



Estudo acerca das variações sazonais da condutividade térmica

Rutenio Luiz Castro de Araujo, Francinele Vieira dos Santos e João da Silva Carvalho. DEGEO / UFAM

Copyright 2005, SBGf - Sociedade Brasileira de Geofísica

This paper was prepared for presentation at the 9th International Congress of the Brazilian Geophysical Society held in Salvador, Brazil, 11-14 September 2005.

Contents of this paper were reviewed by the Technical Committee of the 9th International Congress of the Brazilian Geophysical Society. Ideas and concepts of the text are authors' responsibility 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.

Abstract

The conductivity study was monitored in the period of one year. In order to do that, the measurements were performed on samples collected monthly, at 5,0cm depth. The selected site is representative of sandy. The moisture content of the collected samples changed significantly, that may be attributed to the seasonal variation of the local pluviometric precipitation. The thermal conductivities of the sandy samples varied from 0,12 to 2,38 W/m.°C, with an average value of $0,78 \pm 0,57$ W/m.°C. The variability observed from the above results indicates that the thermal conductivity values of materials existing in the aeration zone were significantly altered by physical variables. The thermal conductivity changes significantly between its extreme values, measured on field samples at natural conditions. The precautions should be taken when uses thermal conductivity values, for estimates in shallow geothermics.

Introdução

A determinação de valores precisos de condutividade térmica é de importância fundamental para o pleno desenvolvimento de qualquer estudo acerca do estado e comportamento do fluxo de calor em determinada área. Isto, obviamente, deve-se ao fato de que o fluxo geotérmico em situações de estratificação plana pode ser definido pelo produto dos parâmetros gradiente de temperatura e condutividade térmica representativos da área em estudo (Beck, 1965).

No entanto, conforme Heiland (1940), Holman (1983), Araujo (1987), Souza *et al.* (1989); Mongelli (1994), Araujo *et al.* (1995), Araujo (1999) e outros, os valores de condutividade térmica referentes a uma mesma amostra podem ser muito discrepantes entre si caso haja variações de, por exemplo, umidade e temperatura.

Em estudos de Geotermia Rasa anteriormente efetuados na região Amazônica (Araujo *et al.*, 1995; Araujo, 1999; Araujo & Carvalho, 1999, Araujo *et al.*, 2001), foram observadas, por diversas vezes, mudanças mensuráveis nos valores de condutividade térmica referentes a amostras oriundas de um mesmo local, porém, coletadas em meses distintos. Tais amostras apresentavam, no entanto, conteúdos de água diferentes.

O presente trabalho tem por objetivo realizar um estudo a fim de definir, para uma determinada área, as possíveis variações do parâmetro físico condutividade térmica; variações estas oriundas das mudanças no conteúdo natural de água existente nos materiais situados a

profundidades em que pode ser significativa a influência de fatores intempéricos. Tal estudo foi desenvolvido durante um ciclo climático de um ano, na área do campus da Universidade Federal do Amazonas, localizado na cidade de Manaus (AM).

Estratigrafia Local

A região de Manaus está localizada na porção centro-norte da Bacia do Amazonas, envolvendo sedimentos da porção inferior e superior dessa Bacia (Cunha *et al.*, 1994), compreendendo uma faixa de terreno constituída por sedimentos clásticos, representados por materiais argilosos a arenosos da Formação Alter do Chão (Caputo *et al.*, 1972), unidade basal do Grupo Javari (Cunha *et al.*, 1994), de idade cretácea a terciária (Daemon & Contreiras, 1971; Daemon, 1975).

A Formação Alter do Chão é constituída fundamentalmente por rochas siliciclásticas do Cretáceo Superior/Terciário Inferior, representativas de um ciclo deposicional em ambiente flúvio-lacustre da Bacia do Amazonas, principalmente arenitos feldspáticos/cauliníticos, quartzo-grauvacas, quartzo-arenitos, conglomerados, siltitos, argilitos e brechas intraformacionais; entre as estruturas mais comuns estão as estratificações cruzadas acanaladas e tabulares, lags fluviais e marcas de raízes. Apresenta também uma cobertura laterítica, com perfil autóctone ferruginoso. A composição mineralógica dos arenitos compreende quartzo, opacos, zircão, epidoto, material carbonoso, algumas concreções silicosas, cimento silicoso ou ferruginoso, enquanto que os argilitos possuem em sua mineralogia argilominerais, quartzos, opacos e matéria carbonosa.

Localmente, os sedimentos argilosos mostram intercalação métrica de corpos arenosos com acamamento maciço.

Metodologia

Todas as medidas de condutividade térmica referentes ao presente trabalho foram realizadas através do método transiente de calor, utilizando-se o aparato tipo agulha. Este aparato é similar aos descritos por Von Herzen & Maxwell (1959), Smith (1973), Carvalho (1981), Araujo (1987) e Araujo (1999). O aparato tipo agulha utilizado consiste em uma fonte de corrente contínua, uma fina agulha hipodérmica e um multímetro digital; no interior da agulha há um fio aquecedor e um termistor localizado em seu ponto médio.

Para se efetuar as medidas de condutividade térmica, a agulha é inserida na amostra a ser analisada e após ter sido atingido o equilíbrio térmico do sistema (agulha-amostra) é ligada a fonte de corrente contínua. Isto provoca o aquecimento da sonda cuja temperatura, registrada pelo termistor, varia com o tempo segundo a relação (Carslaw & Jaeger, 1959):

$$T_s = (Q_s / 4\pi\lambda) \ln(t) + C \quad (2.1)$$

onde,

T_s - temperatura da sonda

t - tempo

Q_s - fluxo de calor, por unidade de comprimento, produzido dentro da agulha pelo fio aquecedor

λ - condutividade térmica da amostra analisada

C - constante

O gráfico dos valores registrados de T_s em função de $\ln(t)$ resulta em uma relação linear cuja inclinação é dada por:

$$D = (Q_s / 4\pi\lambda) \quad (2.2)$$

Assim sendo, desde que seja conhecido o valor de Q_s , a condutividade térmica da amostra analisada pode ser determinada pela equação (2.2).

O aparato tipo agulha utilizado neste trabalho apresenta as seguintes características:

$R = 361\Omega$

$V_{cc} = 15V$

$L = 6,3 \text{ cm}$

sendo,

R - resistência do fio aquecedor

V_{cc} - diferença de potencial aplicada entre os terminais do fio aquecedor

L - comprimento da agulha.

Para os parâmetros acima indicados, no presente trabalho temos que:

$$Q_s = 9,89 \text{ W/m}$$

Os resultados das medidas de condutividade térmica foram obtidos com erro menor que 3%.

Todas as medidas de condutividade térmica referentes ao presente trabalho foram realizadas utilizando-se o aparato tipo agulha, que constitui um dos métodos mais precisos do estado transiente de calor.

Durante a execução deste trabalho foram realizadas medidas de condutividade térmica em doze amostras. As amostras foram retiradas de um local contíguo ao bloco I de edificações no mini campus da Universidade Federal do Amazonas. A amostragem foi feita no último dia de cada mês, de agosto/2003 a julho/2004. Assim sendo, no final de cada mês foi retirada uma amostra do local estudado. Nas amostras estudadas, o conteúdo de areia variou de 54,67 a 86,35 %; tais teores foram obtidos via processos de separação granulométrica por peneiramento e lavagem. Todas as amostras foram coletadas à profundidade de 5,0 cm. As amostras analisadas tinham forma cilíndrica, com 10,0 cm de altura e 2,0 cm de raio.

Após a coleta das amostras, estas foram acondicionadas diretamente em recipiente próprio e imediatamente transportadas para o laboratório onde as medidas foram efetuadas. O intervalo de tempo decorrido entre a obtenção das amostras, no campo, e a realização das respectivas medidas de condutividade térmica, em laboratório, foi de cerca de cinco minutos. Este procedimento teve como finalidade minimizar o efeito de evaporação do fluido contido nestas amostras. A fim de verificarmos a variação do erro de medida, foram

efetuadas, para cada amostra analisada, quatro medidas consecutivas de condutividade térmica. O valor apresentado no presente trabalho corresponde à média aritmética dessas quatro medidas. Este procedimento, associado à precisão dos equipamentos utilizados, permitiu a obtenção dos valores de condutividade térmica com erro de medida menor que 3%.

Imediatamente após a realização das medidas de condutividade térmica, as amostras foram pesadas em uma balança de precisão de 0,01 g e, a seguir, inseridas em uma estufa a temperatura de 110 °C, por um período de vinte e quatro horas. Posteriormente, as amostras foram novamente pesadas obtendo-se, assim, das diferenças de massa, o conteúdo de água anteriormente existente nas mesmas. A escolha do valor da temperatura de 110 °C deve-se a que a esta temperatura é removida, da amostra, a água livre e a água fisicamente ligada; porém, não há remoção das águas quimicamente ligadas, ou sejam, água de cristalização e água de constituição, cuja remoção, se ocorresse, provocaria alteração de minerais.

Em Manaus, as medidas atinentes à precipitação pluviométrica e evaporação foram obtidas junto ao 1º Distrito de Meteorologia do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET).

Resultados e Discussão

Os resultados obtidos de condutividade térmica referentes às amostras analisadas são mostrados na figura 1 e na tabela 1. Na figura 1 podemos notar, nitidamente, a variabilidade sazonal dos valores de condutividade térmica, ou seja, estes valores variaram mensuravelmente durante o período de execução deste estudo. Para as amostras analisadas, a variação de condutividade térmica foi de 0,12 a 2,38 W/m °C, com o valor médio de $0,78 \pm 0,57 \text{ W/m } ^\circ\text{C}$.

As mudanças nos valores de condutividade térmica apresentaram uma excelente relação direta com o conteúdo de água existente nessas amostras. Esta relação direta observada é explicada pelo fato de que a condutividade térmica da água é cerca de vinte e duas vezes superior à condutividade térmica do ar (Holman, 1983). Assim sendo, embora o valor da condutividade térmica da água seja inferior aos valores deste parâmetro físico referentes às amostras analisadas, no entanto, o valor da condutividade térmica da amostra aumenta quando o ar existente em seus interstícios é substituído pela água, aumentando, consideravelmente, a eficiência no transporte de calor ao longo do material analisado. Nas amostras em apreço, o sinal do incremento do conteúdo de água coincidiu com o sinal de variação da condutividade térmica em 80% dos casos estudados. Essa relação é mostrada na figura 2.

A figura 3 mostra as relações mensais dos parâmetros conteúdo de água existente nas amostras e precipitação pluviométrica local. Observa-se, nesta figura, que os valores desses dois parâmetros estudados variaram significativamente durante o período pesquisado. A figura. 3 mostra, também, a boa relação direta entre os valores de precipitação pluviométrica e o conteúdo de água existente nas amostras analisadas. Isto caracteriza, nitidamente, que as mudanças do índice de precipitação

pluviométrica são claramente responsáveis por flutuações no conteúdo de água existente nos materiais localizados na zona de aeração.

Portanto, a precipitação pluviométrica local constitui uma das fontes externas que provoca variações mensuráveis nos valores de condutividade térmica dos materiais situados na zona de aeração. Esta influência é mais preponderante, obviamente, nos locais de maior permeabilidade. Consequentemente, podemos considerar que quanto maior for a porcentagem de areia existente em determinado local, maior será a faixa de variação dos valores de condutividade térmica referentes aos materiais localizados na zona de aeração. Esta consideração é facilmente ratificada ao analisarmos os dados contidos na figura 1, onde observamos que durante o ano de estudo, os valores de condutividade térmica relativos às amostras estudadas variaram de 286%. Consideramos, ainda, que tais variações poderiam ter sido maiores, caso não fosse tão elevado o índice de precipitação pluviométrica na área em estudo. Nesta área, durante o período de menor índice de precipitação pluviométrica, ou seja, nos meses de junho a novembro, a somatória foi de 510,7mm. Consideramos que em Geotermia Rasa, a influência da precipitação pluviométrica sobre os valores de condutividade térmica de uma dada amostra é tão elevada que, em um período caracterizado por baixos índices de precipitação pluviométrica, uma chuva de elevada intensidade, no dia ou na véspera da amostragem, pode alterar, significativamente, a tendência de variação dos valores de condutividade térmica.

A figura 4 mostra a relação inversa entre os valores de evaporação local e o conteúdo de água existente nas amostras analisadas. Esta relação para as amostras analisadas foi de 90%. Isto mostra a relativa facilidade do processo de evaporação em locais de maior permeabilidade. Assim sendo, consideramos que a figura 4 também ratifica os efeitos do mesmo processo físico apresentado na figura 2, ou seja, a variação dos valores de condutividade térmica com as mudanças no conteúdo de água.

Pelo acima exposto podemos concluir que na zona de aeração, os valores de condutividade térmica dos materiais ali existentes sofrem mudanças mensuráveis durante um ciclo de período de um ano. Estas mudanças podem ser geradas por variáveis externas, sendo de fundamental importância a precipitação pluviométrica e a evaporação local, as quais contribuem, de maneira eficiente, para o conteúdo de água existente no material amostrado. Assim, quanto maior for o grau de permeabilidade do material ali existente, maiores serão as mudanças de condutividade térmica.

As faixas de variações dos valores de condutividade térmica, registrados no presente capítulo, estão em acordo com outras obtidas por diferentes autores, como por exemplo: Marangoni & Hamza (1983) obtiveram para amostras sedimentares arenosas o valor médio de $2,09 \pm 0,21$ W/m °C; Astier (1975) obteve para amostras arenosas uma série de valores que variam entre 1,67 a 2,51 W/m °C. Heiland (1940) obteve para material arenoso valores de até 3,4 W/m °C.

A fim de ratificarmos, mais uma vez, que as variações dos valores de condutividade térmica, registrados no presente trabalho, são fundamentalmente influenciados

pelo conteúdo de água existente nas amostras analisadas, efetuamos um experimento simples, em laboratório, conforme as etapas descritas a seguir:

a- inserimos a amostra coletada no mês de novembro, em estufa a temperatura de 110°C. A amostra ali permaneceu por um período de vinte e quatro horas. A escolha deste valor da temperatura deve-se ao exposto no item Metodologia;

b- após a retirada da amostra da estufa, a mesma foi acondicionada em um recipiente de vidro, fechado hermeticamente. A amostra ali permaneceu por período de um dia para resfriamento;

c- após a retirada da amostra do recipiente de vidro, foram efetuadas várias medidas de condutividade térmica. Após cada medida de condutividade térmica foi adicionado, na amostra analisada, 10 ml de água.

A água inserida na amostra apresentou a seguinte composição físico-química característica:

Ca = 0,260 mg/l	Mg = 0,060 mg/l
Fe = 0,360 mg/l	
K = 0,015 mg/l	Na = 0,005 mg/l
pH = 4,45	Condutividade Térmica =
0,70 W/m °C	

Os resultados deste experimento são apresentados na tabela 2 e na figura 5. Estes resultados mostram a grande variação dos valores de condutividade térmica com o conteúdo de água existente na amostra analisada. Esta variação era, obviamente, esperada. Assim, a pretensão do presente experimento foi conhecer, para o tipo de material local amostrado, parte da faixa de variação da condutividade térmica com o incremento do conteúdo de água, pois, conforme anteriormente ressaltado, este conteúdo de água é variável e dependente de fonte externa, ou seja, a precipitação pluviométrica local. Foi confirmado para os extremos de conteúdo de água possíveis de controle em laboratório que, o intervalo de variação da condutividade térmica foi maior do que nas amostras em situações de campo. Isto é explicado pelo fato de que no experimento controlado em laboratório, as medidas de condutividade térmica foram realizadas na mesma amostra, desde o estado seco até o estado saturado de água; enquanto que as medidas de condutividade térmica realizadas nas amostras coletadas no campo, tais amostras não representaram esses dois estados extremos, ou sejam, estados seco e saturado.

Fato interessante a observar é que o valor máximo de condutividade térmica, referente à amostra saturada, em laboratório, é inferior ao valor de condutividade térmica atinente à amostra coletada no campo, no mês de março/04. Em virtude da área em estudo localizar-se em uma reserva florestal há, constantemente, na superfície desta área, volume mensurável de matéria orgânica (principalmente folhas e galhos) em processo de decomposição. Este processo libera ácidos húmicos e fúlvicos, dentre outros, os quais são ricos em íons livres. Assim sendo, quando a água oriunda da precipitação pluviométrica atinge a superfície da área em estudo, essa água é enriquecida de tais ácidos. Desta maneira, as amostras coletadas no campo, a pequenas profundidades, são impregnadas com esse tipo de água. A saturação das amostras, em laboratório, ocorreu com água potável, com a composição físico-química acima descrita, portanto, com o valor de condutividade térmica

de 0,70 W/m °C. A fim de simular as condições características da água existente no campo, coletamos, na área em pauta, uma porção de matéria orgânica em elevado estágio de decomposição. Inserimos este material em um recipiente de vidro com água deionizada, cujo valor de condutividade térmica medido foi de 0,68 W/m °C. Após um período de duas horas, retiramos a água do recipiente e efetuamos a medida de condutividade térmica da mesma, obtendo-se o valor de 0,87 W/m °C. Assim sendo, consideramos que a diferença entre o valor máximo de condutividade térmica, referente à amostra saturada em laboratório, em relação ao valor superior deste mesmo parâmetro físico apresentado na figura 1, é decorrente da qualidade da água que preenchia os interstícios das amostras em questão. Isto, face ao fato de que a condutividade térmica varia não somente com o conteúdo de água existente na amostra analisada mas, também, com a característica química desta água, dentre outros parâmetros.

Devido ao fato de haver variações significativas nos valores de condutividade térmica em profundidades onde realizam-se estudos de Geotermia Rasa, consideramos que, cuidados devem ser tomados com o uso dos valores desse parâmetro físico disponíveis na literatura; pois nem sempre as amostras utilizadas estão saturadas e, ainda, tais amostras podem ser provenientes de um local com características ambientais diferentes. A fim de se obter um valor confiável do fluxo geotermal, há necessidade de serem realizadas medidas de condutividade térmica com o material local.

Assim sendo, podemos concluir que é possível que diferentes pesquisadores determinem valores desiguais do fluxo geotérmico para uma mesma área. Para tanto, basta que tenham efetuado medidas de condutividade térmica em amostras coletadas em diferentes estações do ano. Será então aconselhável, para fins de estudos comparativos, que seja informado em tais trabalhos o conteúdo de água existente nas amostras medidas.

Conclusões

Em estudo realizado durante o período referente aos meses de agosto/2003 a julho/2004, observou-se que os valores de condutividade térmica de materiais fundamentalmente arenosos, localizados na zona de aeração, sofreram mudanças significativas. Os valores de condutividade térmica variaram de 0,12 a 2,38 W/m °C, com valor médio de 0,78 ± 0,57 W/m °C; registrou-se, portanto, uma variação de 286%.

Há uma relação direta dos valores de condutividade térmica e o conteúdo de água existente no material localizado na zona de aeração. Para as amostras analisadas, a relação verificada foi de 80%. O conteúdo de água está intimamente relacionado com a precipitação pluviométrica e a evaporação local. A relação direta entre os valores de precipitação pluviométrica e conteúdo de água nas amostras analisadas foi de 70%. A relação inversa entre os valores de evaporação e conteúdo de água nessas amostras foi de 90%. Portanto, os valores de condutividade térmica do material situado na zona de aeração é mensuravelmente influenciado pelas mudanças do índice de precipitação pluviométrica e evaporação local. Tal influência é mais acentuada quanto maior for o grau de permeabilidade da zona em estudo.

Os valores de condutividade térmica dos materiais localizados na zona de aeração são influenciados por fatores externos e mutáveis. Experimento, em laboratório, ratificou tal conclusão.

Nos trabalhos de Geotermia Rasa, os valores de condutividade térmica utilizados devem ser obtidos de medidas sobre amostras locais. Não é aconselhável o uso de valores publicados na literatura sem uma análise criteriosa, devido os mesmos sofrerem influências de variáveis externas.

Agradecimentos

Externamos nossos sinceros agradecimentos à Universidade Federal do Amazonas por nos permitir dedicação e uso da sua infra-estrutura laboratorial, necessários à plena execução deste trabalho. À Fundação de Apoio à Pesquisa do Estado do Amazonas pelo auxílio financeiro imprescindível.

Referências

- . ARAUJO, R.L.C., BARBOSA, I., CARVALHO, J.S. - 2001- Influência do conteúdo de água sobre os valores de condutividade térmica. VII Simpósio de Geologia da Amazônia. Belém, PA. 3p.
- . ARAUJO, R.L.C., CARVALHO, J.S. -1999- Influência da cobertura vegetal no regime geotermal raso. VI Congresso Internacional da Sociedade Brasileira de Geofísica. Sociedade Brasileira de Geofísica. Rio de Janeiro, RJ. 5p.
- . ARAUJO, R.L.C. -1999- Contribuição da Geotermia Rasa aos Estudos Ambientais. EDUA. Manaus. 86 p.
- . ARAUJO, R.L.C; CARVALHO, J.S & SOUZA, J.R.S. - 1995- A influência da umidade sobre os valores de condutividade térmica da subsuperfície. Revista Brasileira de Geofísica. 13:111-118.
- . ARAUJO, R.L.C.; CARVALHO, J.S & FERNANDES, L.A. -1991- Condutividade térmica em solos argilosos em Manaus. Anais do III Simpósio de Geologia da Amazônia, Belém-PA, 350-360.
- . ARAUJO, R.L.C. -1987- Geotermia Rasa em Belém. Tese de Doutorado. Centro de Geociências da Universidade Federal do Pará. Belém-PA. 149p.
- . ASTIER, J. -1975- Geofísica Aplicada a la Hidrogeologia. Paraninfo, Madrid, 344p.
- . BECK, A.E. -1965- Techniques of measuring heat flow on land. In: Lee, W., Terrestrial Heat Flow. American Geophysical Union. Washington. 24-57.
- CAPUTO, P. H. 1994. Mecânica dos Solos e suas aplicações: Mecânica das Rochas – Fundações – Obras da Terra. Vol. II. 6ª ed. LMC. Rio de Janeiro: 3 – 26.
- . CARSLAW, H.S. & JAEGER, J.C. -1959- Conduction of Heat in Solids. 2ª ed. Clarendon Press. Oxford, 496 p.
- . CARVALHO, H.S. -1981- Método Para Determinação de Fluxo Geotérmico com Aplicação às Bacias Sedimentares Petrolíferas do Recôncavo Baiano (Brasil) e Sumatra (Indonésia). Tese de Doutorado. Universidade Federal da Bahia. Salvador-BA. 92 p.
- CUNHA, C. R. P., GONZAGA, G. F., COUTINHO, C. F. L. & FEIJÓ, J. F. 1994. Bacia do Amazonas. In: Bol. De Geoc., Petrobrás. 8 (1): 47 – 55.

- DAEMON, R. F. -1975.- Contribuição à datação da Formação Alter do Chão, Bacia do Amazonas. Rev. Bras. Geociências, SBG, Rio de Janeiro (RJ). 5(2):78-84.
- DAEMON, R. F. & CONTREIRAS, C. J. A. 1971. Zoneamento Palinológico da Bacia do Amazonas. PETROBRÁS, Rel. Interno, Belém (PA), In: Eiras et al. 1994. Bacia do Solimões. Bol. Geoc., PETROBRÁS, Rio de Janeiro (RJ). 8(1):17-45.
- . HAMZA, V.M.; ESTON, S.M; ARAUJO, R.L.C.; VITORELLO, I. & USSAMI, N. -1978- Coleção Brasileira de Dados Geotérmicos (Série I). Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo (IPT). São Paulo-SP. n° 1109, 316 p.
- . HEILAND, C.A. -1940- Geophysical Exploration. Prentice-Hall, New York, 1013 pp.
- . HOLMAN, J.P. -1983- Transferência de Calor. Mc. Graw-Hill, São Paulo-SP, 639 p.
- . INMET - Registros avulsos. 1° Distrito de Meteorologia do Instituto Nacional de Meteorologia. Manaus-AM. 28 p.
- . KÉZDI, A. -1974- Handbook of Soil Mechanics. Amsterdam. Elsevier Scientific Publishing, v.1, 203 p.
- . MARANGONI, Y.R. & HAMZA, V.M. -1983- Condutividade térmica de sedimentos da plataforma continental sudeste do Brasil. Revista Brasileira de Geofísica, 2: 11-18.
- . MONGELLI, F. -1994- Theoretical analysis of heat transfer in semi-infinite aquifer. Geothermics. 23:143-150.
- . SMITH, P.J. -1973- Topics in Geophysics. The Open University Press. New York, 303 p.
- . SOUZA, J.R.S.; ARAUJO, R.L.C. & MAKINO, M. -1989- Heat transfer and thermal properties of the subsoil in Belém. Revista Brasileira de Geofísica. 7:19-28.
- . VON HERZEN, R. & MAXWELL, A.E. - 1959- The measurement of thermal conductivity of deep-sea sediments by a needle probe method. Journal of Geophysical Research. 64:1557-1563.

Nº	Condutividade Térmica (W/m.°C)	Conteúdo de Água (ml)
1	0,2	10
2	0,36	20
3	0,75	30
4	1,0	40
5	1,05	50
6	1,48	60
7	1,58	70
8	1,63	80
9	1,75	90

Tabela 2- Variação dos valores de condutividade térmica obtidos no experimento realizado em laboratório.

Mês	Condutividade Térmica (W/m.°C)	Conteúdo de Água (%)	Precipitação Pluviométrica (%)	Evaporação Local (%)
Ago/03	0,12	23,06	100,3	126,7
Set/03	0,30	11,18	90	168,6
Out/03	0,65	10,7	87,4	138,5
Nov/03	0,84	12,25	71,2	113,6
Dez/03	0,47	11,55	267,1	86,8
Jan/04	0,57	12,92	236,5	100,2
Fev/04	1,01	25,78	262,7	99,3
Mar/04	2,38	13,05	344,8	73,8
Abr/04	0,79	15,95	218,6	95,5
Mai/04	0,96	15,32	125,3	137,4
Jun/04	0,64	9,65	71	152
Jul/04	0,60	12,95	90,8	133,2

Tabela 1- Valores de condutividade térmica, conteúdo de água, precipitação pluviométrica e evaporação obtidos ao longo do período estudado.

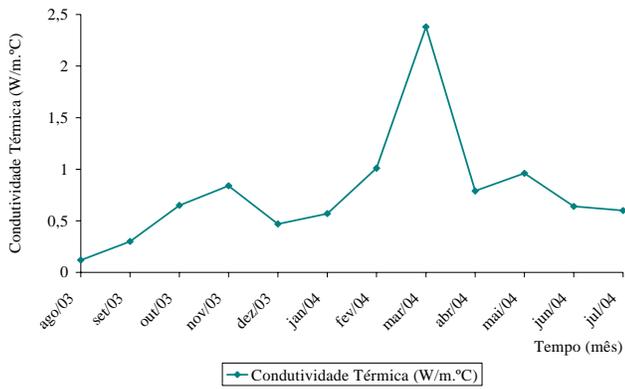


Figura 1- Variação dos valores de condutividade térmica ao longo do período estudado.

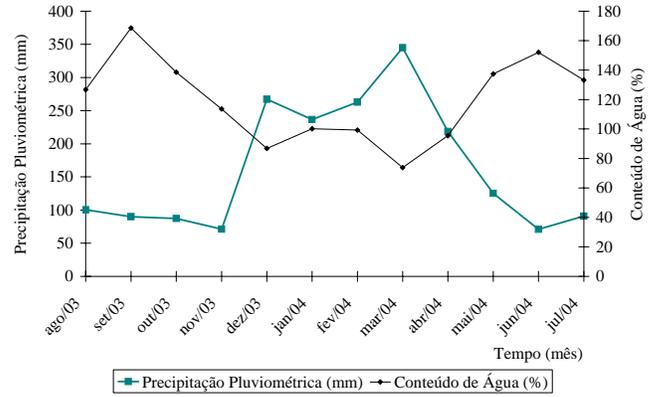


Figura 4- Variação dos valores de precipitação pluviométrica e da evaporação.

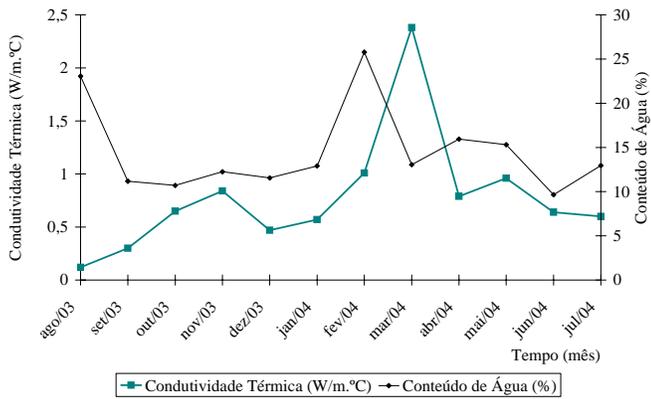


Figura 2- Variação da condutividade térmica e do conteúdo de água das amostras analisadas

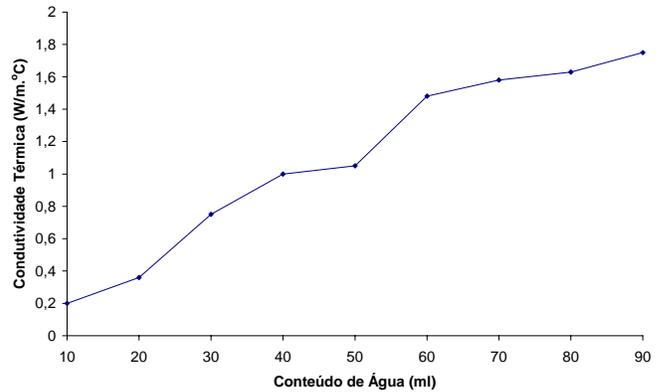


Figura 5- Variação da condutividade térmica em função do conteúdo de água no experimento em laboratório

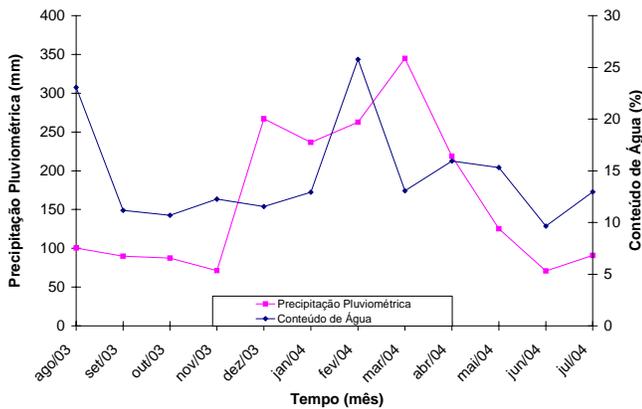


Figura 3- Variação dos valores de precipitação pluviométrica e do conteúdo de água das amostras analisadas