

# ANÁLISE DE PERFIS GEOTÉRMICOS RASOS EM POÇOS SUJEITOS A AQUECIMENTO SUPERFICIAL E BOMBEAMENTO DE ÁGUA

RUTENIO LUIZ CASTRO DE ARAUJO<sup>1</sup>; JOSÉ RICARDO SANTOS DE SOUZA<sup>2</sup>  
& MIDORI MAKINO<sup>2</sup>

Com o objetivo de verificar a conceituação usual de que os perfis geotérmicos rasos são alterados pela presença de movimento de água subterrânea, foi realizado um experimento visando determinar o grau de perturbação resultante naqueles perfis. O experimento consistiu na realização de perfilagens térmicas e de monitoramento de temperatura em pontos fixos ao longo de furos, vizinhos a poço sujeito a bombeamento simultâneo e/ou intermitente, durante três semanas de observações. A análise dos dados obtidos mostra que os aumentos de temperatura observados próximo a superfície, na área metropolitana de Belém, não podem ser exclusivamente atribuídos a movimentos de água subterrânea. Nesta zona de profundidade, a maior influência na configuração dos perfis geotérmicos é proveniente do fluxo de radiação solar incidente na superfície terrestre.

SHALLOW GEOTHERMICS PROFILES ANALYSIS IN WELLS SUBJECTED TO SUPERFICIAL HEATING AND WATER PUMPING – In order to verify the widely accepted concept that shallow geothermal profiles are disturbed in presence of groundwater movements, an experiment was performed to determine the degree of perturbation produced in those profiles. The experiment consisted of monitoring the temperature profiles, using thermistor sondes at fixed positions within wells, in the neighborhood of another well subjected to simultaneous and/or intermittent pumping, during three weeks of observations. The analysis of the data shows that the observed temperature increments near the surface, in the metropolitan area of Belém, cannot be attributed, exclusively, to groundwater movements. In such depth zone, a larger influence in the shape of the geothermal profiles originates from the solar radiation flux incident at the earth's surface.

## INTRODUÇÃO

Durante o período de março/85 a fevereiro/86 foram repetidas, ao final de cada mês, perfilagens de temperatura em quatro poços desativados, localizados na região metropolitana de Belém, a fim de dar prosseguimento a estudos concernentes a geotermia rasa que os autores vinham realizando. Por ocasião da apresentação preliminar dos resultados e análises dessas perfilagens, houve questionamento acerca da possibilidade de que as diferenças registradas nos valores de temperatura, entre os perfis geotérmicos obtidos em cada poço, poderiam ser resultantes de uma das seguintes causas: a primeira, decorrente de movimento de água subterrânea, devido ao fato de dois dos poços estudados estarem localizados próximos a outros poços em atividade de bombeamento; a segunda, originada

por variações nas alturas das marés na área em estudo, devido ao fato de um dos poços usados estar localizado a distância de 320 m do rio Guamá, o qual está sujeito a efeitos de marés.

É constatado que o movimento de água subterrânea pode alterar fortemente e de diversas maneiras o aspecto de um perfil geotermal (Roy et al., 1971; Lesquer et al., 1983; Carvalho et al., 1987). Entretanto, nem todos os perfis de temperatura considerados “anômalos” são influenciados por fluxo de água subterrânea, principalmente aqueles correspondentes às zonas onde são notáveis as influências do aquecimento superficial devido a insolação (Araujo et al., 1985; Souza et al., 1989).

A fim de melhor estudar o problema apresentado, foi realizado um experimento objetivando, assim, verificar as possibilidades supra mencionadas. A discussão

<sup>1</sup> Universidade do Amazonas, Departamento de Geociências, Campus Universitário, Estr. do Contorno, s/n, 69068 Manaus, AM.

<sup>2</sup> Universidade Federal do Pará, Centro de Geociências, Caixa Postal 1611, 66000 Belém, PA.



deste experimento constitui o escopo do presente trabalho.

## METODOLOGIA

O experimento foi realizado nos meses de setembro e outubro/86, em três etapas sucessivas, utilizando-se, fundamentalmente, o poço CG (diâmetro: 0,22 m; profundidade: 52,0 m; nível estático: 4,0 m) e um furo (diâmetro: 0,025 m; profundidade: 12,0 m; nível estático: 0,75 m), ambos revestidos com tubos de PVC, os quais distam entre si aproximadamente 2,5 m. No furo revestido foram fixadas três sondas de termistor a profundidades de 1,0, 2,0 e 12,0 m. O revestimento foi efetuado de maneira a impedir a circulação de água entre o tubo de PVC e a parede do poço/furo. Foi também utilizado neste experimento outro furo, sem revestimento (diâmetro: 0,10 m; profundidade: 30,0 m; nível estático: 0,75 m), distante 7,0 m do poço CG, no qual foram fixadas duas sondas de termistor a profundidades de 10,0 e 20,0 m.

Na primeira etapa foi instalada no poço CG uma bomba de água tipo centrífuga de potência de 1,5 HP, ficando a válvula a apenas 8,5 m de profundidade. A bomba permaneceu ligada durante um período de 48 h, das 10:00 h do dia 11/09 às 10:00 h do dia 13/09, com uma vazão da ordem de  $5 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$ . Durante este inter-

valo de tempo foi efetuado um monitoramento térmico utilizando-se as três sondas instaladas no furo revestido. A fim de compararmos os dados de monitoramento térmico obtidos durante o processo de bombeamento do poço CG com os obtidos em período no qual não houve atividade de bombeamento, foram também realizadas medidas de temperatura logo após o desligamento da bomba d'água: dia 13/09 e, ainda, nos dias 15, 16, 18, 19, 22 e 23/09. Durante o bombeamento, o nível dinâmico do poço CG atingiu a profundidade de 7,5 m.

Na segunda etapa foi instalado no poço CG um compressor de potência de 15 HP, cuja válvula foi fixada a profundidade de 24,0 m. O compressor permaneceu ligado ininterruptamente por um período de 48,0 h, com uma vazão aproximada de  $45 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$ . Nesta etapa, o processo de monitoramento térmico foi realizado também em dois períodos distintos, a saber: antes da atividade de bombeamento, nos dias 29 e 30/09, e durante o bombeamento, nos dias 02 a 04/10. Nesta segunda etapa, durante o bombeamento, o nível dinâmico do poço CG atingiu a profundidade de 10,9 m.

Na terceira etapa, o compressor permaneceu instalado no poço CG nas mesmas condições da etapa anterior, porém, o mesmo foi ligado e desligado alternadamente em intervalos de 1,0 h durante os dias 06 e 07/10.

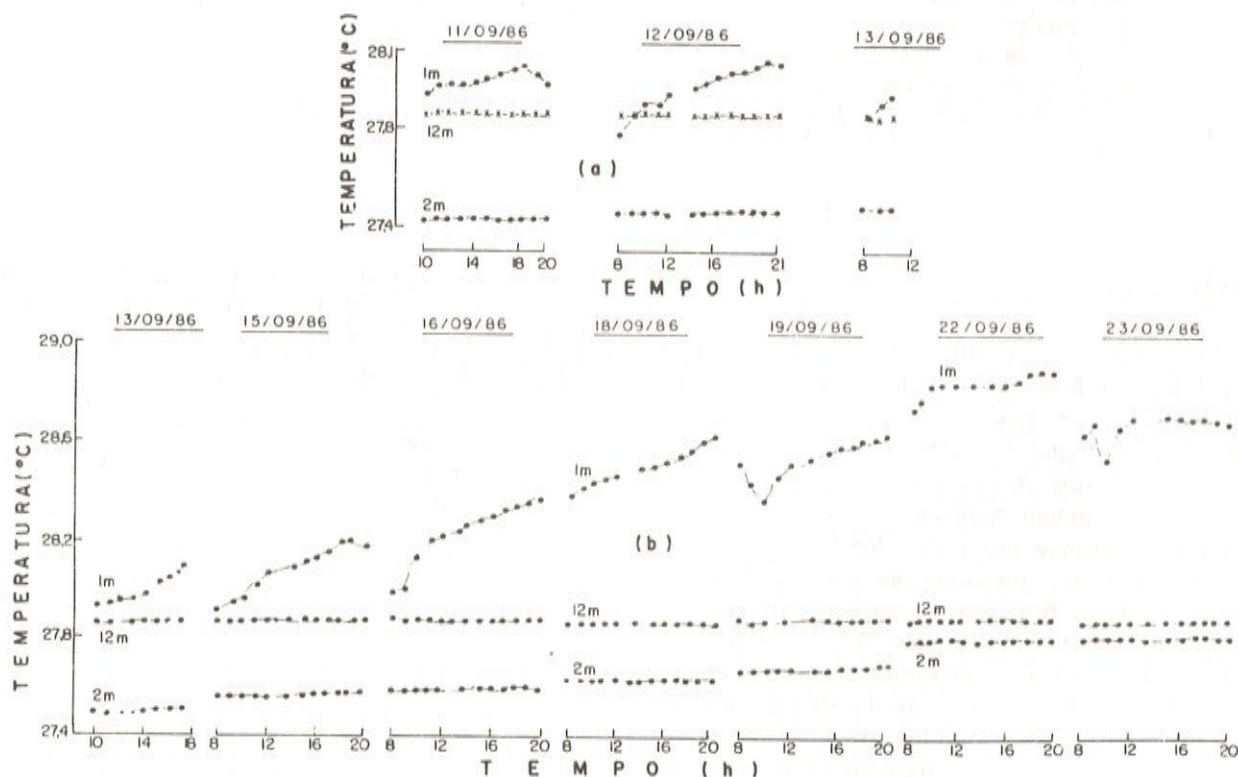


Figura 1. Evolução temporal dos perfis de temperatura referentes ao furo revestido, estando a bomba d'água no poço CG: (a) ligada e (b) desligada.

Figure 1. Time evolution of the temperature profiles for the cased hole. Water pump's house in the CG well: (a) switch on; (b) switch off.



As medidas de temperatura foram realizadas usando-se termômetros de termistor, com precisão de  $\pm 0,02^{\circ}\text{C}$ . Os valores do fluxo de radiação solar incidente foram registrados por um actinógrafo bimetalico, tipo Robitzsch, de precisão em torno de 8% com relação ao valor absoluto de fluxo.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

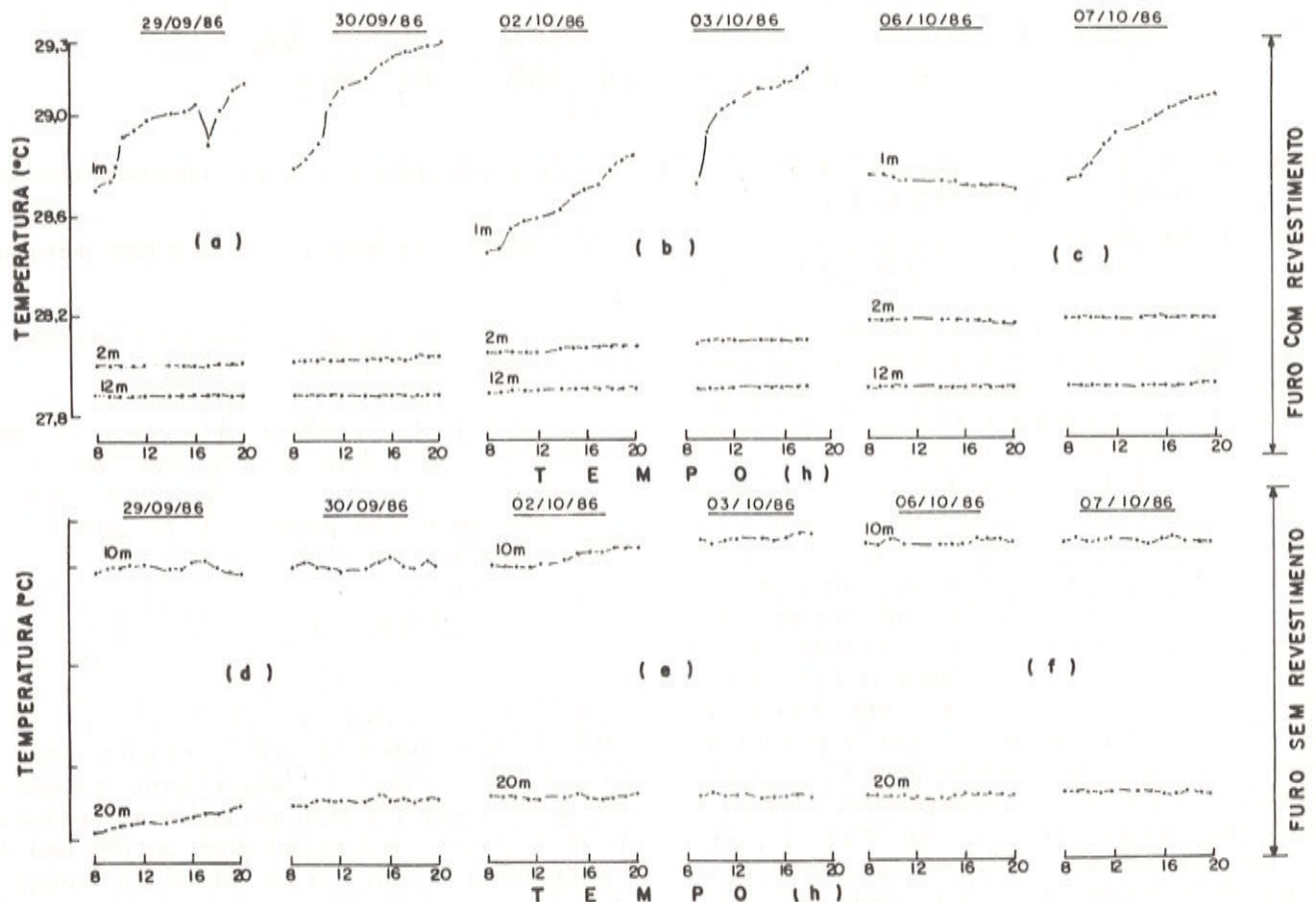
Os resultados referentes à primeira etapa deste trabalho são apresentados na Fig. 1, enquanto que os atinentes às segunda e terceira etapas são mostrados na Fig. 2.

Um fato interessante a ser observado nas Figs. 1 e 2 é que os valores da temperatura registrados a profundidades de 2,0 e 12,0 m indicam que os perfis geotérmicos do furo revestido não sofreram influência das atividades de bombeamento realizadas no poço CG. As mudanças térmicas registradas a essas profundidades são consideradas explicáveis devido a fonte de aquecimento da superfície. Não ocorreu, portanto, qualquer anomalia térmica nos períodos anterior, simultâneo e posterior a atividade de bombeamento, nem

tampouco, durante a fase em que o compressor foi ligado e desligado alternadamente.

As fortes variações dos valores da temperatura registradas a profundidade de 1,0 m, também não podem ser analisadas como consequentes do processo de bombeamento no poço CG. Observa-se nas Figs. 1 e 2 que os valores da temperatura variam ao longo do dia de maneira também considerada normal, ou seja, independentemente da fase deste experimento.

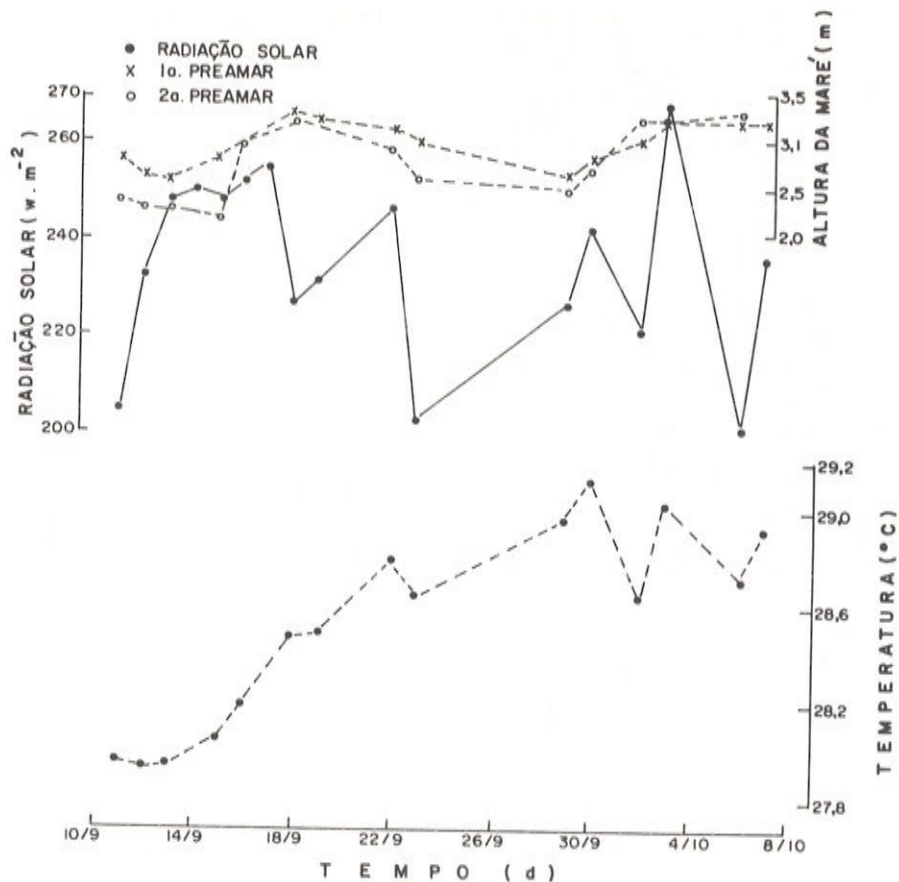
A Fig. 3 mostra os valores totais diários do fluxo de radiação solar incidente e o valor da temperatura medida a 1,0 m de profundidade, durante o período referente a este experimento. Através desta figura podemos explicar o comportamento dos perfis geotérmicos registrados nas Figs. 1 e 2. Nos dias 11/09, 23/09 e 06/10 foram registrados os menores índices de radiação solar incidente e, também, decréscimo nos valores da temperatura. De maneira inversa, o período de 12 a 22/09 é caracterizado por elevados índices diários de radiação incidente e, também, pelo acréscimo sistemático dos valores da temperatura registrados a 1,0 m de profundidade. No dia 23/09 houve um forte decréscimo no valor do fluxo de radiação solar o que implicou



**Figura 2.** Evolução temporal dos perfis de temperatura referentes a dois furos, estando o compressor no poço CG desligado (a) e (d); ligado (b) e (e); sendo ligado e desligado alternadamente em intervalos de uma hora (c) e (f).

**Figure 2.** Time evolution of the temperature profiles for two holes. Compressor house in the CG well: (a) and (d) power switch on; (b) and (e) power switch off; (c) and (f) power switch alternately turned on and off at one hour intervals.





**Figura 3.** Variação diária do fluxo de radiação solar, da altura da maré e da temperatura a 1,0 m de profundidade, relativo ao período de 11/09 a 07/10/86 em Belém.

**Figure 3.** Daily variations of the solar radiation flux at the surface; local tide height and temperature at 1.0 m depth, during the period of September 11 to October 7, 1986, in Belém.

em diminuição dos valores da temperatura a 1,0 m de profundidade. No dia 03/10 ocorreu um aumento abrupto nos valores da temperatura e, também, se registrou o maior índice diário do fluxo de radiação solar incidente durante este experimento, cerca de 267  $W.m^{-2}$ . No dia 06/10 registrou-se o menor índice diário de radiação incidente, em torno de 201  $W.m^{-2}$ , enquanto que os valores de temperatura a 1,0 m de profundidade decresceram durante o dia. Pelo acima exposto observa-se, então, uma excelente relação entre as variações dos valores de temperatura registrados a 1,0 m de profundidade e as mudanças do fluxo de radiação solar incidente. Souza et al. (1989), através de medidas sistemáticas durante um ciclo de período de um ano, observaram que a relação direta entre o fluxo de radiação solar incidente e a temperatura a 1,0 m de profundidade persiste por todo o ano. Conforme, ainda, o trabalho de Souza et al. (1989), os poucos casos em que não se observa uma relação direta entre estes dois parâmetros são explicados como devido a flutuações do índice de pluviosidade local, ou seja, nesses casos pode-se verificar o seguinte:

a. o incremento do fluxo de radiação solar enquanto que a temperatura a 1,0 m de profundidade pode

decrecer, caso exista um aumento simultâneo de precipitação pluviométrica;

b. na ausência de precipitação pluviométrica e para elevados valores de energia solar absorvida, a temperatura a 1,0 m de profundidade pode continuar aumentando durante pequenos decréscimos do fluxo de energia solar incidente.

Com o objetivo de verificar o comportamento do perfil de temperatura correspondente a um furo sem revestimento, contíguo a um poço em atividade de bombeamento, foram instalados no furo não revestido duas sondas de termistor a profundidades de 10,0 e 20,0 m. Os resultados são apresentados nos módulos (d), (e), (f) da Fig. 2. As variações térmicas observadas nestes módulos também não podem ser apontadas como derivadas, fundamentalmente, do processo de bombeamento no poço CG. No entanto, tais variações mostram que, na região em estudo, a atividade de bombeamento pode influenciar o perfil geotérmico de um poço contíguo, caso este não esteja revestido, já que o revestimento impede a intercomunicação de aquíferos, localizados a diferentes profundidades.

A fim de verificarmos se os perfis geotérmicos estariam sendo influenciados por atividade de marés,



foram obtidos junto a Companhia Docas do Pará os registros diários das alturas das marés na cidade de Belém, para todo o período concernente a este trabalho. As variações diárias destes dados não apresentaram qualquer relacionamento com as mudanças nos valores dos perfis geotérmicos obtidos no período referente a este experimento (Fig. 3). Assim sendo, foi descartada a possibilidade de que as mudanças nas alturas das marés pudessem ser responsáveis pelas variações de temperatura observadas durante este trabalho.

Roy et al. (1971) publicaram um trabalho no qual apresentam a configuração de um perfil geotérmico perturbado pela influência de movimento de água subterrânea. Conforme estes autores, o processo de revestimento do poço eliminou tal perturbação. Lee (1977) obteve gradientes geotérmicos regionais confiáveis através de perfis geotérmicos em furos rasos, utilizando também a técnica de revestir os poços em estudo.

Para ilustrar e comparar, resolvemos verificar o desequilíbrio térmico de um poço, provocado pela atividade de bombeamento no mesmo e, ainda, o retorno ao seu estado de equilíbrio térmico após o final dessa atividade perturbadora. Para tanto, realizamos o seguinte experimento: foi instalada no poço CG uma bomba d'água tipo centrífuga, a qual permaneceu ligada no período das 10:00 h do dia 11/09 às 10:00 h do dia 13/09. Foram então efetuadas perfisagens geotérmicas neste poço nos períodos anterior e posterior a atividade de bombeamento. Os resultados auferidos são mostrados no módulo (a) da Fig. 4. A fim de rati-

ficarmos tais resultados, repetimos a operação de bombeamento no poço CG porém, agora, utilizando um compressor. O compressor permaneceu ligado no período das 08:30 h do dia 02/10 às 08:30 h do dia 04/10. Foram também realizadas perfisagens de temperatura nos períodos anterior e posterior a atividade de bombeamento. Os resultados obtidos nesta fase são apresentados no módulo (b) da Fig. 4.

Nota-se como tal processo perturba o perfil térmico do poço bombeado, que retorna às suas condições de equilíbrio em período da ordem de três dias após ter cessado a atividade de bombeamento. A maneira como os perfis geotérmicos registrados na Fig. 4 derivam em direção ao perfil de equilíbrio, ratifica o fato de que os mesmos não estão sendo afetados por movimento de água subterrânea. A configuração de um perfil geotérmico perturbado por movimento de água subterrânea é caracterizada, fundamentalmente, pela distribuição não linear dos valores de temperatura em função da profundidade do poço, sendo esta caracterização mais acentuada nos níveis de profundidade em que o poço é mais fortemente influenciado. Assim sendo, o aspecto da Fig. 4 nos indica que tais perfis retornam às suas condições de equilíbrio térmico sem serem perturbados por movimento de água subterrânea; principalmente, pelo fato de que tais perfis não apresentam fortes anomalias térmicas localizadas e, ainda, pelo fato de que as suas derivadas não podem ser explicadas como sendo oriundas de tais perturbações térmicas.

A interseção dos perfis de temperatura registra-

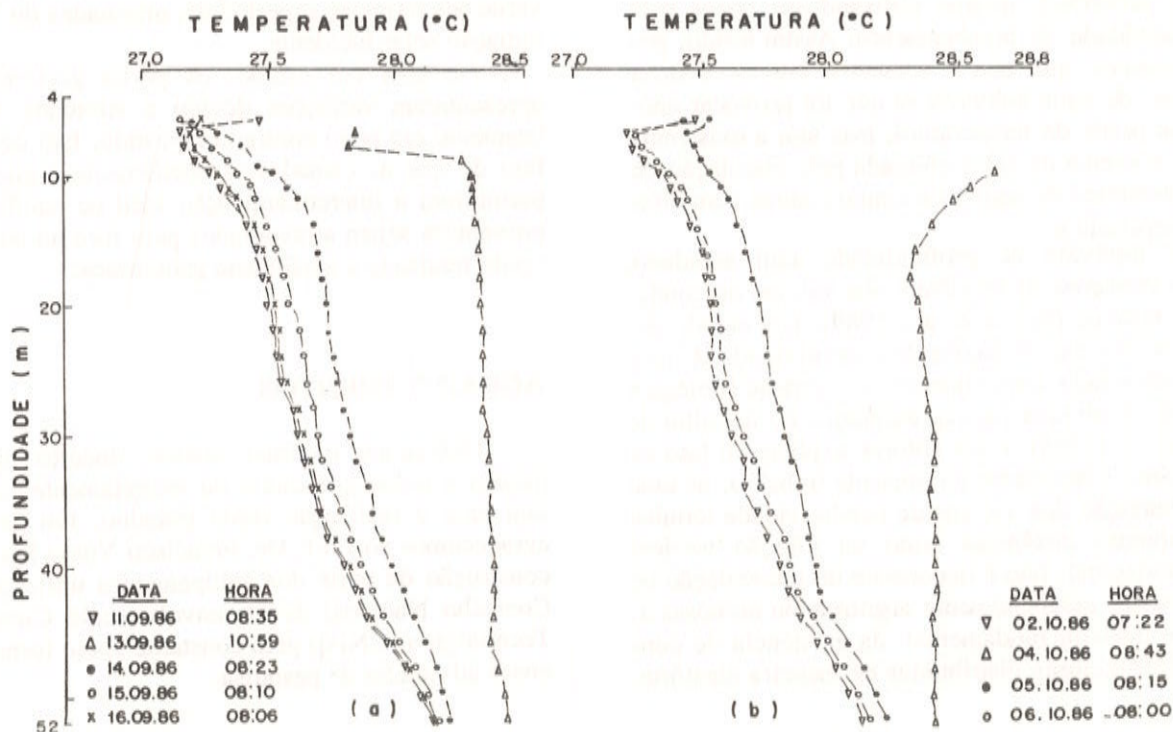


Figura 4. Perfis de temperatura referentes ao poço CG, alterados devido ao processo de bombeamento.

Figure 4. Temperature profiles obtained from the CG well disturbed due the pumping process.



dos nos dias 11/09 e 13/09, como também a interseção dos perfis obtidos nos dias 02/10 e 04/10, apresentados na Fig. 4, mostram de maneira indubitável que a água bombeada do poço CG provém de um mesmo aquífero, localizado a profundidade superior a 52,0 m. A maneira como esses perfis de temperatura retornam às suas condições de equilíbrio térmico denota também, que o poço CG não é abastecido por água proveniente de aquíferos localizados acima da citada profundidade. Isto deve-se ao fato de que a área em estudo é constituída de intercalações de camadas fundamentalmente arenosas ou argilosas ou, ainda, com teores próximos de areia e argila (Araujo, 1987). Consequentemente, as camadas impermeáveis essencialmente argilosas não permitem a intercomunicação fácil de aquíferos localizados a profundidades diferentes. Esta intercomunicação entre os aquíferos também não pode ser realizada através do poço CG, devido ao mesmo encontrar-se totalmente revestido. Assim sendo, mesmo que ocorra movimento de água subterrânea, tal movimento não estaria afetando os perfis geotérmicos atinentes ao poço em questão, não havendo troca de calor pelas águas localizadas em aquíferos a diferentes profundidades. Santos et al. (1986) desenvolveram um método através do qual obtém-se valores precisos de fluxo geotérmico utilizando-se poços tubulares em plena atividade de bombeamento de água subterrânea; no entanto, para a aplicação desse método é imprescindível que o aquífero abastecedor do poço em estudo esteja confinado por camadas impermeáveis. Portanto, é perfeitamente viável a obtenção de valores precisos de fluxo geotermal, mesmo utilizando-se poços com intensa atividade de bombeamento. Assim sendo, podemos ressaltar que não é apenas o fato de ocorrer movimento de água subterrânea que irá provocar anomalia nos perfis de temperatura, mas sim a existência de troca eficiente de calor efetuada pela circulação de água proveniente de aquíferos comunicantes com diferentes temperaturas.

No intervalo de profundidade aqui estudado, ocorrem variações mensuráveis nos valores de condutividade térmica (Souza et al., 1989). Um estudo detalhado acerca das variações de condutividade térmica na área em estudo, como também a descrição litológica dos furos envolvidos, são apresentados no trabalho de Araujo et al. (1988); estes autores explicam o fato de que, na área concernente ao presente trabalho, há uma intensa variação dos valores de condutividade térmica para pequenas distâncias tanto na direção vertical quanto horizontal. Isto é decorrente da intercalação de finas camadas essencialmente argilosas ou arenosas e, ainda, de maneira fundamental, da existência de concreções ferruginosas distribuídas de maneira aleatória.

Estas concreções provocam mudanças elevadas nos valores de condutividade térmica referentes a litologia local. Portanto, é possível observar-se variações nos valores dos gradientes geotérmicos horizontais referentes ao poço CG e aos furos estudados. As grandes discrepâncias existentes entre os gradientes geotérmicos verticais registrados no intervalo de profundidade de 1,0 a 12,0 m, observados nos furos e no poço CG, são ocasionadas, além do fato supra mencionado, também pelo de que os gradientes de temperatura verticais, registrados nesse intervalo de profundidade, são mutantes com o tempo, devido sofrerem influência intensa das variações térmicas ocorrentes na superfície terrestre, oriundas do fluxo de radiação solar incidente (Souza et al., 1989; Araujo, 1987). Nestes dois trabalhos é mostrado que, ao longo de um ciclo de período de um ano, os gradientes de temperatura, na zona em estudo, variam não somente em magnitude mas, também, em sentido. Devido a todos esses fatores é que observa-se, no trabalho em pauta, variações mensuráveis dos valores de temperatura, para uma mesma profundidade, consequentemente, do gradiente geotérmico para uma mesma zona.

## CONCLUSÕES

A configuração dos perfis geotérmicos rasos não pode ser explicada simplesmente como devido a influência de movimento de água subterrânea ou consequência de efeito de marés. A configuração dos perfis geotermiais rasos é principalmente influenciada pelas variações térmicas superficiais, originadas do fluxo de radiação solar incidente.

Na área em estudo, os perfis geotermiais não apresentaram variações devido a atividade de bombeamento em poço contíguo revestido. Isto deve-se ao fato de que as camadas essencialmente argilosas não permitirem a intercomunicação fácil de aquíferos que porventura sejam atravessados pelo furo no qual esteja sendo realizada a perfuração geotérmica.

## AGRADECIMENTOS

Desejamos externar nossos sinceros agradecimentos a todos que direta ou indiretamente contribuíram para a realização deste trabalho. Em particular, agradecemos ao Prof. Dr. Francisco Yukio Hiodo pela construção de parte dos equipamentos utilizados e ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) pelo constante apoio fornecido às nossas atividades de pesquisa.

## REFERÊNCIAS



- Estudo da variação temporal de perfis geotérmicos na camada intempérica na Amazônia. Anais do II Simpósio de Geologia da Amazônia, Belém, PA, 3: 195-206.
- ARAUJO, R.L.C., SOUZA, J.R.S. & MAKINO, M. - 1988 - Estudo da condutividade térmica do subsolo na região metropolitana de Belém. Anais do XXXV Congr. Bras. Geol., Belém, PA, 4: 1510-1523.
- CARVALHO, H.S., LOBO, P.F., CAMPOS, J.N. & ZEMBRUSKI, S.G. - 1987 - Estudo do fluxo de calor e movimentação de fluido na bacia do médio Amazonas. Rev. Bras. Geof., 5: 231-243.
- LEE, T.C. - 1977 - On shallow-hole temperature measurements. A test study in the Salton sea geothermal field. Geophysics, 42: 572-583.
- LESQUER, A., PAGEL, M., ORSINI, J.B. & BONIN, N. - 1983 - Géothermie - Premières déterminations du flux de chaleur et de la production de chaleur en Corse. Comptes Rendus de L'Académie des Sciences de Paris, 297: 491-494.
- ROY, R.F., BLACKWELL, D.D. & DECKER, E.R. - 1971 - Continental heat flow. In: The Nature of the Solid Earth E.C. Robertson, ed., McGraw-Hill, New York, 506-543.
- SANTOS, J., HAMZA, V.M. & YU SHEN, P. - 1986 - A method for measurement of terrestrial heat flow density in water wells. Rev. Bras. Geof., 4: 45-53.
- SOUZA, J.R.S., ARAUJO, R.L.C. & MAKINO, M. - 1989 - Heat transfer and thermal properties of the subsoil in Belém. Rev. Bras. Geof., 7: 19-28.

Versão recebida em: 17/08/89  
Versão revista e aceita em: 04/12/90  
Editor: M.S.M. Mantovani