



# AVALIAÇÃO DE RECURSOS GEOTERMAIS DO ESTADO DO RIO DE JANEIRO

Antonio Jorge de Lima Gomes\* ([ajlgomes@on.br](mailto:ajlgomes@on.br)) e Valiya M. Hamza ([hamza@on.br](mailto:hamza@on.br)) - OBSERVATÓRIO NACIONAL, Brasil

Copyright 2003, SBGf - Sociedade Brasileira de Geofísica

This paper was prepared for presentation at the 8<sup>th</sup> International Congress of The Brazilian Geophysical Society held in Rio de Janeiro, Brazil, 14-18 September 2003.

Contents of this paper were reviewed by The Technical Committee of The 8<sup>th</sup> International Congress of The Brazilian Geophysical Society and does 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

Results of geothermal investigations carried out at 72 localities (in 30 municipalities) have been used in evaluating thermal energy resources of the State of Rio de Janeiro. The investigations included measurements of geothermal gradient and thermal conductivity as well as determination of heat flow density. In most areas heat flow is found to be low to normal, being less than 60mW/m<sup>2</sup>. However in several isolated areas, generally close to localities of alkaline intrusions and fault systems, heat flow is found to be higher than normal, reaching values in excess of 100 mW/m<sup>2</sup>. The data were used in preparing maps of gradient and heat flow, which in turn were employed in determining temperature profiles of the upper crust and in assessment of resources based on the volumetric method.

The results obtained indicate that the overall resource base is about 1.03 x 10<sup>23</sup>J. The accessible resource at depths of less than 3 km is estimated as 9,3x10<sup>21</sup>J. The recoverable fraction of this resource is estimated at 4,7x10<sup>20</sup>J. The geographic distribution of resources indicates however considerable variations, apparently related to the geologic characteristics of the main tectonic units.

## Introdução

No período de 1999 a 2002 foi realizado para um programa de avaliação de recursos geotermiais em escala regional no estado de Rio de Janeiro. Como parte deste projeto foram efetuadas medidas de gradiente e do fluxo geotérmico em 72 localidades, distribuídos em 30 municípios. Esses resultados foram utilizados na avaliação de recursos de energia térmica na crosta superior sob a área de estudo.

Os gradientes térmicos foram determinados por três métodos distintos: o convencional (CVL), o de temperatura convencional do fundo de poço (CBT) e o aquífero (AQT). Utilizamos também dados de fontes termais de Hurter et al (1987, 1983) com geotermômetros de SiO<sub>2</sub>, Na/k e Na-K-Ca.

O mapeamento do gradiente e do fluxo geotérmico permitiu a avaliação das variações no campo térmico na área de estudo.

O método de volume (Muffler e Cataldi, 1977 e 1978) foi utilizado para a avaliação dos recursos geotermiais.

## Metodologia

Recursos geotermiais consistem basicamente de energia geotermal, então avaliar recursos geotermiais consiste em estimar a energia térmica em subsuperfície para uma determinada região. Recurso Geotermal é uma parte do

recurso base, incluindo as reservas, o qual pode tornar-se viável sua exploração para certas condições tecnológicas e econômicas. (Netschert, 1958, Schurr e Netschert, 1960). O recurso base (RB) é a soma total de toda a energia geotérmica existente na crosta terrestre em uma determinada área ou região (Muffler e Cataldi, 1977 e 1978).

O cálculo do Recurso Base (Q) foi efetuado utilizando a seguinte relação:

$$Q = \rho c_p A Z (T - T_0) \quad (1)$$

onde  $\rho$  é a densidade média da crosta superior,  $c_p$  o calor específico,  $A$  área,  $T$  a temperatura na profundidade  $Z$ . e  $T_0$  a temperatura anual média da região.

No caso de regime térmico estacionário e produção de calor constante o excesso de temperatura ( $T_E = T - T_0$ ) pode ser estimado usando a seguinte relação:

$$T_E(z) = \frac{q_0}{k} z - \frac{A_0}{2k} z^2 \quad (2)$$

onde  $q_0$  é a densidade de fluxo de calor,  $k$  a condutividade térmica e  $A_0$  taxa de produção de calor.

A integração da equação (2) e a sua substituição na equação (1) permitem determinar recurso associado ao excesso de temperatura ( $T_E$ ):

$$Q = \rho c_p A Z \left( \frac{q_0 z^2}{2k} - \frac{A_0 z^3}{6k} \right) \quad (3)$$

De acordo com a prática adotada por Muffler e Cataldi (1978) utilizou-se o valor de 10 km para a profundidade de referencia no calculo de recurso base.

O uso da equação (3) exige avaliação de gradiente e fluxo geotérmico. Utilizamos a temperatura  $T_0$  das normais climatológicas do Ministério da Agricultura (1969) e os métodos descritos por Kappelmeyer e Haenel (1974, 1988), Ribeiro (1987), Hamza et al (1981 e 1996) e Santos et al (1986).

Para calculo do gradiente geotérmico, pelo método CVL, determinamos a taxa de variação entre as temperaturas ( $\Delta T$ ) e a profundidade do poço ( $\Delta Z$ ). No método CBT o gradiente determina-se pela razão entre a diferença da temperatura do fundo do poço ( $T_{fp}$ ) e a temperatura anual média da superfície da região ( $T_0$ ) pela diferença da distância vertical entre os dois pontos ( $\Delta Z$ ). De acordo com Santos et al (1986) o gradiente CBT será:

$$\Gamma_{CBT} = T_{FP} - T_0 / Z_{FP} - Z_s \quad (4)$$

No método geoquímico as temperaturas em profundidade foram calculadas com base nas fórmulas de:

-Fournier (SPV-1981):

$$T_p = [1309/(5.19 - \log C)] - 273.15 \quad (5)$$

-Fournier (PMV-1981):

$$T_p = [1522/(5.75 - \log C)] - 273.15 \quad (6)$$

-Verma (1995):

$$T_p = C1 + C2S + C3S^2 + C4S^3 + C5 \log S \quad (7)$$

O gradiente é então determinado por:

$$\Gamma = (T_z - T_0)/(m * \lambda) \quad (8)$$

onde  $T_z$  é a temperatura na profundidade  $z$ ,  $\Gamma$  o gradiente térmico,  $m$  uma constante e  $\lambda$  a condutividade térmica média. O fluxo geotérmico ( $q$ ) é determinado pela lei de

Fourier que aplicada num meio isotrópico (Kappelmeyer et al, 1974), nos apresenta:

$$q = \Gamma \cdot \lambda_m \pm \sigma_q \quad (9)$$

onde:  $\lambda_m$  a condutividade média da subsuperfície,  $\Gamma$  o gradiente térmico e  $\sigma_q$  o desvio padrão.

**Resultados de perfilações térmicas**

Os gradientes determinados pelo método Convencional CVL são apresentados na Tabela (1).

Tabela 1 – Valores dos gradientes CVL.

| Município      | Local          | Gradiente (°C/Km) |            |
|----------------|----------------|-------------------|------------|
|                |                | Valor             | $\sigma_g$ |
| Angra dos Reis | Bonfim         | 46                | 2,2        |
|                | Virada Leste   | 23                | 1,1        |
| Campos         | Baixa Grande   | 19                | 9,3        |
|                | Boa Vista      | 26                | 0,5        |
|                | São Sebastião  | 35                | 38,5       |
| Duas Barras    | Horto          | 19                | 0,3        |
|                | Centro         | 15                | 0,2        |
|                | Centro         | 15                | 0,1        |
|                | Centro         | 17                | 12,8       |
| Maricá         | Manoel Ribeiro | 20                | 10,2       |
| Miracema       | Centro         | 20                | 12,8       |
| Niterói        | Cafubá         | 14                | 0,1        |
| Paraíba do Sul | Cruz das Almas | 17                | 10         |
| Porciúncula    | Santa Clara    | 13                | 0,4        |
| Resende        | Centro         | 62                | 1,68       |
|                | Centro         | 26                | 20         |
| Rio Claro      | PassaTres      | 39                | 15,1       |
| Saquarema      | Gj. S. Antonio | 15                | 0,3        |
| S.Seb.do Alto  | V.Barro-Centro | 7                 | 0,14       |
|                | V.Barro-Centro | 9                 | 19,2       |
| Seropédica     | Orfanato       | 23                | 0,13       |
|                | P.S.Piranema   | 22                | 0,16       |
| Teresópolis    | Meudon         | 22                | 0,16       |
|                | Faz. Texas     | 22                | 0,02       |
|                | Meudom         | 20                | 0,02       |
| Volta Redonda  | Barra do Imbui | 21                | 0,02       |
|                | Padre Josimo   | 20                | 14,2       |

Os gradientes obtidos pelo método de temperatura do fundo do poço (CBT) e aquífero (AQT) são apresentados na Tabela (2).

Tabela 2 – Valores dos Gradientes CBT e AQT.

| Município   | Local          | Gradiente (°C/Km) |            |
|-------------|----------------|-------------------|------------|
|             |                | CBT               | $\sigma_g$ |
| Cambuci     | Monte Verde    | 25                | 11,9       |
| Campos      | Consel. Josino | 21                | 13,6       |
| Carapebus   | Centro         | 30                | 11,1       |
| Cordeiro    | Matadouro      | 20                | 0,5        |
| Duas Barras | Centro         | 16                | 12,8       |
| Itaocara    | Cel. Teixeira  | 19                | 0,2        |

|                  |                |    |      |
|------------------|----------------|----|------|
|                  | Jaguarembé     | 17 | 10   |
| Itatiaia         | Xerox 2        | 17 | 11,1 |
| Laje de Muriaé   | Centro         | 23 | 10   |
| Maricá           | Manoel Ribeiro | 26 | 13,1 |
|                  | Manoel Ribeiro | 23 | 15,1 |
| Miguel Pereira   | Centro         | 16 | 13,5 |
| Miracema         | Paraíso Tobias | 21 | 10   |
| Niterói          | Piratininga    | 61 | 33,3 |
| São Gonçalo      | Tribobó        | 44 | 55,6 |
| Paraíba do Sul   | Ponte Preta    | 17 | 38,4 |
| Resende          | Centro         | 33 | 20   |
| Rio Bonito       | Boa Esperança  | 33 | 9,6  |
| S.Sebast.do Alto | V.Barro-Centro | 9  | 9,4  |
| Sapucaia         | Aparecida      | 14 | 12,8 |
|                  | Jamapara       | 34 | 13,5 |
|                  | Jamapara       | 46 | 12,5 |
| Silva Jardim     | Faz. Brasil    | 51 | 50   |
| Teresópolis      | Águas Quentes  | 64 | 55,6 |

**Resultados de Geotermômetros**

Os resultados dos gradientes por geotermômetros são apresentados nas Tabelas (3), (4) e (5),

Tabela 3 – Gradiente pelo método SiO2.

| Município       | Local          | Gradiente (°C/Km) |            |
|-----------------|----------------|-------------------|------------|
|                 |                | SiO2              | $\sigma_g$ |
| Campos          | Pedra Alecrim  | 34                | 25,9       |
| Itaguaí         | Poço 2         | 49                | 25,6       |
| Niteroi         | Ingá           | 60                | 25,7       |
| Paraíba do Sul  | Salutaris      | 46                | 25,6       |
| Rio Bonito      | Catimbau       | 69                | 25,7       |
| Rio de Janeiro  | Santa Cruz     | 29                | 25,5       |
| St. A. de Pádua | Iodetada       | 45                | 25,6       |
| S. Gonçalo      | Ag. S. Gonçalo | 51                | 25,7       |

Tabela 4 – Gradiente pelo método Na/K.

| Município       | Local        | Gradiente (°C/Km) |            |
|-----------------|--------------|-------------------|------------|
|                 |              | Na/K              | $\sigma_g$ |
| Paraíba do Sul  | Salutaris    | 26                | 14         |
| Rio Bonito      | Catimbau     | 69                | 25,7       |
| Rio de Janeiro  | Agua Meyer   | 70                | 51         |
|                 | Nazareth     | 57                | 40         |
|                 | Silva Manuel | 24                | 13         |
| St. A. de Pádua | Iodetada     | 31                | 19         |

Tabela 5 – Gradiente pelo método Na-K-Ca.

| Município       | Local         | Gradiente (°C/km) |            |
|-----------------|---------------|-------------------|------------|
|                 |               | Na-K-Ca           | $\sigma_g$ |
| Paraíba do Sul  | Salutaris     | 41                | ± 2,6      |
| Rio Bonito      | Catimbau      | 69                | ± 3,6      |
| Rio de Janeiro  | Agua Meyer    | 64                | ± 3,4      |
|                 | Silva Manuel  | 29                | ± 2,8      |
| St. A. de Pádua | Iodetada      | 45                | ± 2,7      |
| S. Gonçalo      | Ag.S. Gonçalo | 51                | ± 2,9      |

**Resultados de condutividade e fluxo térmico**

As determinações de condutividade térmica foram realizadas em 90 amostras no Laboratório de Geotermia do Observatório Nacional, cujos valores são apresentados juntamente com os de fluxo geotérmico na Tabela (6):

Tabela 6 – Condutividade e fluxo geotérmico.

| Município   | Local          | Condutividade (W/m K) |                  | Fluxo (mW/m <sup>2</sup> ) |            |
|-------------|----------------|-----------------------|------------------|----------------------------|------------|
|             |                | $\lambda$             | $\sigma_\lambda$ | q                          | $\sigma_q$ |
| Angra Reis  | Bonfim         | 2,9                   | 1,0              | 134                        | 53         |
|             | Virada Leste   | 2,9                   | 0,8              | 67                         | 26         |
| Cambuci     | Monte Verde    | 3,0                   | 1,2              | 74                         | 65         |
| Campos      | Baixa Grande   | 2,7                   | 0,8              | 50                         | 40         |
|             | Boa Vista      | 2,7                   | 0,8              | 71                         | 22         |
|             | Consel. Josino | 2,7                   | 0,8              | 58                         | 54         |
|             | São Sebastião  | 2,2                   | 0,8              | 78                         | 113        |
|             | Uenf-Horto     | 2,8                   | 0,8              | 56                         | 16         |
|             | Pedra Alecrim  | 2,7                   | 0,8              | 92                         | 97         |
| Carapebus   | Centro         | 2,7                   | 0,8              | 82                         | 54         |
| Cordeiro    | Matadouro      | 3,1                   | 1,3              | 61                         | 27         |
| Duas Barras | Centro         | 3,1                   | 1,3              | 46                         | 20         |
|             | Centro         | 3,1                   | 1,3              | 46                         | 20         |
|             | Centro         | 3,1                   | 1,3              | 52                         | 61         |
|             | Centro         | 3,1                   | 1,3              | 50                         | 60         |
| Itaguaí     | Poço 2         | 3,0                   | 1,7              | 149                        | 163        |
| Itaocara    | Cel. Teixeira  | 3,0                   | 2,0              | 57                         | 39         |
|             | Jaguarembé     | 3,0                   | 2,0              | 52                         | 64         |
| Itatiaia    | Próximo Dutra  | 2,7                   | 0,8              | 45                         | 43         |
| Laje Muriaé | Centro         | 3,0                   | 1,2              | 70                         | 58         |
| Maricá      | Manoel Ribeiro | 2,7                   | 1,3              | 68                         | 68         |
|             | Manoel Ribeiro | 2,7                   | 1,3              | 54                         | 53         |
|             | Manoel Ribeiro | 2,7                   | 1,3              | 62                         | 70         |
| Mig.Pereira | Centro         | 3,1                   | 1,3              | 50                         | 62         |
| Miracema    | Centro         | 3,0                   | 1,2              | 61                         | 63         |
|             | Paraíso Tobias | 3,0                   | 1,2              | 62                         | 54         |
| Niterói     | Cafubá         | 3,1                   | 1,3              | 44                         | 18         |
|             | Piratininga    | 3,1                   | 1,3              | 188                        | 181        |
|             | Ingá           | 3,1                   | 1,3              | 185                        | 156        |
| Par. do Sul | Cruz Almas     | 3,1                   | 1,3              | 53                         | 52         |
|             | Ponte Preta    | 3,1                   | 1,3              | 53                         | 140        |
|             | Salutaris      | 3,1                   | 1,3              | 142                        | 137        |
|             | Salutaris      | 3,1                   | 1,3              | 127                        | 59         |
|             | Salutaris      | 3,1                   | 1,3              | 79                         | 75         |
| Porciúncula | Santa Clara    | 3,0                   | 1,2              | 39                         | 18         |
| Resende     | Centro         | 2,7                   | 0,8              | 89                         | 80         |
|             | Centro         | 2,7                   | 0,8              | 167                        | 54         |
|             | Centro         | 2,7                   | 0,8              | 70                         | 75         |
| Rio Bonito  | Boa Esperança  | 2,7                   | 0,8              | 89                         | 52         |
|             | Catimbau       | 2,7                   | 1,5              | 186                        | 173        |
|             | Catimbau       | 2,7                   | 1,5              | 186                        | 113        |
|             | Catimbau       | 2,7                   | 1,5              | 186                        | 173        |
| Rio Claro   | PassaTres      | 3,1                   | 2,1              | 121                        | 127        |
| Rio Janeiro | Agua Meyer     | 2,7                   | 1,5              | 172                        | 105        |
|             | Agua Meyer     | 2,7                   | 1,5              | 189                        | 242        |
|             | Nazareth       | 2,7                   | 1,5              | 153                        | 194        |
|             | Santa Cruz     | 2,7                   | 1,5              | 78                         | 112        |
|             | Silva Manuel   | 2,7                   | 1,5              | 65                         | 70         |
|             | Silva Manuel   | 2,7                   | 1,5              | 78                         | 51         |
| Sapucaia    | Aparecida      | 3,5                   | 2,0              | 49                         | 72         |

|              |                |              |     |     |     |
|--------------|----------------|--------------|-----|-----|-----|
|              | Jamapara       | 3,5          | 2,0 | 119 | 114 |
|              | Jamapara       | 3,5          | 2,0 | 161 | 134 |
| S.A. Pádua   | Iodetada       | 3,0          | 2,0 | 135 | 165 |
|              | Iodetada       | 3,0          | 2,0 | 135 | 96  |
|              | Iodetada       | 3,0          | 2,0 | 94  | 117 |
| S. Gonçalo   | Tribobó        | 3,1          | 1,3 | 134 | 226 |
|              | Ag. S. Gonçalo | 3,3          | 1,8 | 169 | 175 |
|              | Ag. S. Gonçalo | 3,3          | 1,8 | 169 | 99  |
| S.S.do Alto  | V.Barro-Centro | 3,5          | 2,0 | 26  | 15  |
|              | V.Barro-Centro | 3,5          | 2,0 | 30  | 50  |
|              | V.Barro-Centro | 3,5          | 2,0 | 33  | 86  |
| Saquarema    | Gj. S. Antonio | 2,7          | 0,8 | 42  | 13  |
| Seropédica   | Orfanato       | 2,7          | 0,8 | 61  | 18  |
|              | P.S.Piranema   | 2,7          | 0,8 | 59  | 18  |
| Silva Jardim | Faz. Brasil    | 2,7          | 0,8 | 137 | 176 |
| Teresópolis  | Água Quente    | 3,1          | 1,3 | 196 | 254 |
|              | Meudon-BC2     | 3,1          | 1,3 | 66  | 29  |
|              | Faz. Texas     | 3,1          | 1,3 | 68  | 29  |
|              | Meudom-FVM     | 3,1          | 1,3 | 62  | 26  |
|              | Barra do Imbui | 3,1          | 1,3 | 65  | 28  |
| Vassouras    | Massambará     | 3,9          | 1   | 55  | 14  |
|              | V. Redonda     | Padre Josino | 2,8 | 1,2 | 57  |

**Avaliação de Recursos**

Como procedimento básico na avaliação de recursos foram determinadas as variações no campo térmico da crosta superior, através da elaboração dos mapas de gradiente e do fluxo geotérmico, apresentados nas figuras (1) e (2) respectivamente. Em seguida, as áreas entre as curvas de isovalores nesses mapas foram determinadas por procedimentos gráficos. Os dados geológicos foram obtidos de Almeida (1983), Oliveira (1987), Fonseca (1998), Filho et al (1999).

Com base nesses resultados foram determinados os recursos apresentados na tabela (7).

Tabela 7 – Recurso Base por variação de Fluxo.

| Fluxo Térmico (mW/m <sup>2</sup> ) | Área (km <sup>2</sup> ) | Recurso Base (J) |          |
|------------------------------------|-------------------------|------------------|----------|
|                                    |                         | Calculado        | Erro     |
| 20 - 40                            | 16                      | 1,65E+19         | 4,12E+17 |
| 40 - 60                            | 7518                    | 1,35E+22         | 3,37E+20 |
| 60 - 80                            | 27532                   | 7,06E+22         | 1,76E+21 |
| 80 - 100                           | 6178                    | 2,06E+22         | 5,15E+20 |
| 100 - 120                          | 866                     | 3,55E+21         | 8,88E+19 |
| > 120                              | 44                      | 2,17E+20         | 5,41E+18 |
| Médio                              | 43910                   | 1,00E+23         | 2,50E+21 |

A fim de avaliar a distribuição de recursos nas unidades geotectônicas foram determinadas as áreas correspondentes das principais províncias geológicas. Os valores do recurso base por província geológica são apresentados na Tabela (8).

Na Tabela (9) apresenta-se a variação das temperaturas em profundidade junto com as partes proporcionais de recurso base e o recurso recuperável. As estimativas de recurso recuperável, apresentadas na última coluna desta tabela, foram determinadas considerando uma porosidade média de 5%.

Na figura 3 apresentamos o mapa do recurso base unitário geotermal do Estado o Rio de Janeiro.

**Conclusões**

O conjunto de resultados obtidos indica que o fluxo geotérmico é inferior a 80 mW/m<sup>2</sup> na maioria dos locais, o que pode ser considerado como representativo do regime térmico das áreas Pré-cambrianas, não afetadas por atividades tectônicas e magmáticas recentes. Nestas áreas, temperaturas maiores de 100°C podem ser encontradas somente em profundidades superiores a três quilômetros. Conseqüentemente a probabilidade de ocorrência de sistemas geotermiais nessas áreas, em profundidades acessíveis para exploração econômica, é pequena.

Tabela 8 – Recurso Base por província geológica.

| Classificação Geológica           | Km <sup>2</sup> | Calculado | Erro     |
|-----------------------------------|-----------------|-----------|----------|
| Embasamento Metamórfico           | 29,889          | 7,025E+22 | 3,51E+21 |
| Sedimentos Fluviais e Marinheiros | 8,551           | 2,01E+22  | 1,00E+21 |
| Batólitos                         | 5,037           | 1,184E+22 | 5,92E+20 |
| Intrusões Alcalinas               | 433             | 1,018E+21 | 5,09E+19 |
| Total                             | 43,910          | 1,032E+23 | 5,16E+21 |

Tabela 9 – Recurso recuperável em profundidades de até 10 km.

| Zmax (m) | Tz (°C) | T <sub>E</sub> (°C) | Recursos (J) |             |
|----------|---------|---------------------|--------------|-------------|
|          |         |                     | Base         | Recuperável |
| 500      | 34,8    | 5                   | 2,63E+20     | 1,31E+19    |
| 1000     | 45,5    | 11                  | 1,05E+21     | 5,24E+19    |
| 1500     | 56,1    | 16                  | 2,35E+21     | 1,18E+20    |
| 2000     | 66,7    | 21                  | 4,17E+21     | 2,09E+20    |
| 3000     | 87,5    | 32                  | 9,34E+21     | 4,67E+20    |
| 10000    | 224,0   | 103                 | 1,00E+23     | 5,00E+21    |

Os valores dos gradientes geotérmicos encontrados nas regiões pré-cambrianas encontram-se entre 14 e 26 °C/km. Por outro lado, as faixas de gradientes térmicos encontrados nas bacias sedimentares (como Campos, Resende, Carapebus) são ligeiramente superiores, estando no intervalo de 19 a 33 °C/km.

Os valores acima de 33 °C/km foram encontrados somente em locais próximos de intrusões alcalinas, como foi verificado nas regiões de São Gonçalo e Rio Bonito.

O recurso base geotérmico total do estado do Rio de Janeiro foi estimado em 1,03x10<sup>23</sup>J. A grande parte deste recurso se encontra nas áreas onde a densidade de fluxo está entre 50 e 70 mW/m<sup>2</sup>. Isso corresponde a uma área de 27531 Km<sup>2</sup> (70% da área total do Estado).

**Agradecimentos:**

O presente projeto de avaliação de recursos geotermiais recebeu auxílio financeiro da Fundação Amparo à Pesquisa do Estado do Rio de Janeiro - FAPERJ (Processo nº E-26/151. 920/2000).

**Bibliografia:**

**Filho, A. T., Teixeira, Rodrigues, A. L.**, 1999, O alinhamento das rochas alcalinas Poços de Caldas-Cabo Frio (RJ) e sua continuidade na cadeia Vitória-Trindade, Revista Brasileira de Geociências, pág. 189-194.

**Fonseca, M. J. G.**, 1998, Mapa Geológico do Estado do Rio de Janeiro, Escala 1:400.000, Publicação Departamento Nacional da Produção Mineral (DNPM), Brasília (DF).

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

**Hamza, V. M., Eston, Sergio M.**, 1981, Assesment of Geothermal resources of Brazil, Zbl. Geol. Palaontol. Teil I, Stuttgart, Alemanha, p.128-155.

**Haenel, R., Mongelli, F.**, 1988, Handbook of Terrestrial Heat-Flow Density Determination, p.353-389.

**Hurter, S. J.**, 1987, Aplicação de geotermômetros químicos em águas de fontes brasileiras na determinação do fluxo geotérmico. Tese de Mestrado, Universidade de São Paulo.

**Hurter, S. J., 1983, Eston, S. M. e Hamza, V. M.**, Coleção Brasileira de Dados Geotérmicos Série 2 – Fontes Termais. Publicação No. 1233, Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo s/a – IPT, pp. 111.

**Kappelmeyer, O., Haenel, R.**, Geothermics, Geoexploration Monographs, Serie 1 - Nº 4, Berlim, Stuttgart, Alemanha, 1974.

**Ministério da Agricultura**, 1969, Normas Climatológicas (Minas Gerais – Espírito Santo - Rio de Janeiro – Guanabara), Volume 3, Rio de Janeiro.

**Muffler, L. J. P., Cataldi, R.**, 1978, methods for regional assesment of geothermal resources, Geothermics, 7, 2-4, pp 53-89.

**Muffler, L. J. P., Guffanti, M.**, 1979, Introduction, In Assesment of Geothermal Resources of United States - 1978, Geological Survey Circular 790.

**Muffler, L. J. P.**, 1981, Geothermal Resources Assesment – Geothermal Systems: Principles and case histories.

**Oliveira, J. A. D., Machado Filho, L., Ribeiro, M.W., Liu, C.C. e Meneses, P.R.**, 1977, Mapa geológico do Estado do Rio de Janeiro, Escala 1:400.000. Departamento de Recursos Minerais, Rio de Janeiro.

**Ribeiro, F. B.**, 1987, Estimation of formation Temperature and Heat Flow from measurements made in shallow water wells, Revista Brasileira de Geofísica, nº2 vol. 5, pp.117-126.

**Netschert, B. C.**, 1958, The future supply of oil and gas, Johns Hopkins University Press.

**Santos, J., Hamza, V. M., Shen, P.**, 1986, A method for measurement of terrestrial heat flow density in water wells, Revista Brasileira de Geofísica, Vol 4 nº2, pp. 45-53.

**Schurr, S. H., Netschert, B. C.**, 1960, Energy in the American economy, Johns Hopkins University Press.

**Verma, Surendra P., Santoyo, Edgar**, 1995, New improved equations for Na/K and SiO<sub>2</sub> Geothermometers by error propagation, World Geothermical Congress, Florence, Italy, pp. 963-968.

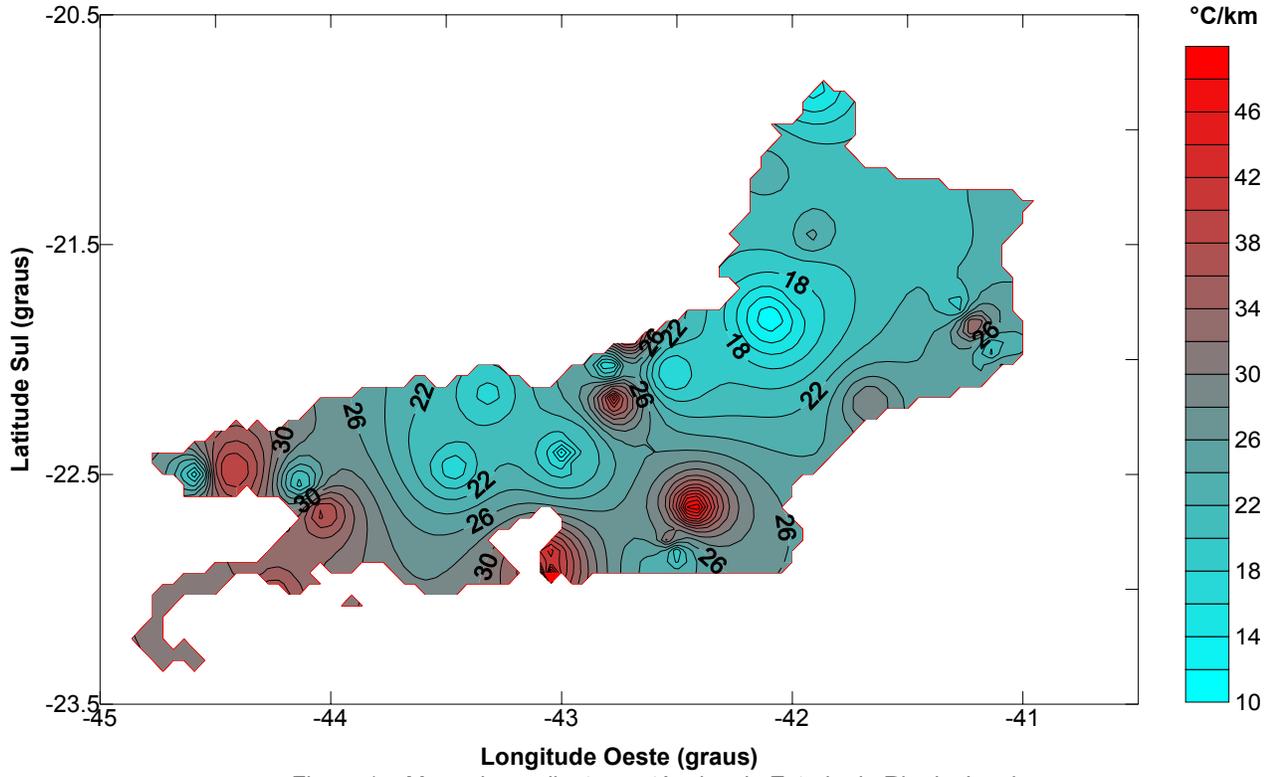


Figura 1 – Mapa do gradiente geotérmico do Estado do Rio de Janeiro. As curvas de isovalores estão em unidades de  $^{\circ}\text{C}/\text{km}$ .

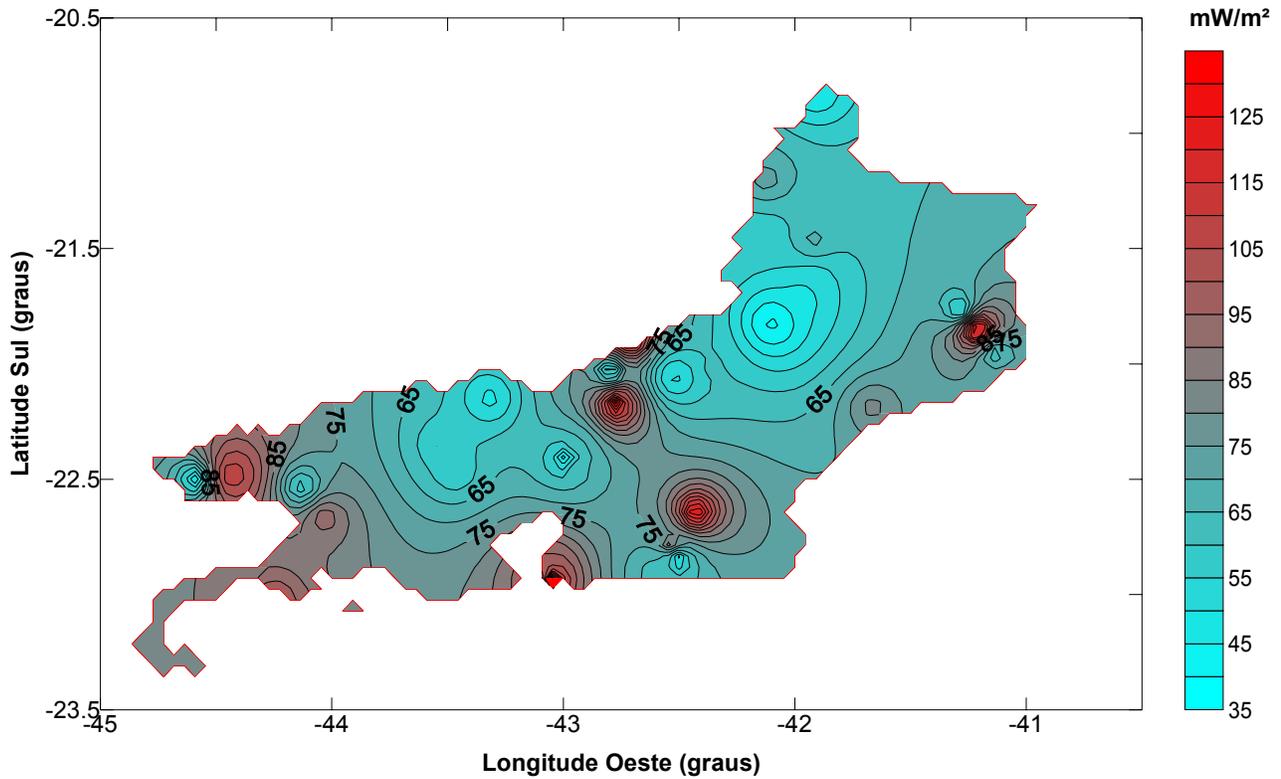


Figura 2 – Mapa de fluxo geotérmico do Estado do Rio de Janeiro. As curvas de isovalores estão em unidades de  $\text{mW}/\text{m}^2$ .

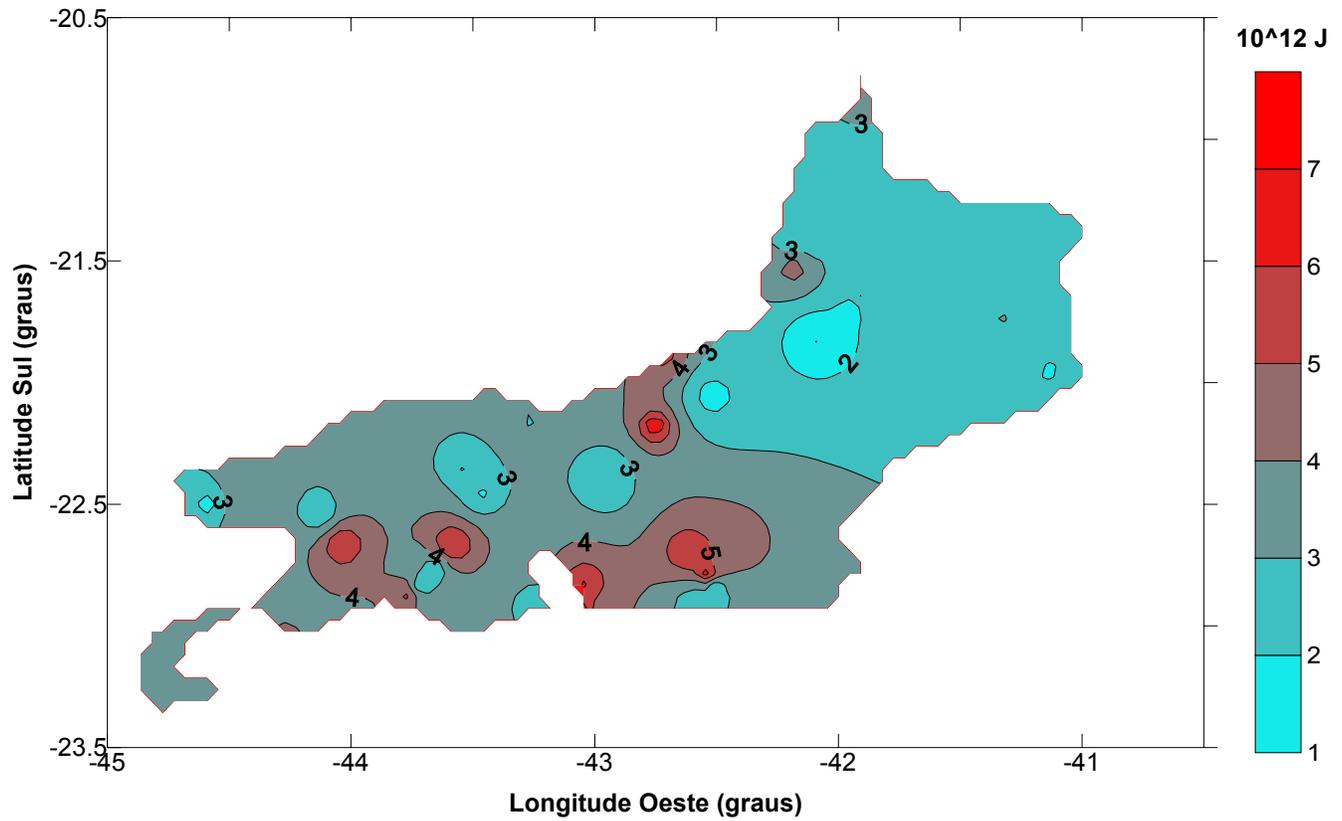


Figura 3 – Mapa do recurso base unitário geotermal do Estado do Rio de Janeiro.  
As curvas de isovalores estão em unidades de  $10^{12}J$ .