade térmica no material do local da pesquisa.

Desta forma, pode-se concluir que é perfeitamente possível que pesquisadores diferentes determinem valores, também diferentes, para o fluxo geotémico raso de uma mesma área; para tanto, basta terem efetuado medidas de condutividade térmica em amostras coletadas em diferentes estações do ano.

#### Varição do Fluxo Geotermal Raso a 1,0m de Profundidade

A figura 4 apresenta os resultados dos valores do fluxo geotermal raso, à profundidade de 1,0m, para o ano de 2000, às 14h.

Os valores, mínimo e máximo do fluxo geotermal no local sem cobertura vegetal, foram de  $8,75\text{W/m}^2$  e de  $26,24\text{W/m}^2$ , respectivamente. Segundo SOUZA et al. (1989), o fluxo de radiação solar incidente na superfície terrestre, na região amazônica, é da ordem de  $180\text{W/m}^2$ , conseqüentemente, esses valores, em termos absolutos, representam cerca de 4,86 a 14,58% deste total. A variação entre o valor mínimo e máximo do fluxo geotermal para o local sem cobertura vegetal foi de  $17,49\text{W/m}^2$ , o que representa 9,72% do fluxo de radiação solar incidente na superfície terrestre da região estudada. Para o local com cobertura vegetal, os valores deste mesmo parâmetro físico no mesmo horário e ano referenciados, foram de  $2,68\text{W/m}^2$  e de  $11,49\text{W/m}^2$ , respectivamente, o que se pode concluir que esses valores representam, em termos absolutos, 1,49% a 6,38% do valor da radiação solar incidente na superfície terrestre da região. A variação do fluxo geotermal, entre os valores mínimo e máximo para o local com cobertura vegetal foi de  $8,81\text{W/m}^2$ , o que representa, em termos absolutos, 4,89%, do total do fluxo de radiação solar incidente na superfície terrestre da região.

O valor médio do fluxo geotermal no local sem cobertura vegetal foi de  $16,08\text{W/m}^2$  e, no local com cobertura vegetal, foi de  $7,27\text{W/m}^2$ , registrando, assim, uma variação de  $8,81\text{W/m}^2$ , o que representa, em termos absolutos, 4,89% do fluxo de radiação solar incidente na região.

Os valores do fluxo geotermal raso obtidos são extremamente elevados, se comparados com o valor médio do fluxo geotermal profundo, que segundo ARAUJO (1999), para um local próximo ao estudado no presente trabalho, é de  $44,91 \times 10^{-3}\text{W/m}^2$ . Desta forma, as variações do fluxo geotermal a 1,0m de profundidade não podem ser desprezadas, e nem tão pouco serem explicadas como mudanças normais exclusivamente do fluxo de calor proveniente do interior da Terra.

#### Conclusões

Na área estudada, durante um ciclo climático de um ano, os valores de condutividade térmica apresentaram variações que oscilam de  $2,27\text{W/m}^{\circ}\text{C}$  a  $2,71\text{W/m}^{\circ}\text{C}$ . Verificou-se uma excelente relação direta entre os parâmetros condutividade térmica e conteúdo de água presente nas amostras analisadas. A condutividade térmica do material da zona de aeração é influenciada

por fatores externos e mutáveis, sendo de fundamental importância os parâmetros precipitação pluviométrica e evaporação local. Em trabalhos de Geotermia Rasa não é aconselhável o uso de resultados de condutividade térmica publicado na literatura.

Na região estudada, no local com cobertura vegetal, durante um ciclo climático de um ano, o fluxo geotermal, à 1,0m de profundidade, variou de  $2,68\text{W/m}^2$  a  $11,49\text{W/m}^2$ , o que corresponde a cerca de 1,49% a 6,38% do fluxo de radiação solar incidente na superfície terrestre local. No local sem cobertura vegetal, este parâmetro variou de  $8,75\text{W/m}^2$  a  $26,24\text{W/m}^2$ , o que corresponde a cerca de 4,48% a 14,58% do fluxo de radiação solar incidente na superfície terrestre local. Essas mudanças não podem ser associadas a qualquer mudança do fluxo geotérmico profundo.

### Agradecimentos

Externamos nossos sinceros agradecimentos; À Universidade Federal do Amazonas, a Universidade do Estado do Amazonas e a Fundação de Tecnologia do Estado do Acre, por permitirem aos autores dedicação à pesquisa. Ao Instituto Nacional de Meteorologia – INMET, 1<sup>o</sup> Distrito de Meteorologia, pelo fornecimento dos dados de precipitação pluviométrica e insolação; e a todos que de maneira direta ou indireta contribuíram para a realização deste trabalho.

### Referências

- ARAUJO, R. L. C. 1999. Contribuição da Geotermia Rasa aos Estudos Ambientais. Manaus. Ed. Universidade do Amazonas. 88p.
- ARAUJO, R. L. C.; CARVALHO, J. S. e SOUZA, J. R. S. 1995. A Influência da Umidade Sobre os Valores de Condutividade Térmica da Subsuperfície. Revista Brasileira de Geofísica. V. 13, n<sup>o</sup> 2, p. 111-1118.
- BECK, A. E. 1965. Techniques of Measuring Heat Flow on Land. In: Lee, W. Terrestrial Heat Flow. Washington. American Geophysical Union. p. 24-57.
- HEILAND, C. A. 1940. Geophysical Exploration. New York: Prentice-Hall. 1030p.
- HOLMAN, J. P. 1983. Transferência de Calor. São Paulo: Mc. Graw-Hill. 639p.
- MONGELLI, F. 1994. Theoretical Analysis of Heat Transfer in Semi-Infinite Aquifer. Geothermics. V. 23. p. 143-150.
- SOUZA, J. R. S.; ARAUJO, R. L. C. e MAKINO, M. 1989. Heat Transfer and Thermal Properties of the Subsoil in Belém. Revista Brasileira de Geofísica. 7 (1): p. 19-28.

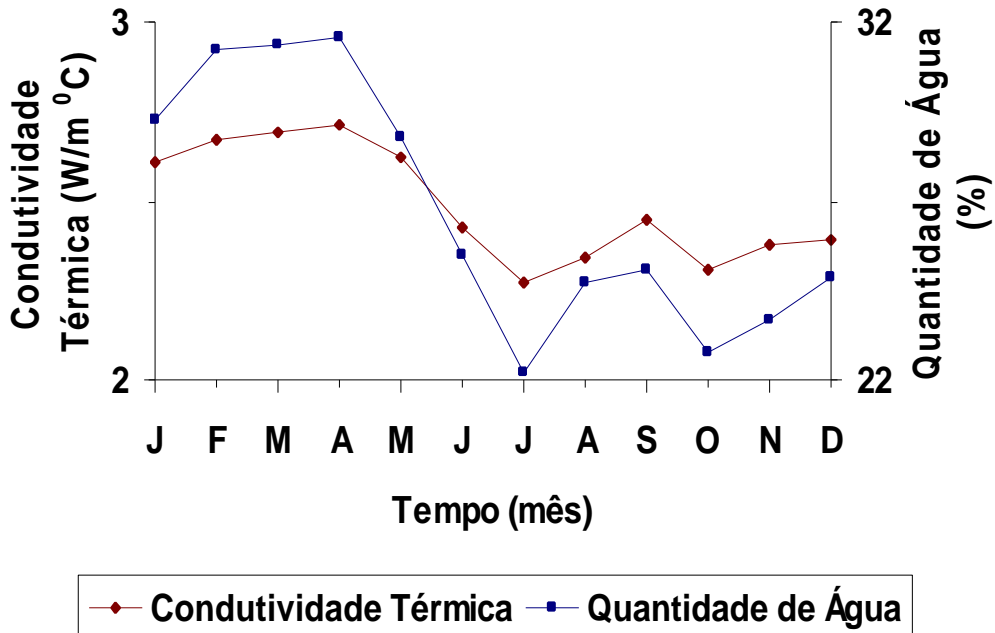


FIGURA 1: Variação mensal dos valores de condutividade térmica e da quantidade de água contida nas amostras

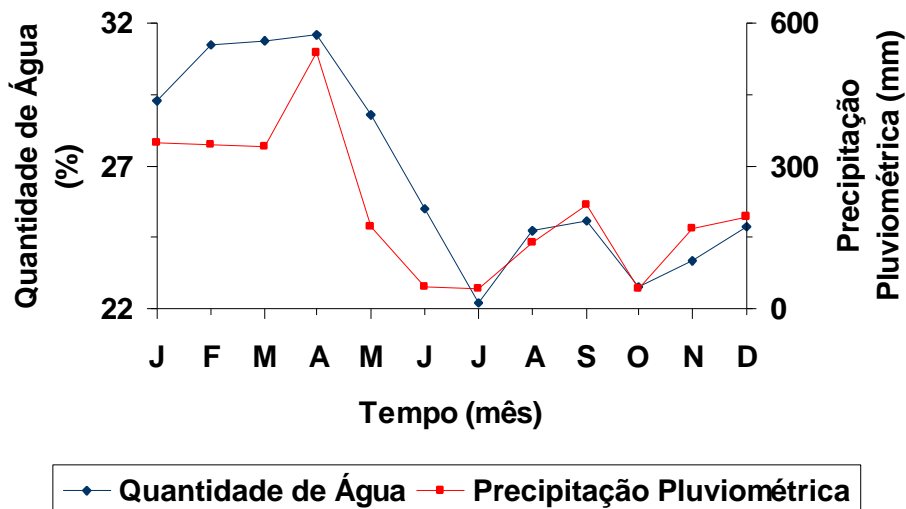


FIGURA 2 – Variação mensal da quantidade de água contida nas amostras e da precipitação pluviométrica local.

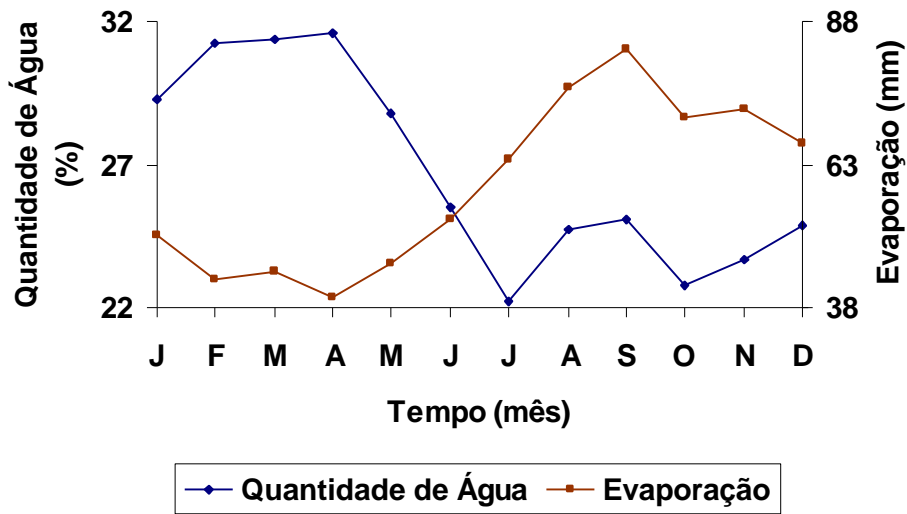


FIGURA 3 – Variação mensal dos valores da quantidade de água contida nas amostras e da evaporação local.

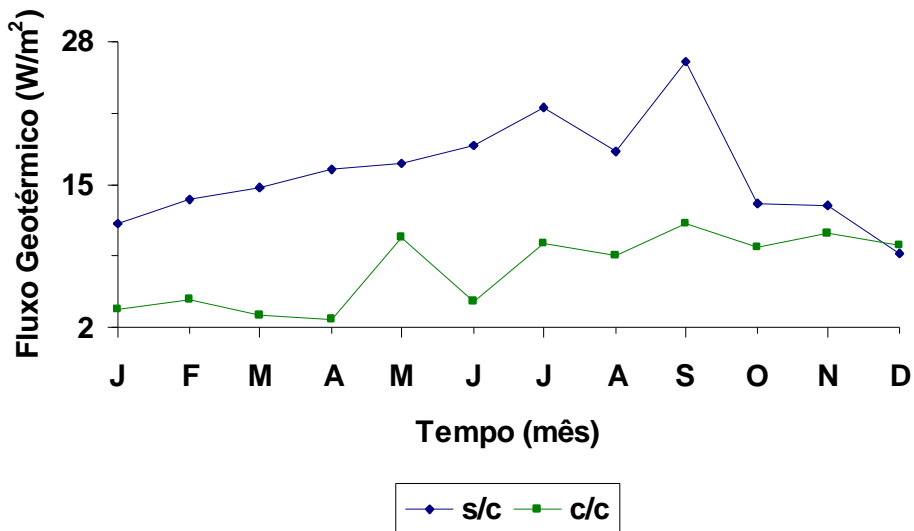


FIGURA 4 – Valores médios mensais do fluxo geotermal raso, à 1,0m de profundidade, às 14h, para os locais sem e com cobertura vegetal, para o ano de 2000.