



## Gradiente Geotérmico do Município de Teófilo Otoni no Estado de Minas Gerais

Autores: Antonio Jorge L. Gomes ([antonio.gomes@ufvjm.edu.br](mailto:antonio.gomes@ufvjm.edu.br)), Ackiles Matos Ramalho ([ackiles\\_matos@hotmail.com](mailto:ackiles_matos@hotmail.com)), Augusto dos Santos Petzold ([augustopezold@hotmail.com](mailto:augustopezold@hotmail.com)), Gleison Miranda Santos ([gleisoncml@hotmail.com](mailto:gleisoncml@hotmail.com)), Julhia Maria Pinto da Silva ([julhia\\_silva@hotmail.com](mailto:julhia_silva@hotmail.com)) e Priscila Carvalho Olira Campos ([pricampos92@yahoo.com.br](mailto:pricampos92@yahoo.com.br))

Copyright 2011, SBGf - Sociedade Brasileira de Geofísica

This paper was prepared for presentation during the 12<sup>th</sup> International Congress of the Brazilian Geophysical Society held in Rio de Janeiro, Brazil, August 15-18, 2011.

Contents of this paper were reviewed by the Technical Committee of the 12<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

Como parte de um programa de pesquisa de Energia Geotérmica dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri, apresentamos neste trabalho resultados inéditos obtidos com a realização de perfisagens térmicas de temperatura executadas em quatro poços, no Município de Teófilo Otoni, Vale do Mucuri, no Estado de Minas Gerais. As perfisagens térmicas foram realizadas em conjunto com a equipe do Laboratório de Geotermia do Observatório Nacional/MCT do Rio de Janeiro. Todos os poços utilizados eram de abastecimento de água. Três poços são de propriedade da Copasa e um da empresa JBS. Estes poços não estavam em bombeamento e sem uso há vários meses. Para a determinação do gradiente geotérmico foram utilizadas as metodologias dos tipos CVL (convencional) e CBT (temperatura estável do fundo do poço). Metade dos dados analisados utilizou o modelo CVL e o restante utilizou o CBT. Os dados obtidos nestes locais indicaram que os valores dos gradientes geotérmicos se encontram no intervalo de 10,7 a 19,2 °C/km, resultando num valor médio do Município de Teófilo Otoni de 18,3 ± 1,7 °C/km. Os valores obtidos indicam que esta região é caracterizada por gradientes geotérmicos relativamente baixos. Este comportamento é considerado como resultado correspondente a regiões geológicas estáveis do tipo pré-cambrianas.

### Introdução

Foram realizadas perfisagens térmicas inéditas em poços, no Município de Teófilo Otoni, como parte de um programa de pesquisa de Energia Geotérmica dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri. Um dos objetivos principais deste estudo é realizar uma avaliação de recursos geotérmicos em escala regional do Estado de Minas Gerais. Este projeto foi iniciado em 2010 pelo Laboratório de Geotermia da UFVJM – Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri, Campus do Mucuri em Teófilo Otoni, cujo laboratório se encontra em fase de implementação.

As medidas geotérmicas foram realizadas em conjunto com a equipe do Laboratório de Geotermia do Observatório Nacional/MCT do Rio de Janeiro, que cedeu

os equipamentos para a realização das perfisagens térmicas.

O conjunto de dados utilizado para a avaliação do gradiente geotérmico consistiu de dados experimentais, medidos em poços de quatro localidades, situadas dentro do Município de Teófilo Otoni no Estado de Minas Gerais. Na Figura (1) apresentamos a localização do Município de Teófilo Otoni onde foram realizadas as medidas geotérmicas e situado na região NE de Minas Gerais.

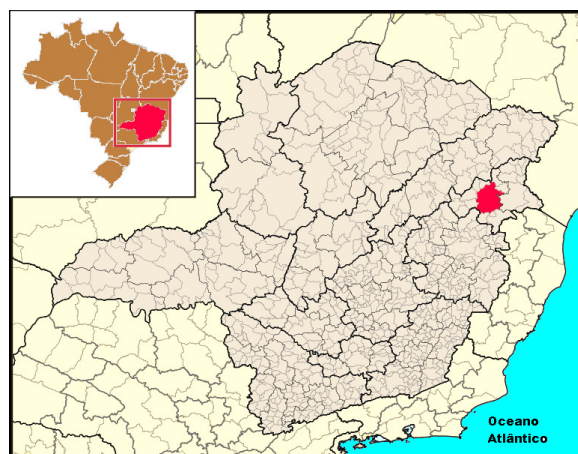


Figura 1 – Mapa regional com a localização do Município de Teófilo Otoni situado na região nordeste do Estado de Minas Gerais.

### Metodologia

Para a determinação dos gradientes geotérmicos da área de estudo, utilizamos dois métodos distintos, que foram respectivamente, o método convencional (CVL) e o de temperatura estável do fundo de poço (CBT).

As informações sobre as temperaturas em subsuperfície constituem o acervo básico para avaliação de recursos geotérmicos. Há dois conjuntos de dados sobre as temperaturas em profundidade: medidas diretas e estimativas indiretas (Boldizar, 1958; Bullard, 1965; Bodvarsson, 1974; Jessop et al, 1976; Haenel e Mongelli, 1988; Fournier, 1991).

Os dados obtidos e observados são resultados de medições experimentais inéditas e permitiram a determinação dos parâmetros geotérmicos da área de estudo. As medidas de temperatura foram efetuadas com o uso de sensores tipo termistor.

Os termistores são semicondutores que apresentam propriedades físicas específicas, onde a resistência elétrica diminui com o aumento da temperatura.

O método convencional (CVL) é utilizado para determinação do gradiente geotérmico através de ajuste linear dos dados de perfilagem para um intervalo selecionado. O intervalo deve estar preferencialmente livre de qualquer processo de perturbação que seja capaz de afetar o regime geotérmico local. O uso deste método é adotado para casos onde as camadas geológicas são lateralmente homogêneas, de propriedades térmicas constantes e possuem dimensões físicas bem definidas em relação aos intervalos das medidas. Desta forma, a profundidade foi considerada como variável independente e a temperatura como variável dependente.

No presente caso, para um conjunto de N pares de dados ( $z_i$ ,  $T_i$ ) os coeficientes são o gradiente térmico ( $\Gamma$ ) e o intercepto ( $T_0$ ), dada por:

$$\Gamma = \frac{N \sum z_i T_i - \sum z_i \sum T_i}{N \sum z_i^2 - (\sum z_i)^2} \quad (1)$$

$$T_0 = \frac{\sum z_i^2 \sum T_i - \sum z_i \sum z_i T_i}{N \sum z_i^2 - (\sum z_i)^2} \quad (2)$$

O método de temperatura estável de fundo do poço (CBT) é utilizado para casos, em que os fluxos de fluidos no interior do poço, perturbam o regime térmico condutivo, impossibilitando desta forma a determinação pelo método convencional do gradiente geotérmico. Nesses casos, uma variante do procedimento conhecido como 'método de fundo do poço' (BHT), proposto por Carvalho e Vacquiers (1977) e Carvalho (1981) e foi utilizado por Hamza e Muñoz (1996), Gomes e Hamza, (2004, 2005, 2006, 2007, 2008 e 2009), Hamza et al, (2004), Hamza et al, (2005), Alexandrino e Hamza (2008), Hamza et al (2010).

O gradiente pelo CBT é determinado pela seguinte relação:

$$T_{CBT} = T_0 + q \sum_{i=1}^N R_i h_i \quad (3)$$

onde  $R_i$  é a resistividade térmica da camada  $i$ . O termo do somatório se refere à resistência térmica cumulativa das formações presentes até o fundo do poço onde foi efetuada a medida de temperatura.

### Resultados Obtidos das Perfilagens Térmicas

Todos os poços em que foram realizadas as perfilagens térmicas estão localizados no Município de Teófilo Otoni. Todos estes locais estão devidamente georreferenciados e são apresentados na Tabela (1), onde consta o número

do poço, localização e suas respectivas coordenadas geográficas.

Tabela 1 – Locais dos poços perfilados em Teófilo Otoni.

Poço	Local	Coordenadas Geográficas	
		Latitude	Longitude
C3-COPASA-TEO	Potón	17° 55' 19"	41° 28' 27"
C5-COPASA-TEO	São José	17° 52' 11"	41° 32' 06"
C11-COPASA-TEO	Bela Vista	17° 50' 23"	41° 30' 35"
P01-JBS-TEO	JBS	17° 52' 23"	41° 28' 22"

### Resultados do Gradiente Geotérmico

Os resultados obtidos por tipo de método de gradiente geotérmico para cada poço são apresentados na Tabela (2) a seguir:

Tabela 2 – Resultados obtidos dos gradientes geotérmicos por poço, tipo de método e

Poço	Gradiente Geotérmico (°C/km)		
	Tipo	Valor	Desvio Padrão
C3-COPASA-TEO	CBT	17,2	0,17
C5-COPASA-TEO	CVL	19,2	0,71
C11-COPASA-TEO	CVL	10,7	1,29
C1-JBS-TEO	CBT	18,6	0,48

Os valores encontrados na determinação do gradiente geotérmico de cada poço são apresentados no final deste trabalho nas Figuras (2), (3), (4) e (5).

Nestes gráficos são mostrados os ajustes lineares e também estão especificamente traçados os limites de temperatura com a equação correspondente do gradiente geotérmico e seu intercepto.

### Conclusões:

Os valores comparativos encontrados em todos os gradientes geotérmicos obtidos se encontram no intervalo de 10,7 a 19,2 °C/km, resultando num valor médio de gradiente Geotérmico do Município de Teófilo Otoni em  $18,3 \pm 1,7$  °C/km.

Os resultados dos gradientes geotérmicos obtidos pelos métodos CVL e CBT, nos poços localizados em Teófilo Otoni, indicaram que os valores se situam num intervalo compreendido entre 10,7 e 19,2 °C/km.

Resultados referentes ao método CBT apresentaram valores resultantes dos gradientes geotérmicos num intervalo compreendido entre 17,2 e 18,6 °C/km.

O poço C05 apresentou o maior valor obtido para o gradiente geotérmico, que resultou em  $19,2 \pm 0,71$  °C/km. Este compreende o poço mais profundo onde foi utilizado o método CVL.

O mais baixo valor de gradiente geotérmico obtido foi do poço C11, cujo resultado de 10,7 °C/km é indicativo de zonas de recarga estando próximo a um pequeno riacho, denominado córrego Santo Antonio.

Os valores obtidos indicam que esta região é caracterizada por gradientes geotérmicos relativamente baixos. A região onde foram realizadas as medidas consistem de unidades geológicas pertencentes ao Complexo Juiz de Fora.

Neste contexto, o resultado observado para o conjunto de valores do gradiente geotérmico é considerado como normal e correspondente a regiões geológicas consideradas estáveis e do tipo pré-cambrianas.

#### Agradecimentos:

Agradecemos à equipe do Laboratório de Geotermia do Observatório Nacional/MCT, que participou das perfilações e cedeu os equipamentos. Em especial ao Dr. Valiya Manathal Hamza, Fábio Fabio Pinto Vieira e Suze Nei Pereira Guimarães. Agradecemos à Fapemig e ao MEC pelas bolsas de iniciação científica de Augusto dos Santos Petzold e Julhia Maria Pinto da Silva, que muito contribuíram para a realização deste trabalho.

#### Referências Bibliográficas

- Alexandrino, C., H.; Hamza, V. M., 2008. 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, 289-306.
- Bodvarsson, G., 1974, *Geothermal resource energetics*, *Geothermics*, vol. 3, pp. 83-92.
- Boldizar, 1958 T. Boldizar, The distribution of temperatures in flowing wells, *Am. J. Sci.* 256 (1958), pp. 294-298.
- Bullard, E. C., 1965, Historical introduction to terrestrial heat flow, *American Geophysics Union, Geophys. Mon. Ser.*, in Lee, W. H. K. (ed.), *Terrestrial Heat Flow*, vol. 8, pp. 1-6.
- Carvalho, H. S., and Vacquiers, V., 1977, Method for determining terrestrial heat flow in oil fields: *Geophysics*, v. 42, no. 3, p. 584-593.
- Carvalho, H. S., 1981, Métodos 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).
- Fournier, R. O., 1991, *Water geothermometers applied to geothermal energy*, ed. D'Amore F., UNITAR-UNDP, New York, 253-273.
- Gomes, A.J.L. e Hamza, V.M., 2004. Mapeamento de Gradientes Geotérmicos no Estado de São Paulo, In: 1º Simpósio Regional de Geofísica, Anais, Cd-rom, São Paulo, 26-28 de setembro, 4p.
- Gomes, A. J. L. and HAMZA, V.M., 2005. Gradiente e Fluxo Geotérmico do Estado de Santa Catarina, 9º International Congress of the Brazilian Geophysical Society, 6p., Cd-rom, Salvador, Brasil.
- Gomes, A.J.L. e Hamza, V.M., 2006. Gradiente e Fluxo Geotérmico no Estado do Paraná, In: 2º Congresso Internacional da SBGf, Anais, Cd-rom, Natal, 21-23 de setembro, 6p.
- Gomes, A.J.L. e Hamza, V.M., 2007. Gradiente e Fluxo Geotérmico nas Bordas Norte e Noroeste da Bacia do Paraná, In: 10º Congresso Internacional da SBGf, Anais, Cd-rom, Rio de Janeiro, 19-22 de Novembro, 6p.
- Gomes, A.J.L. e Hamza, V.M., 2008. Distribuição Regional de Gradiente e Fluxo Geotérmico no Estado do Rio Grande do Sul incluindo também áreas vizinhas do Uruguai e da Argentina, In: 3º Simpósio Brasileiro de Geofísica da SBGf, Anais, Cd-rom, 26-28 de Novembro, 6p. Natal.
- Gomes, A.J.L. e Hamza, V.M., 2009. Gradiente e Fluxo Geotérmico da Bacia do Paraná, 11th International Congress of the Brazilian Geophysical Society held in August 24-28, 2009, Salvador, Brazil.
- Haenel, R., Mongelli, F., 1988. Thermal exploration methods, *Handbook of Terrestrial Heat-Flow Density Determination*, p.353-389.
- Hamza, V.M., Silva Dias, F.J.S., Gomes, A.J.L. and Terceros, Z.G.D., 2005. Numerical and Functional Representations of Regional Heat Flow in South America, *Physics of the Earth and Planetary Interiors*, Volume 152, 4, p.223-256.
- Hamza, V.M. and Muñoz, M., 1996. Heat Flow map of South America, *Geothermics*, Vol. 25, nº 6, pp. 599-646.
- Hamza, V.M., Cardoso, R.R., Gomes, A.J.L. and Alexandrino, C.H., 2010. Brazil: Country Update, *Proceedings World Geothermal Congress*, Bali, Indonesia, 25-29 April 2010
- Hurter, S.J. and Pollack, H.N., 1996. Terrestrial heat flow in the Paraná basin, Southern Brazil, *J. Geophys. Res.*, 101, p.8659-8672.
- Meister, E.M., 1973. Gradientes geotérmicos nas bacias sedimentares Brasileiras, *Boletim Técnico Petrobrás*, 16 (4), 221-232.
- Vitorello, I., Hamza, V.M.; Pollack, H.N. and Araújo, R.L.C., 1978. Geothermal Investigations in Brazil, *Rev. Brasil. Geociências*, vol. 8, pp. 71-89.
- Vitorello, I., Hamza, V.M. and Pollack, H.N., 1980. Terrestrial Heat Flow in the Brazilian Highlands, *Journal of Geophysical Research*, vol. 85, pp. 3778-3788.

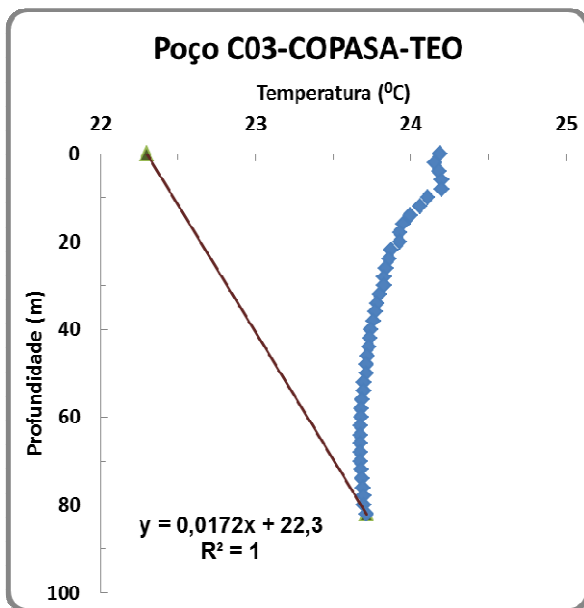


Figura 2 – Perfil térmico do poço C03 da COPASA situado no Bairro Potón em Teófilo Otoni.

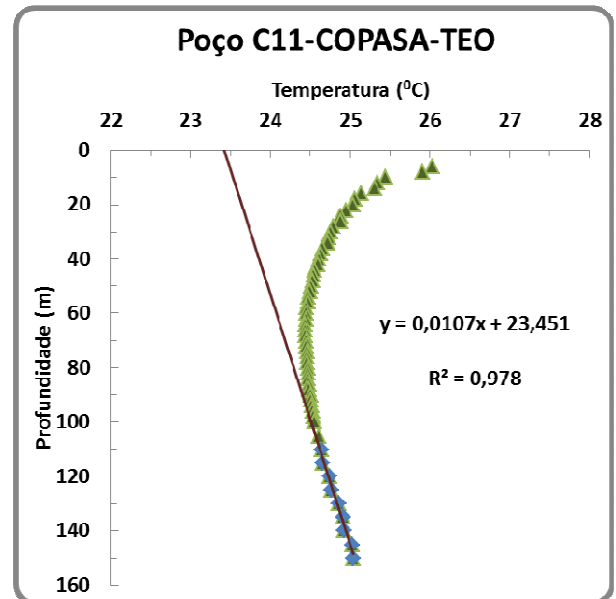


Figura 4 – Perfil térmico do poço C11 da Copasa situado no Bairro Bela Vista em Teófilo Otoni.

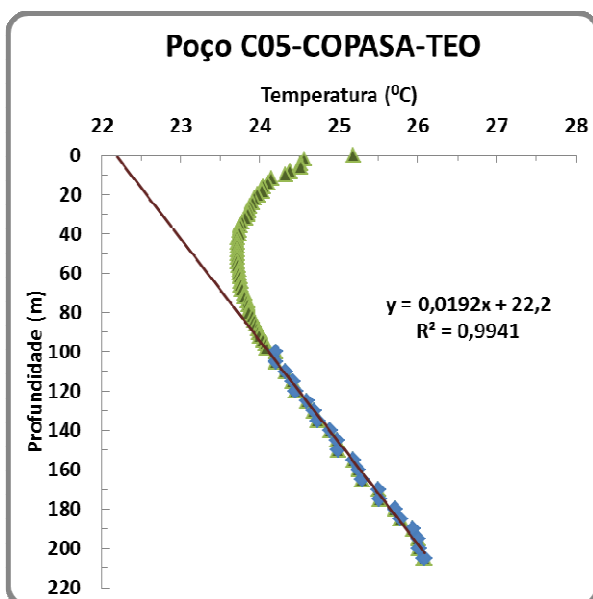


Figura 3 – Perfil térmico do poço C05 da Copasa situado no Bairro São José em Teófilo Otoni.

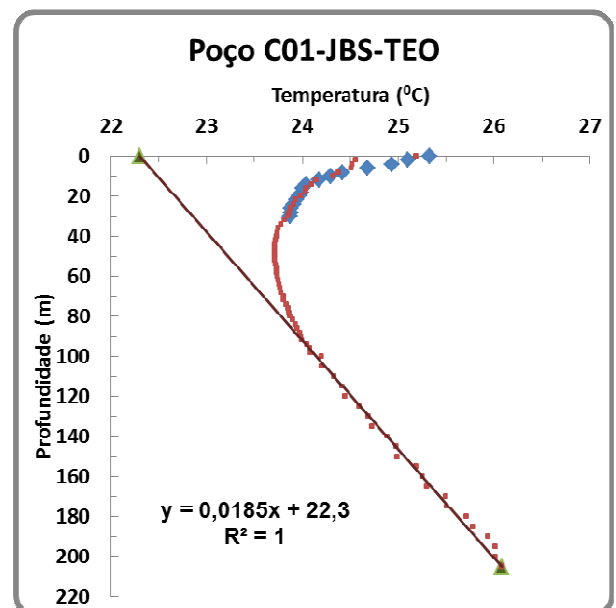


Figura 5 – Perfil térmico do poço C01 em azul situado na empresa JBS sobreposto ao C05 em vermelho.