

## Gradiente e Fluxo Geotérmico do Estado de Santa Catarina.

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/MCT, Brasil.

Copyright 2005, SBGf - Sociedade Brasileira de Geofísica

This paper was prepared for presentation at the 9<sup>th</sup> 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 9<sup>th</sup> 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.

### Resumo

Este trabalho apresenta uma análise quantitativa de dados geotérmicos de 49 localidades do Estado de Santa Catarina distribuídos em 34 municípios. Os resultados obtidos indicam que a maior parte do Estado é caracterizada por gradientes geotérmicos no intervalo de 26 a 40°C/km sendo que o valor médio é de  $32 \pm 8,6$  °C/km. Foram efetuadas medições de condutividade térmica em 19 amostras de rochas da Serra da Cambirela, Pântano do Sul e Ilha de Santa Catarina e uma reavaliação dos dados de condutividade térmica já existentes. As formações sedimentares de Estrada Nova, Serra Alta e Tatuí apresentaram valores de condutividade térmica relativamente baixa (menor que 2 W/m.K). Os valores mais altos (maior que 3,5 W/m.K) foram encontrados em amostras de arenitos da formação Botucatu e de rochas do embasamento (metamórficas e granitos porfíricos da Serra da Cambirela). As demais formações sedimentares da bacia do Paraná apresentaram valores intermediários. As estimativas de fluxo geotérmico se encontram na faixa de 50 a 95 mW/m<sup>2</sup> com valor médio de  $75 \pm 15$  mW/m<sup>2</sup>. A elaboração de mapas geotermiais permitiu avaliações de gradiente e de fluxo geotérmico em escala regional. Os mapas indicam fluxo geotérmico relativamente baixo (na faixa de 50 a 80mW/m<sup>2</sup>) na parte oeste do Estado. Contudo, a presença de aquíferos confinados de grande porte, em profundidades entre 500 e 3000 metros, permite que várias regiões desta parte do Estado contenham recursos de energia geotérmica de baixa entalpia, passíveis de exploração econômica. Por outro lado, há indícios da existência de uma região de fluxo geotérmico elevado (valores superiores a 80 mW/m<sup>2</sup>) na parte leste, que compreende os municípios situados entre Gravatal, Águas Mornas e Caldas da Imperatriz. As características geológicas estruturais e ocorrências das fontes termais apontam para a existência de reservatórios geotermiais também nesta região. Contudo, aquisição de dados de perfurações com profundidades maiores que mil metros são necessários para determinar a natureza de circulação hidrotermal e avaliação de potencial geotérmico das camadas profundas.

### Introdução

O Laboratório de Geotermia do Observatório Nacional – ON (MCT) iniciou em 2004 um programa de avaliação de recursos geotermiais em escala regional da Bacia do Paraná. Na fase inicial deste projeto foi concluída a avaliação de gradientes geotérmicos da parte norte desta

bacia, na área do Estado de São Paulo (Gomes e Hamza, 2004). Apresenta-se neste trabalho os estudos desenvolvidos na segunda fase deste projeto, os quais tiveram como enfoque a análise de dados geotérmicos do Estado de Santa Catarina. Nesta fase foram reavaliados dados geotérmicos obtidos nos estudos anteriores, compilados por Hamza et al (1978), Hamza e Muñoz (1996) e Hamza et al (2004). Utilizou-se também dados geoquímicos das fontes termais na área de estudo, compilada por Hurter et al (1983), Hurter (1987) e Coitinho (2000). O conjunto total reunido para a avaliação do gradiente térmico e do fluxo geotérmico incluiu dados obtidos em 49 localidades, distribuídos em 34 municípios (IBGE, 2005). A distribuição geográfica por tipo de método de análise é indicada na Figura (1).

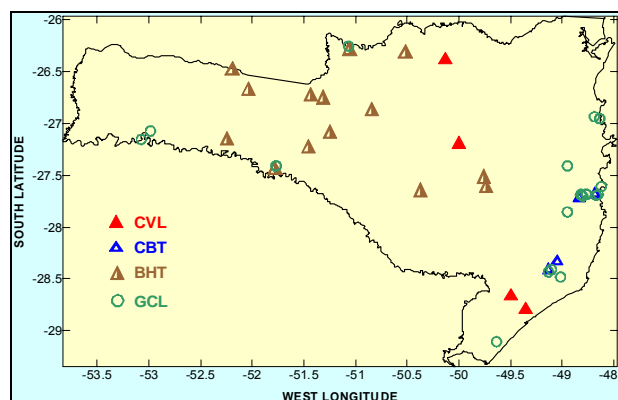


Figura 1 – Distribuição de dados geotérmicos no Estado de Santa Catarina por tipo de método empregado.

### Gradientes Geotérmicos - Metodologia e Resultados

Com o objetivo de uniformizar os procedimentos de análise de dados primários e de padronizar os métodos de correção foram selecionados apenas dados das medições experimentais que permitem determinação direta dos parâmetros geotérmicos. Os métodos utilizados para a determinação de gradiente geotérmico são designados aqui como convencional (CVL), temperatura estável do fundo de poço (CBT) e temperatura do fundo de poço de petróleo (BHT). Os detalhes desses métodos encontram-se apresentados nos trabalhos anteriores de Hamza e Muñoz (1996), Gomes e Hamza (2004) e Hamza et al (2004). Desta forma, cita-se aqui apenas os aspectos relevantes dos procedimentos adotados na aplicação desses métodos. Apresenta-se nas Tabelas (1), (2) e (3) os resultados de gradientes térmicos obtidos pelos métodos CVL, CBT e BHT, respectivamente. Os gradientes térmicos pelo método CVL se encontram na faixa de 27 a 35°C/km, ligeiramente inferior a de 32 a 38°C/km obtido pelo método CBT. Por outro lado, os valores obtidos pelo método BHT abrangem uma faixa maior, de 18 a 35°C/km. Os desvios padrões dos gradientes térmicos pelo método convencional estão na faixa de 1,3 a 3,1°C/km, significativamente inferiores aos valores

obtidos tanto pelo método CBT (5,7 a 8,4°C/km) como pelo método BHT (3,7 a 7,5°C/km). Os resultados indicam que o método convencional é o mais coerente.

Tabela 1 – Gradientes Térmicos pelo método CVL.

Local	Longitude	Latitude	Grad. (°C/km)	
			Média	$\sigma$
Içara	-49,3500	-28,8000	34,5	2,7
Lauro Muller	-49,5000	-28,6667	27,8	3,1
Papanduva	-50,1333	-26,3833	32,7	1,3
Taió	-50,0000	-27,2000	27,6	1,5

Tabela 2 – Gradientes Térmicos pelo método CBT.

Local	Longitude	Latitude	Grad. (°C/km)	
			Média	$\sigma$
Gravatal	-49,0500	-28,3333	34,0	7,5
R.Pouso	-49,1333	-28,4167	32,0	7,0
A. Mornas-F1	-48,8333	-27,7166	32,0	5,7
A. Mornas-F2	-48,8333	-27,7167	32,0	7,0
A. Mornas-F3	-48,8334	-27,7168	38,0	7,0
C. Imperatriz	-48,6833	-27,6833	38,0	8,4

Tabela 3 – Gradientes Térmicos pelo método BHT.

Local	Longitude	Latitude	Grad. (°C/km)	
			Média	$\sigma$
Abelardo Luz	-52,1950	-26,4664	19,1	3,8
Barra Nova	-49,7569	-27,5089	34,5	6,9
CA1SC	-50,8400	-26,8600	30,9	6,2
Canoinhas	-50,5203	-26,3019	31,8	6,4
HV1SC	-51,4600	-27,2200	27,3	5,5
LA1SC	-50,3700	-27,6400	37,3	7,5
PA1SC	-49,7400	-27,6000	33,6	6,7
Piratuba	-51,7794	-27,4242	24,1	4,8
Porto União	-51,0569	-26,2739	27,3	5,5
RCH1SC	-52,0400	-26,6600	24,5	4,9
Seara	-52,2439	-27,1442	20,5	4,1
Taquara Verde	-51,3158	-26,7436	23,2	4,6
TG1SC	-51,2500	-27,0800	31,4	6,3
Três Pinheiros	-51,4336	-26,7131	18,6	3,7

Em complementação á esses também foram utilizados aqueles baseados em termometria química, designados aqui como método geoquímico (GCL). No método GCL a temperatura do reservatório geotermal é estimada com base na temperatura de dissolução de mineral ou elemento apropriado, tais como aquelas propostas por Fournier (1966, 1973, 1982). No presente trabalho foram utilizadas as relações propostas por Verma e Santoyo (1995) para temperaturas:

$$T_p = C_1 + C_2S + C_3S^2 + C_4S^3 + C_5 \log S \quad (1)$$

onde:  $T_p$  é a temperatura em profundidade (°C),  $S$  a concentração da sílica em ppm e os termos  $C_1$ ,  $C_2$ ,  $C_3$  e  $C_4$  são constantes. O respectivo desvio Padrão ( $\sigma$ ) de temperatura é:

$$\sigma = \sqrt{\sigma_{C_1}^2 + S^2 \sigma_{C_2}^2 + S^4 \sigma_{C_3}^2 + S^6 \sigma_{C_4}^2 + (\log S)^2 S^4 \sigma_{C_5}^2} \quad (2)$$

No caso dos termômetros de Na-K as relações para os desvios-padrão ( $\sigma$ ) são respectivamente:

$$\sigma_{Na-K} = \left( \frac{A_1}{\log \frac{[Na]}{[K]}} + A_2 \right) \sqrt{\frac{\sigma_{A_1}^2}{A_1^2} + \frac{\sigma_{A_2}^2}{\left( \log \frac{[Na]}{[K]} \right)^2}} \quad (3)$$

Para o caso de termômetros de Na-K-Ca a relação é:

$$\sigma_{Na-K-Ca} = \left( \frac{1647}{\log \frac{[Na]}{[K]}} + B \left( \log \frac{[Ca]}{[Na]} + 206 \right) + 247 \right) - 273,5 \quad (4)$$

Apresenta-se na Tabela (4) os resultados de gradientes térmicos obtidos pelo método GCL. Nos locais de fontes múltiplas foram selecionados apenas resultados considerados mais confiáveis. Os gradientes térmicos se encontram na faixa de 21 a 65°C/km, superiores aos valores encontrados por métodos CVL, CBT e BHT. Mudanças sistemáticas nos resultados pelos diferentes métodos dificultam análise de dados em escala regional. Contudo, é importante notar que o método GCL é utilizado somente em locais de surgimento das águas termais, que são geralmente zonas de descarga e, portanto de gradientes térmicos relativamente elevados.

Tabela 4 – Gradientes Térmicos pelo método GCL

Local	Longitude	Latitude	Grad. (°C/km)	
			Média	$\sigma$
S.A.Imperatriz	-48,7667	-27,6833	34,8	8,7
Tubarão	-49,0167	-28,4833	34,4	6,9
Ág. Mornas	-48,8207	-27,6898	36,9	9,2
Á.de Chapecó	-52,9853	-27,0731	21,1	5,3
Ariribá	-48,6373	-26,9531	35,2	8,8
Atalaia	-48,6902	-26,9334	21,8	5,5
Ávila	-49,6363	-29,1072	37,6	9,4
Caldas	-48,8027	-27,7023	45,2	11,3
Chuíá1	-48,8207	-27,6857	46,2	11,5
Fontes do Sul	-48,6512	-27,6857	48,9	12,2
Ilha Redonda	-53,0741	-27,1538	28,2	7,1
Piratuba	-51,7690	-27,4097	24,2	6,1
Plaza	-48,8027	-27,7023	64,7	16,2
Rio do Pouso	-49,1052	-28,4091	36,0	9,0
Sta.Catarina	-48,6714	-27,693	27,3	6,8
Verani	-48,6234	-27,6088	36,0	9,0
Guarda	-49,1333	-28,4333	37,1	9,3

### Propriedades Termofísicas

Os dados de condutividade térmica, constantes nas compilações anteriores, foram reavaliados com intuito de determinar os valores representativos das formações geológicas, tanto da região leste como da oeste. Os

valores citados nos trabalhos anteriores pelo Eston et al (1983) e Hurter (1992) referem-se principalmente para amostras das formações sedimentares da Bacia do Paraná. Uma síntese desses resultados, extraída de Hamza et al (2004) é apresentada na Tabela (5). As formações sedimentares Estrada Nova, Serra Alta e Tatui e as derrames basálticas da formação Serra Geral apresentaram condutividades térmicas menores que  $2 \text{ Wm}^{-1}\text{K}^{-1}$ . Valores acima de  $3 \text{ Wm}^{-1}\text{K}^{-1}$  foram encontrados apenas para arenitos eólicos da formação Botucatu (conhecido atualmente como aquífero Guarani) e as rochas metamórficas do embasamento.

Tabela 5 – Condutividade Térmica das principais formações da Bacia do Paraná de Hamza et al (2004).

Formação	N	Condutividade Térmica	
		Média	$\sigma$
Quaternário	6	2,26	0,16
Bauru	64	3,7	0,33
Serra Geral	473	1,81	0,31
Botucatu	226	4,04	0,77
Pirambóia	10	2,71	0,32
Rio do Rasto	53	2,37	0,46
Teresina	28	2,27	0,22
Estrada Nova	19	1,77	0,32
Serra Alta	8	1,9	0,17
Irati	43	2,34	0,34
Palermo	18	2,93	0,3
Tatui	9	1,76	0,36
Rio Bonito	24	2,60	0,36
Itararé	93	2,78	0,55
Ponta Grossa	12	2,57	0,26
Embasamento	9	3,84	0,89

Um dos aspectos marcantes desses estudos anteriores é a ausência de dados sobre a condutividade térmica das rochas ígneas da região leste do Estado de Santa Catarina. A fim de superar essa dificuldade foram efetuadas medições de condutividade térmica em 19 amostras de localidades de Serra de Cambirela, Pântano do Sul e Ilha de Santa Catarina. Os resultados obtidos são apresentados na Tabela (6).

Tabela 6 – Condutividade térmica das rochas ígneas na parte leste do Estado de Santa Catarina.

Litologia	Local da amostra	Condutividade Térmica ( $\text{Wm}^{-1}\text{K}^{-1}$ )
Granito Milonítico	Ilha S. Catarina	2,5
Basalto	Serra Geral	2,2
Riolito Pórfiro	S. Cambirela	2,7
Ignimbrito Riolítico	S. Cambirela	2,8
Granito Porfírico	S. Cambirela	3,8
Diabásio	Pântano do Sul	2,7
Riolito	S. Cambirela	3,3
Rocha alterada	S. Cambirela	2,4
Riolito c/vidro vulcânico	S. Cambirela	3,0

Neste caso, as amostras de diques basálticos nas rochas Pré-cambrianas apresentarem valores de condutividade térmica ( $2,2 \pm 0,8 \text{ Wm}^{-1}\text{K}^{-1}$ ). Os valores mais altos foram

encontrados em amostras dos granitos porfíricos da Serra da Cambirela ( $3,8 \pm 1,2 \text{ Wm}^{-1}\text{K}^{-1}$ ).

### Resultados de Fluxo Geotérmico

Os métodos utilizados para a determinação de fluxo geotérmico seguem a mesma classificação anterior, adotada para caso de gradientes geotérmicos. Esses foram designados aqui como convencional (CVL), temperatura estável do fundo de poço (CBT), temperatura do fundo de poço de petróleo (BHT) e geoquímico (GCL).

No método CVL a média harmônica de condutividade térmica ( $\lambda$ ) é multiplicada pelo gradiente térmico do intervalo em questão ( $\Gamma$ ), para obter o valor do fluxo geotérmico ( $q$ ):

$$q = \Gamma \cdot \lambda_m \pm \sigma_q \quad (5)$$

Este método foi utilizado para determinação de fluxo geotérmico em quatro localidades. Os resultados reunidos na Tabela (7) indica uma faixa de variação de 61 a 93  $\text{mW/m}^2$ .

Tabela 7 – Fluxo Geotérmico obtido pelo método CVL.

Local	Longitude	Latitude	q ( $\text{mW/m}^2$ )	
			Média	$\sigma$
Içara	-49,3500	-28,8000	93	29
Lauro Muller	-49,5000	-28,6667	75	24
Papanduva	-50,1333	-26,3833	72	22
Taió	-50,0000	-27,2000	61	19

No método CBT (Ribeiro, 1988) o valor do fluxo geotérmico é dada por:

$$q = (T_{CBT} - T_0) / \sum_{i=1}^N R_i h_i \quad (6)$$

onde  $T_{CBT}$  é a temperatura estável do fundo do poço,  $T_0$  a de superfície,  $R$  a resistência térmica da camada em questão e  $h$  a sua espessura. A equação (6) pode ser escrita na forma:

$$q = \left\{ \frac{(T_{CBT} - T_0)}{(Z_{CBT} - Z_0)} \right\} \left\{ \frac{(Z_{CBT} - Z_0)}{\left( \sum_{i=1}^N R_i h_i \right)} \right\} \quad (7)$$

Na equação (7) o termo do lado direito representa o gradiente térmico aparente das camadas que se encontram no intervalo ( $Z_{CBT} - Z_0$ ). Este método foi utilizado para determinação de fluxo geotérmico ( $q$ ) em seis localidades, cujos detalhes são apresentados na Tabela (8). O intervalo de variação no fluxo geotérmico é de 86 a 103  $\text{mW/m}^2$ , ligeiramente superior a aquela encontrada pelo método CVL.

Tabela 8 – Fluxo geotérmico obtido pelo método CBT.

Local	Longitude	Latitude	q ( $\text{mW/m}^2$ )	
			Média	$\sigma$
Gravatal	-49,0500	-28,3333	92	34
Rio do Pouso	-49,1333	-28,4167	86	32
A.Mornas-F1	-48,8333	-27,7167	86	32
A.Mornas-F2	-48,8333	-27,7167	86	32
A.Mornas-F3	-48,8333	-27,7167	103	38
C. Imperatriz	-48,6833	-27,6833	103	38

No caso do método BHT (Ribeiro e Hamza, 1986) o procedimento adotado é semelhante ao do método CBT. Contudo, as medições das temperaturas BHT, efetuadas em poços de petróleo, precisam ser corrigidas dos efeitos perturbadores das atividades de perfuração. No trabalho realizado por Eston et al (1983) os dados BHT com medidas múltiplas de temperaturas, foram corrigidos pelos métodos propostos por Lachenbruch e Brewer (1959) e Middleton (1979). Nos casos em que havia apenas uma medida de temperatura utilizou-se a relação empírica conhecida como correção 'AAPG' (AAPG, 1976). Estes procedimentos também foram adotados no trabalho posteriores por Hurter (1992). Este método foi utilizado para determinação de fluxo geotérmico em 14 localidades, cujos detalhes são apresentados na Tabela (9). Nota-se que os valores se encontram na faixa de 41 a 82 mW/m<sup>2</sup> significativamente inferiores em comparação aqueles encontrados pelos métodos CVL e CBT.

Tabela 9 – Fluxo geotérmico obtido pelo método BHT.

Local	Longitude	Latitude	q (mW/m <sup>2</sup> )	
			Média	$\sigma$
Abelardo Luz	-52,1950	-26,4664	42	15
Barra Nova	-49,7569	-27,5089	76	27
CA1SC	-50,8400	-26,8600	68	25
Canoinhas	-50,5203	-26,3019	70	25
HV1SC	-51,4600	-27,2200	60	22
LA1SC	-50,3700	-27,6400	82	30
PA1SC	-49,7400	-27,6000	74	27
Piratuba	-51,7794	-27,4242	53	19
Porto União	-51,0569	-26,2739	60	22
RCH1SC	-52,0400	-26,6600	54	19
Seara	-52,2439	-27,1442	45	16
Taquara Verde	-51,3158	-26,7436	51	18
TG1SC	-51,2500	-27,0800	69	25
Três Pinheiros	-51,4336	-26,7131	41	15

O método geoquímico (GCL) é utilizado, diante das suas limitações inerentes, para obtenção de estimativas de fluxo geotérmico. Utiliza-se geralmente a relação empírica proposta por Swanberg e Morgan (1979):

$$q = \frac{T_{\text{Silica}} - T_0}{m} \quad (8)$$

onde  $q$  representa fluxo geotérmico,  $T_{\text{silica}}$  a temperatura de sílica,  $T_0$  a temperatura média anual da superfície e  $m$  uma constante cujo valor é 680 °Cm<sup>2</sup> / W. De acordo com Swanberg e Morgan (1980) o valor constante de 680 para o fator  $m$  é oriundo de uma suposição simplificada sobre a profundidade de circulação de águas termais. Este método foi utilizado na obtenção de estimativas de fluxo geotérmico em 18 localidades, cujos detalhes são apresentados na Tabela (10). Os valores obtidos se encontram numa faixa ampla de 53 a 175 mW/m<sup>2</sup>, tendo o valor média significativamente superior aqueles obtidos por outros métodos. Diferenças sistemáticas dessa natureza nos resultados dificultam análise de dados em escala regional. Contudo, é importante notar que o método GCL é utilizado somente em locais de surgimento das águas termais, que são geralmente zonas de

descarga e, portanto de fluxo geotérmico relativamente elevado.

Tabela 10 – Fluxo geotérmico obtido pelo método GCL.

Local	Longitude	Latitude	q (mW/m <sup>2</sup> )	
			Média	$\sigma$
Imperatriz	-48,7667	-27,6833	94	37
Tubarão	-49,0167	-28,4833	93	34
Águas Mornas	-48,8207	-27,6898	100	37
Chapecó	-52,9853	-27,0731	46	17
Ariribá	-48,6373	-26,9531	95	35
Atalaia	-48,6902	-26,9334	59	23
Ávila	-49,6363	-29,1072	102	40
Caldas	-48,8027	-27,7023	122	48
Chuá	-48,8207	-27,6857	125	49
Fontes do Sul	-48,6513	-27,6857	132	52
Ilha Redonda	-53,0741	-27,1538	62	24
Piratuba	-51,7690	-27,4097	53	21
Plaza	-48,8027	-27,7023	175	68
Rio do Pouso	-49,1052	-28,4091	97	38
São Bonifácio	-48,9502	-27,4097	82	32
Sta, Catarina	-48,6714	-27,693	74	29
Verani	-48,6234	-27,6088	97	38
Guarda	-49,1333	-28,4333	100	39

## Discussão e Conclusões

Os resultados obtidos neste trabalho indicam que a maior parte do Estado de Santa Catarina é caracterizada por gradientes térmicos entre 26 e 40°C/km, sendo que o valor médio é de 32 ± 8,6 °C/km. Os valores de fluxo geotérmico se encontram no intervalo de 50 e 100 mW/m<sup>2</sup>, com um valor médio de 75 ± 15 mW/m<sup>2</sup>. A disponibilidade de dados geotérmicos em 49 localidades permitiu mapeamento do gradiente e do fluxo geotérmico em escala regional. O mapa de distribuição regional do gradiente geotérmico apresentado na Figura (2) revela que o gradiente geotérmico aumenta de forma sistemática na direção leste – oeste. Assim a parte oeste da área de estudo é caracterizada por gradientes térmicos menores que 28°C/km enquanto na região centro-leste há locais onde o mesmo alcança valores acima de 40°C/km. O mapa de fluxo geotérmico da Figura (3) também apresenta de grosso modo a mesma tendência de aumento na direção oeste-leste. Assim, o fluxo geotérmico é menor que 80 mW/m<sup>2</sup> na região oeste enquanto na área costeira na parte leste o mesmo alcança valores acima de 90 mW/m<sup>2</sup>. Neste contexto, a presença de aquíferos confinados de grande porte na região oeste do Estado indica existência de recursos de energia geotérmica de baixa entalpia, passíveis de exploração para uso industrial e turístico e também para aquecimento do ambientes confinados. Há também indícios de existência de recursos hidrotermais na parte leste do Estado, que inclui os municípios situados entre Gravatal, Águas Mornas e Caldas da Imperatriz.

**Bibliografia**

- AAPG, 1976**, American Association of Petroleum Geologists, Basic data file from AAPG Geothermal Survey of North America, Univ, of Oklahoma, Norman,
- Coitinho, J.B.L.**, 2000, Águas Minerais de Santa Catarina, Tese de Mestrado, UFSC, Florianópolis, Santa Catarina.
- Eston, S.M., Hamza, V.M., e Becker, E.A.**, 1983, Pesquisas Geotermiais na exploração de hidrocarbonetos na Bacia do Paraná, Relatório No. 18271. Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo–IPT, pp. 138.
- Fournier, R.O. and Rowe, J.J.**, 1966, Estimation of underground temperatures from the silica content of water from hot springs and wet-steam wells, *American Journal of Science*, 264, 685–97.
- Fournier, R. O. and Truesdell, A.H.**, 1973, An empirical Na-K-Ca geothermometer for natural waters, *Geochim, Cosmochim, Acta*, 37, 515-525.
- Fournier, R. O. and Potter, R.W.**, 1982, A revised and expand sílica (quartz) geothermometer, *Geothermal Resources Council Bulletin*, Vol, 11, 3-9.
- Gomes, A.J.L. e Hamza, V.M.**, 2004, Mapeamento de gradientes geotérmicos no Estado de São Paulo, 1º *Simpósio da Sociedade Brasileira de Geofísica*, São Paulo.
- Hamza, V.M., Dias, F.J.S., Gomes, A.J.L. and Delgadillo, Z.G.**, 2004, Numerical and Functional Representations of Regional Heat Flow in South America., *Phys. Earth Planet.Int.* (no prelo).
- Hamza, V. M. Eston, S. M., Araújo, R. L. C.**, 1978, Geothermal energy prospects in Brazil, *Pure and Applied Geophysics*, vol. 117, pp. 180-195.
- Hamza, V.M. and Muñoz, M.**, 1996, Heat Flow Map of South America, *Geothermics*, Vol, 25, nº 6, pg 599-646, Great Britain.
- Hurter, S.J., Eston, S.M. e Hamza, V.M.**, 1983, Coleção Brasileira de Dados Geotérmicos - Série 2 - Fontes Termiais, publicação nº, 1233 do *Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo s/a – IPT*, pp, 111.
- 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.**, 1992, Heat flow, thermal structure and thermal evolution of the Paraná basin, Southern Brazil, Ph, D, Thesis, Univ, of Michigan, Ann Arbour, 148pp.
- Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística - IBGE**, 2005, Informações dos Municípios do Estado de Santa Catarina, fonte: <http://www1.ibge.gov.br/>.
- Lachenbruch, A.H. and Brewer, M.C.**, 1959, Dissipation of the temperature effect of drilling a well in Arctic Alaska, U,S, *Geological Survey Bulletin* 1083-C, 109 pp.
- Middleton, M.F.**, 1979, A model for bottom-hole temperature stabilization: *Geophysics*, v, 44, no, 8, p, 1458-1462.
- Ribeiro, F. and Hamza, V.M.**, 1986, Modelling thermal disturbances induced by drilling activity: *Advances in theory and practice*, Rev, Bras, Geofísica, 4, 91-106.
- Ribeiro, F.B.**, 1988, Estudo sobre o problema da determinação de temperaturas de equilíbrio em poços afetados pela atividade de perfuração, Tese de Doutorado, IAG / USP, São Paulo.
- Swanberg, C.A. and Morgan, P.**, 1979, The linear relation between temperatures based on the silica content of groundwater and regional heat flow: A new heat flow map of the United States, *Pure and Applied Geophysics*, 117, 227–41.
- Swanberg, C.A. and Morgan, P.**, 1980, The silica heat flow technique; Assumptions and applications: *Jour, Geophys, Res.*, v, 85, p, 7206-7214.
- Verma, S. P. and Santoyo, E.**, 1995, New improved equations for Na/K and SiO<sub>2</sub> geothermometers by error propagation, *World Geothermal Congress*, Florence, Italy, pp, 963-968.

**Agradecimentos**

O primeiro autor deste trabalho é atualmente recipiente de uma bolsa de doutorado pela Coordenadoria de Aperfeiçoamento de Pesquisa e Ensino Superior – CAPES.

A aquisição de dados geotérmicos das fontes termiais na parte oeste do Estado de Santa Catarina foi efetuada em colaboração com o Departamento Nacional de Produção Mineral - DNPM-SC. Os dados constantes na tese de Mestrado do Geólogo João Batista Lins Coitinho serviram de base na avaliação geoquímica das Fontes Minerais do Estado de Santa Catarina.

As medições de propriedades térmicas em amostras de rochas da região leste de Santa Catarina foram efetuadas em colaboração com Dr. Edison Ramos Tomazzoli do Instituto de Geociências da UFSC.

Os colegas Roberto Cardoso, Patrícia e Leonardo do Observatório Nacional participaram, em caráter de treinamento, nos trabalhos de campo na parte leste do Estado de Santa Catarina.

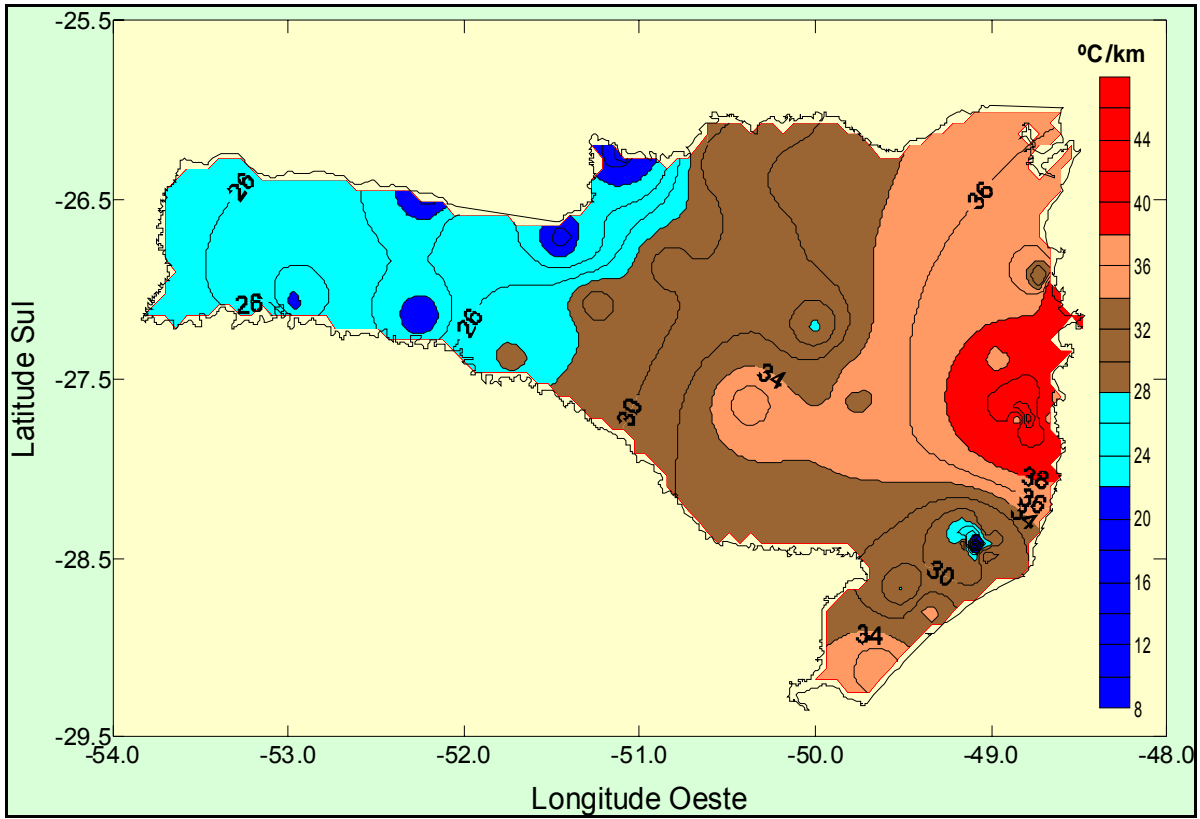


Figura 2 – Distribuição Regional de Gradiente Térmico no Estado do Santa Catarina

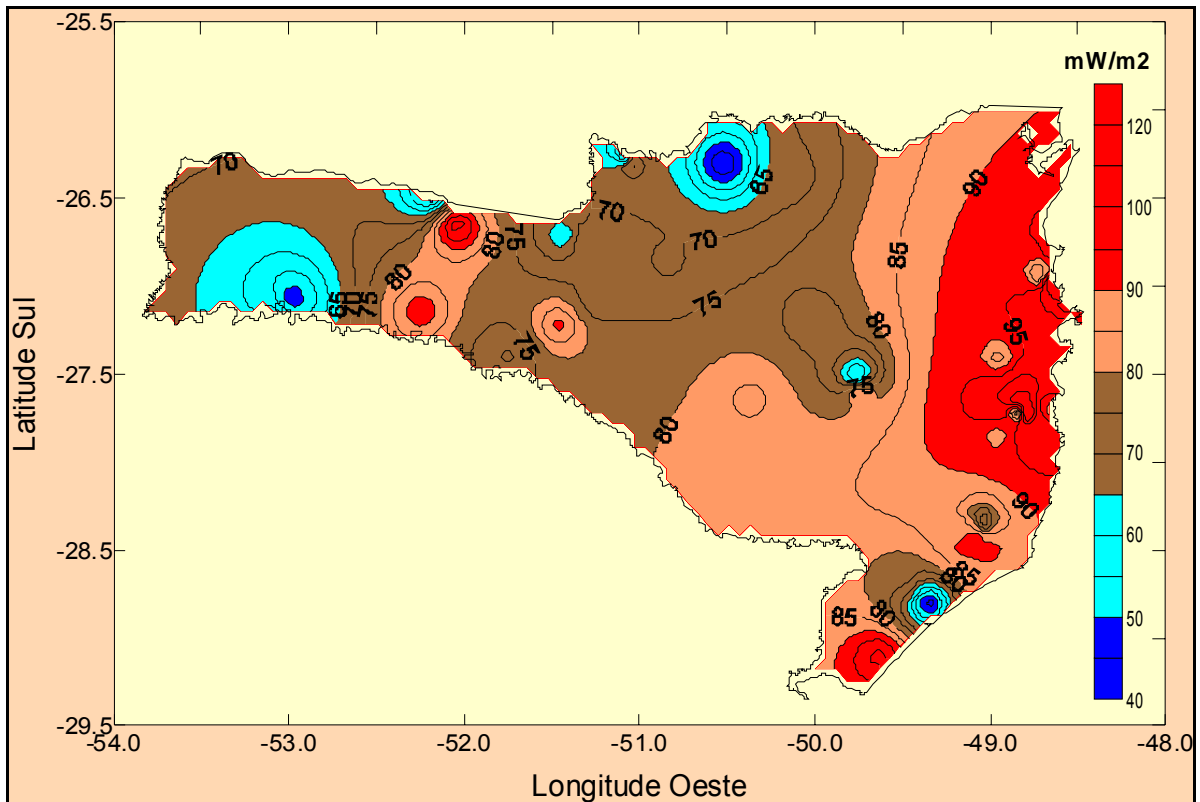


Figura 3 – Distribuição Regional de Fluxo Geotérmico no Estado do Santa Catarina,