



## Mapeamento do fluxo geotérmico da cidade de Teófilo Otoni

Franciny Xavier Metzker Lyra (francinyxml@hotmail.com), Grazielle Clarino Pereira (graziellarino@hotmail.com), Nayara Ramalho Moreira (nay\_moreira@hotmail.com), Samira Ramos dos Santos (samiramosm@yahoo.com.br) e Antônio Jorge de Lima Gomes (antonio.gomes@ufvjm.edu.br)

UFVJM – Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri

Copyright 2013, SBGf - Sociedade Brasileira de Geofísica

This paper was prepared for presentation during the 13<sup>th</sup> International Congress of the Brazilian Geophysical Society held in Rio de Janeiro, Brazil, August 26-29, 2013.

Contents of this paper were reviewed by the Technical Committee of the 13<sup>th</sup> 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

We present the first mapping of the heat flow from the city of Teófilo Otoni. The result being obtained from measurements performed on wells for water supply.

The results of this study allowed to determine the heat flow based on gradients existing and new evaluation of the thermal conductivity held in each well, thus obtaining the average value of heat flow from each well Teófilo Otoni city.

The values of the heat flow from the city of Teófilo Otoni resulted in a range between 34.2 and 61.4 mW/m<sup>2</sup>.

The average heat flow in the city of Teófilo Otoni presented the result of 58.6 ± 8.0 mW/m<sup>2</sup>, typical of Precambrian regions, in this case Juiz de Fora Complex, considered geologically stable.

### Introdução

A região de estudo está compreendida no Complexo Juiz de Fora, no Vale do Mucuri, Estado de Minas Gerais. As investigações geotérmicas, os valores de condutividade térmica e o gradiente geotérmico, são dados que foram obtidos de revisão de literatura (GOMES ET AL, 2004; GOMES ET AL, 2011 e SANTOS ET AL, 2012).

Este trabalho teve como objetivo principal o mapeamento do fluxo geotérmico da cidade de Teófilo Otoni, no Estado de Minas Gerais, já que seu conhecimento é imprescindível para a caracterização térmica da localidade em estudo e do campo térmico a nível regional.

Segundo Gomes (2010) os aspectos físico-químicos atuais da crosta terrestre são intensamente vinculados à maneira com que são distribuídas as temperaturas e como o fluxo de energia térmica se manifesta no seu interior.

Existem grandes indicativos de que o estado térmico atual da Terra desempenha um papel expressivo nos diversos fenômenos planetários, tanto internos como externos (Turcotte e Schubert, 1982; Hamza e Muñoz, 1996; Alexandrino e Hamza, 2008).

O conhecimento da distribuição de temperaturas na crosta é bastante útil nas diversas áreas de geociências, pois há várias possibilidades de aplicações de geotermia, tais como obras civis, exploração de recursos naturais, avaliação da contaminação subterrânea, engenharia e agricultura (Turcotte e Schubert, 1982; Cox e Hart, 1986).

O fluxo geotérmico da cidade de Teófilo Otoni foi obtido com base em medidas de gradiente geotérmico realizadas em poços de abastecimento de água e de condutividade térmica obtida através de revisão de literatura (GOMES ET AL, 2011 e SANTOS ET AL, 2012).

O mapeamento do fluxo geotérmico foi realizado com o auxílio de mapas de superfície, com um pacote de modelagem de superfícies numéricas. Utilizou-se na gradeagem o método do inverso da distância. Realizou-se análise de superfícies, mapeamento de contorno, gerando mapas de superfície capazes de realizar sofisticados processos de interpolação transformando dados georreferenciados em mapas de alta qualidade.

Dos poços estudados três são pertencentes à Copasa e o outro à empresa JBS. Todos estavam parados e sem bombeamento há bastante tempo, facilitando a obtenção dos perfis térmicos. Contudo, os resultados de gradientes geotérmicos foram obtidos pelo uso de dois métodos, o CVL (convencional) e o CBT (temperatura estável do fundo do poço) já apresentados por Gomes et al (2011) e Gomes e Alexandrino (2011).

### Metodologia

A Lei de Fourier foi desenvolvida a partir da observação dos fenômenos da natureza, e estabelece que o fluxo de calor que, num ponto do meio, é proporcional ao gradiente de temperatura neste ponto, ou seja:

$$\vec{q} = -k \vec{\nabla T} \quad (1.1)$$

Neste caso, consideremos o evento em estudo como unidimensional, no qual a Lei de Fourier apresenta a seguinte relação:

$$q = -k \frac{dT}{dz}, \tag{1.2}$$

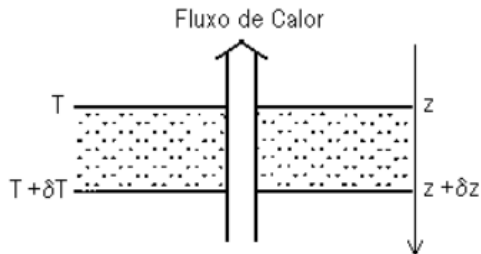


Figura 1 - Esquema do sentido do fluxo de calor terrestre.

Sabendo-se que a passagem do calor ocorrerá todas as vezes que houver uma diferença de temperatura entre um meio ou entre meios, e que esta transferência irá do meio mais concentrado para o menos concentrado, toma-se como referência, o fluxo neste sentido ↓ como sendo negativo e aquele ↑ como sendo positivo.

Como fluxo de calor, neste caso de estudo, será determinado a partir do calor proveniente da rocha matriz, que segundo (SANTOS, 2012) é composta, predominantemente, por gnaisses até a superfície do poço perfilado. Logo, toma-se o sentido do fluxo como sendo positivo, e a Lei de Fourier passará a ser escrita como:

$$q = k \frac{dT}{dz}, \tag{1.3}$$

Onde:

q o fluxo de calor;

k a condutividade térmica do material;

$\frac{dT}{dz}$  o gradiente geotérmico da temperatura T com a distância, na direção z do fluxo de calor °C/m.

O fator de proporcionalidade k (condutividade térmica) é uma propriedade que determina a capacidade que um determinado material possui para condução de calor (energia em movimento), sendo esse um valor que varia de acordo com o tipo de material, que no caso, depende do tipo de rocha e dos minerais que ali existem.

Com base na literatura, o valor médio obtido para o fator de proporcionalidade K da região de Teófilo Otoni é de 3,2 W/m.K de acordo com os estudos de (GOMES, 2003; GOMES, 2004; ALEXANDRINO, 2008; GOMES, 2009 e SANTOS ET AL, 2011) em todo Complexo Juiz de Fora.

A região de estudo está compreendida no Complexo Juiz de Fora, no Vale do Mucuri, Estado de Minas Gerais.

Todos os poços perfilados estão devidamente georreferenciados e todos os dados são apresentados na tabela (1), onde consta o número de cada poço, localização e coordenadas geográficas, além dos resultados obtidos dos gradientes geotérmicos, por tipo de método, para cada poço, de acordo com estudos desenvolvidos por (GOMES ET AL, 2011 e Gomes e Alexandrino, 2011).

Tabela 1 – Gradientes geotérmicos com a localização dos poços na cidade de Teófilo Otoni.

Poço	Coordenadas Geográficas		Gradiente Térmico (°C/km)	
	Latitude	Longitude	Tipo	Valor
C3-COPASA-TEO	17° 55' 19"	41° 28' 27"	CBT	17,2
C5-COPASA-TEO	17° 52' 11"	41° 32' 06"	CVL	19,2
C11-COPASA-TEO	17° 50' 23"	41° 30' 35"	CVL	10,7
P01-JBS-TEO	17° 52' 23"	41° 28' 22"	CBT	18,6

**Resultados e Análises**

A partir das perfilagens térmicas realizadas em Teófilo Otoni e do conhecimento da condutividade térmica, foi possível então, determinar os valores do fluxo de cada poço e o valor médio da região, conforme se apresenta na tabela (2).

Tabela 2 - Fluxo geotérmico dos poços da cidade de Teófilo Otoni.

Poço	Fluxo Geotérmico (mW/m²)	
	Valor	Desvio Padrão
C3-COPASA-TEO	55,0	5,5
C5-COPASA-TEO	61,4	6,6
C11-COPASA-TEO	34,2	5,4
P01-JBS-TEO	59,5	6,1
<b>FLUXO MÉDIO</b>	<b>58,6</b>	<b>8,0</b>

Os valores obtidos para cada poço foram esquematizados na figura (2) a seguir, onde se observou que o poço situado na região do Bela Vista apresenta uma anomalia térmica de baixo gradiente e também de baixo fluxo geotérmico.

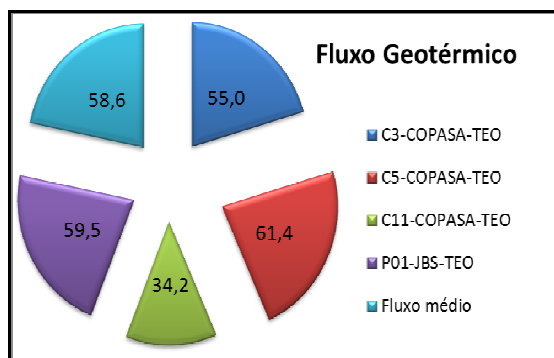


Figura 2 - Distribuição de Fluxo Geotérmico dos poços de Teófilo Otoni.

A partir da tabela 2, foi possível extrair valores para os desvios de cada fluxo, mostrados na figura (3).

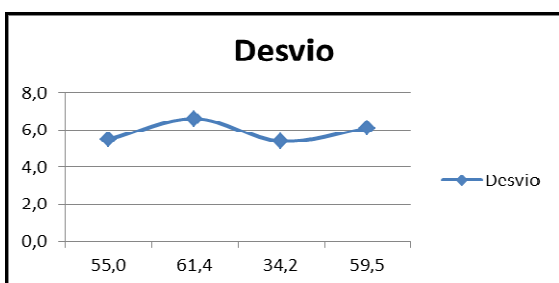


Figura 3 - Gráfico comparativo do desvio padrão do fluxo geotérmico nos quatro poços.

O mapeamento do fluxo geotérmico é apresentado na figura (4) no final deste trabalho.

### Conclusões e Considerações Finais

Os resultados obtidos para o fluxo geotérmico na cidade de Teófilo Otoni foram os seguintes: poço C03 com um valor de  $55,0 \pm 5,5$  mW/m<sup>2</sup>; poço C05 com  $61,4 \pm 6,6$  mW/m<sup>2</sup>; poço C11  $34,2 \pm 5,4$  mW/m<sup>2</sup> e o poço P01 com  $59,5 \pm 6,1$  W/m<sup>2</sup>.

O valor de fluxo geotérmico médio encontrado nos poços foi de  $58,6 \pm 8,0$  mW/m<sup>2</sup>, não servindo a princípio para o aproveitamento atual de energia geotérmica, pois para tal finalidade seria necessária à realização de perfurações muito profundas, o que é no momento extremamente dispendioso e inviável economicamente.

A região norte da cidade apresenta características de fluxo menor do que 52 mW/m<sup>2</sup>, enquanto a região sul apresenta valores acima de 54 mW/m<sup>2</sup>. A duas regiões são divididas pelo Rio Todos os Santos, que é a calha central da cidade.

Contudo, devem ser continuados estudos para que futuramente a região possa vir a ser utilizada em alguns locais, como uma fonte de energia alternativa, uma vez que, as fontes utilizadas na atualidade tendem ao seu esgotamento.

### Referências

ALEXANDRINO, C.H. **Campo termal da província estrutural São Francisco e Faixas móveis adjacentes.** Tese de doutorado, Observatório Nacional, 2008.

ALEXANDRINO, C., H.; HAMZA, V. M. **Estimates of heat flow and heat production and a thermal model of the São Francisco craton** International Journal of Earth Sciences, Volume 97, Number 2, p. 289-306, 2008.

COX, A.; HART, R. B. **Plate Tectonics - How it Works,** Blackwell Scientific Publications, Palo Alto, California, USA, 1986.

GOMES, A, J. L; **Avaliação de Recursos Geotermiais do Estado do Rio de Janeiro,** Tese de mestrado Observatório Nacional, 2003.

GOMES, A.J.L. ; ALEXANDRINO, C., H. . 2011. **Mapeamento de Gradiente Geotérmico do Município de Teófilo Otoni no Estado de Minas Gerais.** In: 12th International Congress Of The Brazilian Geophysical Society.

GOMES, A.J.L; GOMES, J,L,S; GOMES, P,S; **Área de Recarga identificada com base em Perfis Geotérmicos de poços no Município de Teófilo Otoni em Minas Gerais com vistas à Sustentabilidade Ambiental** em V Simpósio Brasileiro de Geofísica, Salvador, Brasil.

GOMES, A. J. L.; RAMALHO, A.M. ; PETZOLD, A.S. ; SANTOS, G.M.; SILVA, J.M.P.; CAMPOS, P.C.O. 2011. **Gradiente Geotérmico do Município de Teófilo Otoni no Estado de Minas Gerais.** In: 12th International Congress Of The Brazilian Geophysical Society, Rio de Janeiro, Brasil.

GOMES, S., B.; ALEXANDRINO, C., H. 2010. **Fluxo e Gradiente Geotérmico da Bacia do São Francisco** em Revista de Ciência e Tecnologia do Vale do Mucuri – RCTVM.

HAMZA, V.M., MUÑOZ, M., 1996, **Heat Flow map of South America, Geothermics** Vol. 25, nº 6, pp. 599-646, Inglaterra

SANTOS, F.P; SANTOS, G.M.; SILVA, J.M.P.; CAMPOS, P.C.O. 2011; GOMES, A.J.L. 2012. **Condutividade Térmica em Rochas e Sedimentos do Complexo Juiz de Fora,** em V Simpósio Brasileiro de Geofísica, Salvador, Brasil.

TURCOTTE, D. L.; SCHUBERT, G. **Geodynamics. Applications of continuum physics to geological problems.** John Wiley Sons, p. 450, 1982.

### Agradecimentos

Agradecemos à FAPEMIG e ao CNPq pelas bolsas de iniciação científica. Também agradeço ao professor Valiya Mannathal Hamza do Observatório Nacional e a toda a sua equipe pela colaboração com os equipamentos que realizaram as medidas das perfilagens térmicas em Teófilo Otoni.

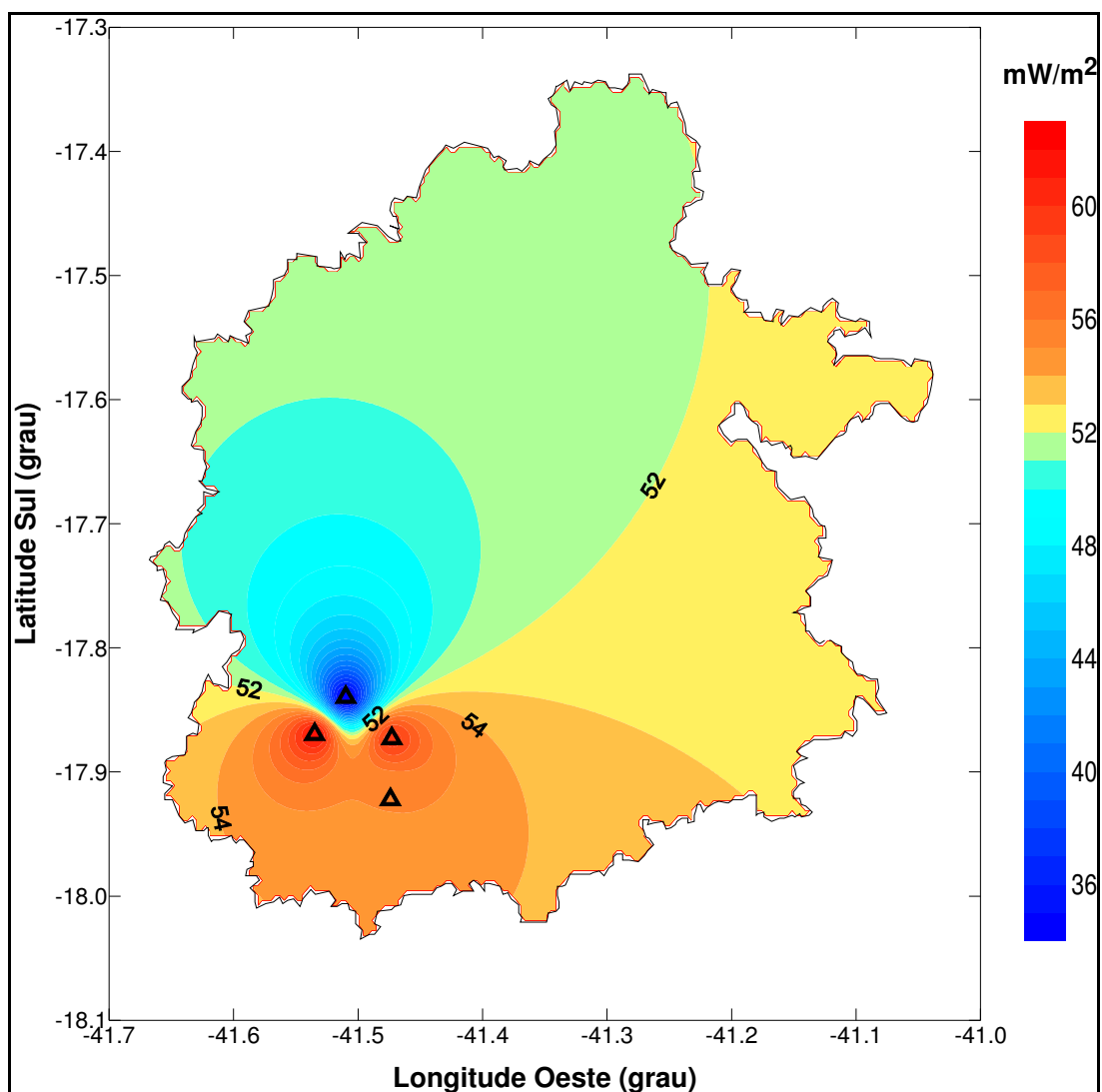


Figura 4 – Distribuição regional de fluxo geotérmico no Município de Teófilo Otoni.