

Gradiente e Fluxo Geotérmico da Bacia do Paraná

Antonio Jorge de Lima Gomes* (ajlgomes@on.br) e Valiya M. Hamza (hamza@on.br) - Observatório Nacional/MCT, Brasil.

Copyright 2009, SBGf - Sociedade Brasileira de Geofísica

This paper was prepared for presentation during the 11th International Congress of the Brazilian Geophysical Society held in Salvador, Brazil, August 24-28, 2009.

Contents of this paper were reviewed by the Technical Committee of the 11th 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.

Abstract

Results of updated compilations and geothermal investigations carried out during the period of 2004 to 2008 have allowed determination of geothermal gradients and heat flow in 538 sites in the Paraná Basin and nearby regions. The results obtained indicate substantial variations in geothermal gradients with values in the range of 10 and 54°C/km. There are corresponding variations in heat flow with values in the range of 34 to 102mW/m². Prominent among these is the major geothermal anomaly along the northwestern border of the basin, extending from western parts of Paraguay to northern parts of Goiás. This belt of high thermal gradients is approximately coincident with the Brazilian Lineament. Maps of regional distribution indicate the existence of a southeast – northwest trending belt of relatively high geothermal gradients and heat flow, passing through the middle part of the Paraná basin. The northern and southern parts of the basin that bound this central belt are found to have moderate values of geothermal gradients.

Introdução

Com o objetivo de interpretar o campo térmico regional da Bacia da Bacia do Paraná foram utilizados resultados geotérmicos distribuídos em cinco países da América do Sul. A Bacia do Paraná está compreendida na parte meridional do Brasil com área de 1,1 milhões de km², a metade oriental do Paraguai com 100 mil km², parte da Argentina com 100 mil km² e Uruguai com 100 mil km², totalizando, aproximadamente, 1.400.000 km². A bacia tem formato alongado na direção NNE-SSW, com aproximadamente 1750 km de comprimento e largura média de 900 km.

Dados Geotérmicos

Foram utilizados 538 dados geotérmicos obtidos desde a década de 1970 em investigações geotérmicas que foram realizadas na Bacia do Paraná e no seu entorno. Destacam-se os trabalhos de Meister (1973), Vitorello et al (1978, 1980), Araújo (1978), Eston et al (1981), Hurter (1986), Hurter e Hamza (1987), Del Rey e Hamza (1989), Del Rey (1989) e Hurter e Pollack (1996). Mapeamentos geotérmicos em escala regional do fluxo geotérmico foram efetuados por Hamza e Muñoz (1996), Hurter e Pollack (1996), Hamza et al (2005) e ainda Gomes e Hamza (2004, 2005, 2006, 2007 e 2008). A distribuição destes dados compreende nove Estados do Brasil (São Paulo, Paraná, Santa Catarina, Rio Grande do Sul, Mato

Grosso, Mato Grosso do Sul, Goiás, Tocantins e Minas Gerais), e ainda, outros quatro países da América do Sul (Bolívia, Paraguai, Uruguai e Argentina). Foram adicionados ainda novos dados adquiridos nos Estados de São Paulo, Paraná, Santa Catarina e Goiás, realizadas entre 2004 e 2008. Também foram utilizados resultados de estudos geotérmicos de quatro países vizinhos, que inclui 52 dados da Bolívia, 35 do Paraguai, 63 da Argentina e 7 do Uruguai. A elaboração de mapas geotérmicos permitiu avaliações do gradiente e do fluxo geotérmico em escala regional.

A compilação atual englobou medidas experimentais num total de 538 dados. Deste total 376 dados estão distribuídos em nove Estados do Brasil e os 162 restantes estão localizados nos outros quatro países vizinhos (Paraguai, Argentina, Bolívia e Uruguai). A distribuição quantitativa dos dados por país é mostrada na Figura (1).

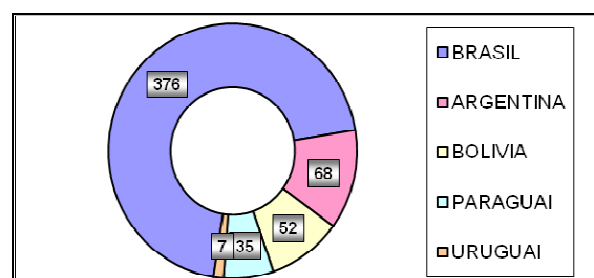


Figura 1- Distribuição dos dados geotérmicos nos países da região sul.

Metodologia

Foram utilizados cinco métodos na determinação de gradientes geotérmicos. Estes são denominados de convencional (CVL), temperatura do fundo de poço de petróleo (BHT), temperatura estável do fundo de poço (CBT), geoquímicos (GCL) e descarga de fluido termal (TFD). Os detalhes desses métodos encontram-se apresentados nos trabalhos anteriores de Hamza e Muñoz (1996), Gomes e Hamza (2004 e 2005), e Hamza et al (2004). Na Figura (2) apresenta-se o total de dados por tipo de método utilizado.

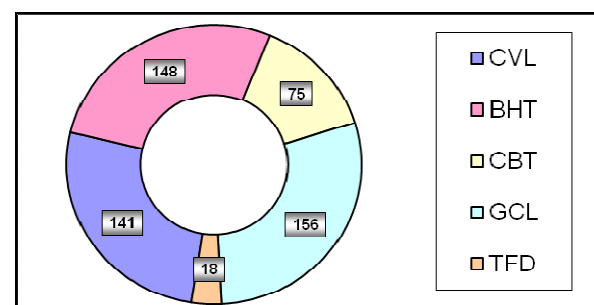


Figura 2 - Distribuição quantitativa dos dados geotérmicos por tipo de método.

Também utilizamos medidas de temperatura em fontes termais do Sistema Aquífero Guarani de Pesce e Lippman (2202), que permitiram a obtenção de sete novos dados do Uruguai.

Gradiente Geotérmico

As distribuições verticais de temperaturas obtidas pelos métodos CVL, BHT e CBT são ilustrados na Figura (3).

O valor médio encontrado para o gradiente térmico, resultante da análise do total de dados estudados, apresentou um valor de 23 °C/km e temperatura de ajuste na sub-superfície de 22,5°C.

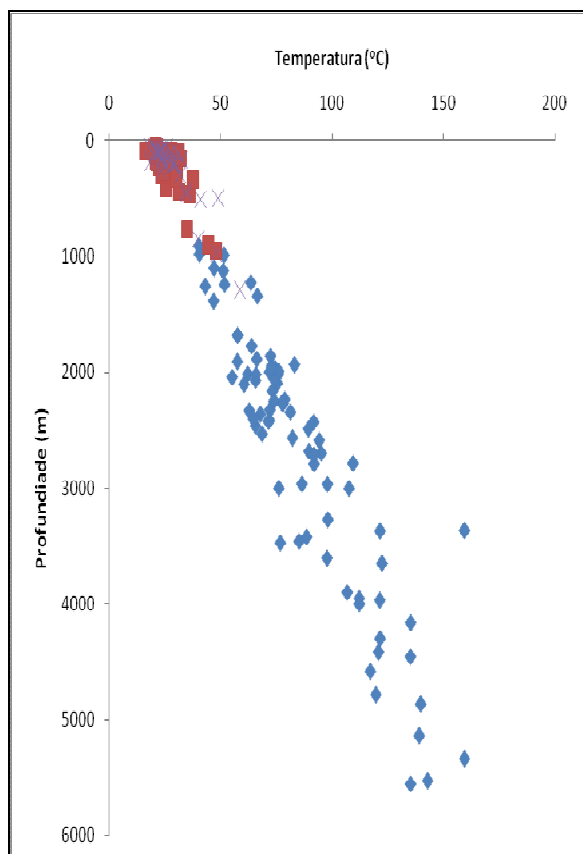


Figura 3 - Distribuições verticais de temperaturas obtidas pelos métodos CVL, BHT e CBT.

Os resultados mostram valores médios para o CVL de 24,1°C/km, BHT de 23,9 °C/km, CBT de 26,5 °C/km, GCL 30,8 °C/km e para o TFD 32,3 °C/km. Os métodos GCL e TFD apresentam tendências de superestimar os gradientes térmicos.

Condutividade Térmica

Dados de condutividade térmica coletados no presente trabalho permitiram determinações de valores médios representativos das formações. Os resultados são apresentados nas tabelas (1) e (2) para formações pós-mesozoicas e pré-mesozoicas respectivamente. Maiores valores foram encontrados nas formações Bauru e Botucatu. A formação Serra Geral apresentou 1,81 W/m.K, sendo o menor valor de todas as formações.

Tabela 1 - Condutividade Térmica das formações pós-mesozoicas. N é a quantidade de amostras.

Condutividade Térmica da Bacia do Paraná (W/m.K)				
Formação/Litologia	N	kmin	kmax	Média
Sedimentos	6	-	-	2,26
Bauru (BAU)	64	-	-	3,70
Serra Geral (SGL)	520	1,50	2,20	1,81
Rosário do Sul	-	-	-	2,80
Botucatu (BOT)	279	2,00	4,20	3,80
Total	1822	2,17	3,74	2,82

Tabela 2 - Condutividade Térmica das formações pré-mesozoicas. N é a quantidade de amostras.

Condutividade Térmica da Bacia do Paraná (W/m.K)				
Formação/Litologia	N	kmin	kmax	Média
Pirambaia	10	-	-	2,71
Guarani	289	-	-	3,25
Corumbataí	124	-	-	2,19
Rio do Rasto	87	1,80	2,50	2,31
Morro Pelado	15	1,60	3,00	2,30
Serrinha	19	1,40	2,80	2,24
Terezina	39	1,60	2,80	2,21
Estrada Nova	27	-	-	1,94
Serra Alta	35	1,30	2,30	1,95
Irati	53	1,60	4,50	2,31
Guatá	-	-	-	2,74
Palermo	70	1,50	4,30	2,69
Tatuí	9	1,76	0,36	1,76
Rio Bonito	54	1,50	4,40	2,79
Itararé (IT)	171	2,00	4,40	3,05
Aquidauana	4	3,80	5,40	4,02
Ponta Grossa	32	1,50	3,80	2,71
Furnas	32	4,00	6,00	5,25
Vila Maria	3	4,50	6,00	4,48
Embasamento	88	2,95	4,73	3,84
Total	1822	2,17	3,74	2,82

Fluxo Geotérmico e Mapas Regionais

O valor médio encontrado para o fluxo geotérmico da Bacia é de 67 mW/m². A distribuição vertical dos valores encontrados de fluxo é ilustrada na Figura (4).

Os valores médios finais encontrados para cada tipo de método foram respectivamente de 64,1 mW/m² para o CVL, BHT de 62,1 mW/m², CBT de 67,1 mW/m², GCL de 72 mW/m² e TFD de 70 mW/m².

O mapeamento regional com a distribuição do gradiente térmico na Bacia do Paraná com base em todos os 538 resultados obtidos é apresentado na Figura (5). Da mesma forma o mapeamento regional do fluxo geotérmico é apresentado na Figura (6).

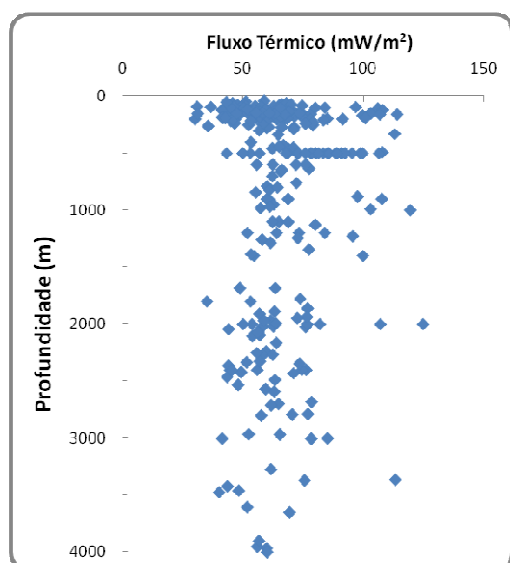


Figura 4- Fluxo geotérmico médio da Bacia do Paraná

Conclusões

Os resultados obtidos indicam que a Bacia do Paraná é caracterizada por gradientes geotérmicos situados num intervalo de 10 a 54 °C/km e fluxo térmico compreendido entre 34 e 102 mW/m².

Os valores médios do gradiente e do fluxo térmico em toda a bacia resultam em 23 ± 4 °C/km e 67 ± 6 mW/m².

Verifica-se na parte central da bacia, uma faixa de gradientes térmicos, com valores maiores que 26°C/km, no sentido Noroeste-Sudeste, indo de Mato Grosso para o Rio Grande do Sul e Santa Catarina, limitada pela região do Arco de Ponta Grossa.

Constata-se uma faixa anômala de alto gradiente e fluxo térmico cruzando a região Norte da Bacia no sentido Paraguai-Goiás com valores maiores que 29 °C/km e 70 mW/m².

A região Nordeste da Bacia, principalmente onde está localizado o Estado de São Paulo, é caracterizada por gradientes menores que 26°C/km.

Constata-se que grande parte da região do triângulo mineiro possui valores de gradiente e fluxo térmico maiores 26°C/km e 62 mW/m². Esta faixa apresenta ramificações para o Estado de São Paulo e Sul de Goiás.

A região Sul da Bacia é caracterizada por alto gradiente e fluxo nas regiões de afloramento na parte costeira do Rio Grande do Sul e Santa Catarina com valores maiores que 26 °C/km e fluxo térmico maior que 62 mW/m².

A região central de toda a Bacia apresenta baixos valores de gradiente e fluxo geotérmico com valores compreendidos entre 17 e 26 °C/km e 46 e 70 mW/m².

Agradecimentos

Ao Departamento de Geofísica do Observatório Nacional pelo apoio institucional que tornou possível a realização deste trabalho.

Referências

American Association of Petroleum Geologists (AAPG), 1976. *Basic data file from AAPG Geothermal Survey of North America*: Univ. of Oklahoma, Norman.

Del Rey, A.C. and Hamza, V.M., 1989. *Terrestrial Heat Flow variations in the northeastern parts of the state of São Paulo : A case for transport of geothermal heat by interfracture fluid flows*, In *Hydrogeological Regimes and their subsurface thermal effects*, Geophysical Monograph, 47, American Geophysical Union, p. 137-148.

Eston, S.M., Hamza, V.M. e Becker, E.A., 1981, *Pesquisas Geotérmicas na Exploração de Hidrocarbonetos na Bacia do Paraná*, Relatório 16.379, Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo-IPT.

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.

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, Salvador, Brasil.

Gomes, A.J.L. and HAMZA, V.M., 2006. *Gradiente e Fluxo Geotérmico no Estado do Paraná*. In: *II Simpósio de Geofísica da SBGf*, 2006, Natal

Gomes, A.J.L. and HAMZA, V.M., 2007. *Gradiente e Fluxo Geotérmico nas regiões Norte e Noroeste da Bacia do Paraná*. In: *10º ICSBGf*, Rio de Janeiro.

Gomes, A.J.L. and 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: *III Simpósio de Geofísica da SBGf*, 2008, Belém.

HAMZA, V. M. ; Eston, S. M. ; Araujo, R. L. C. 1979. *Geothermal Energy Prospects in Brazil: A Preliminary Analysis*. Pure And Applied Geophysics, Basel, Switzerland, v. 117, n. 1/2, p. 180-195.

Hamza, V.M., Silva Dias, F.J.S., Gomes, A.J.L. and Terceiros, 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.

Hurter, S.J. e Hamza, V.M., 1987. *Aplicação de Geotermômetros Químicos em águas de Fontes Brasileiras na determinação do Fluxo Geotérmico*, Dissertação de Mestrado, IAG/USP, São Paulo.

Hurter, S.J. and Pollack, H.N., 1996. *Terrestrial heat flow in the Paraná basin, Southern Brazil*, *J. Geophysics. Res.*, 101, p.8659-8672.

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.

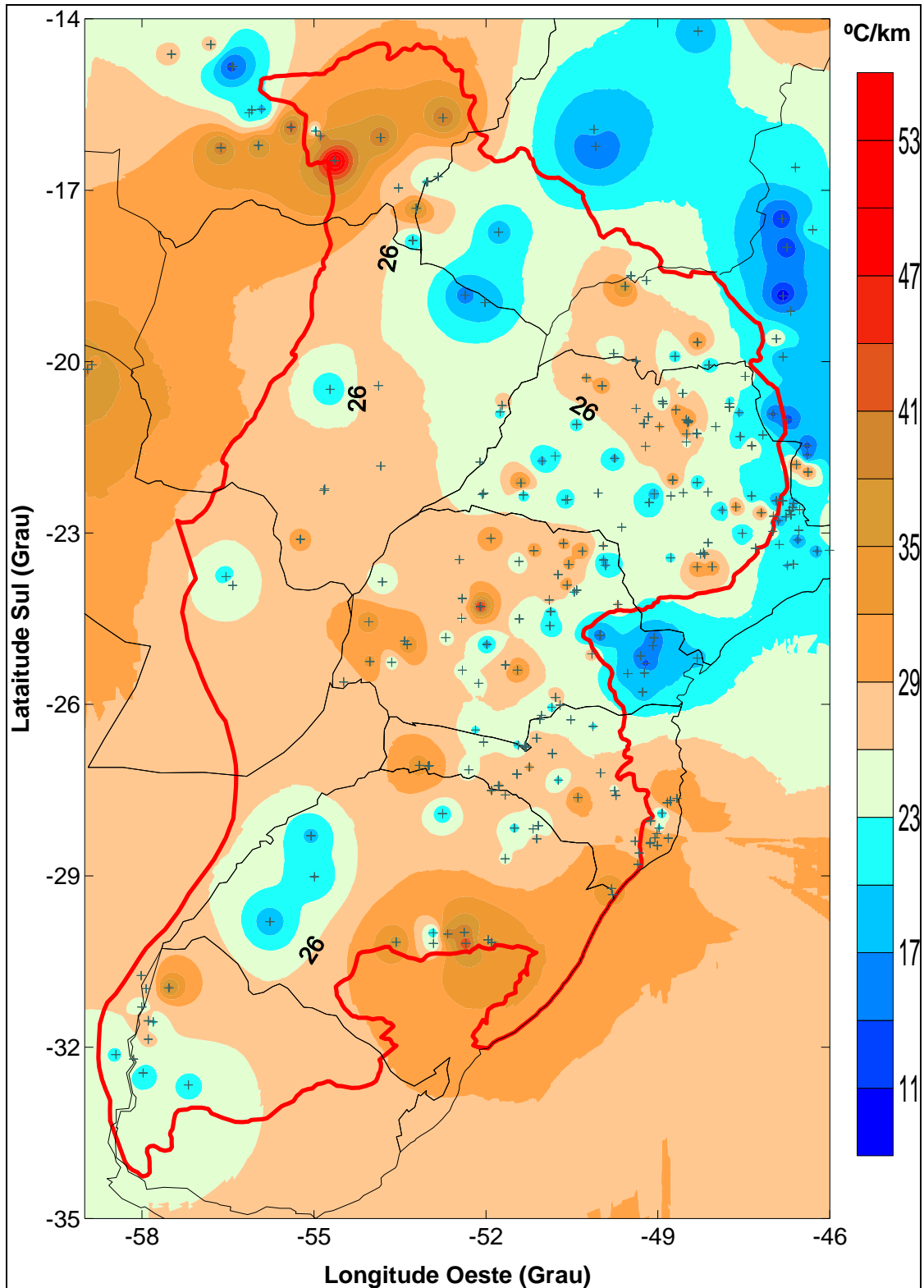


Figura 5 - Distribuição regional de gradiente geotérmico da Bacia do Paraná.

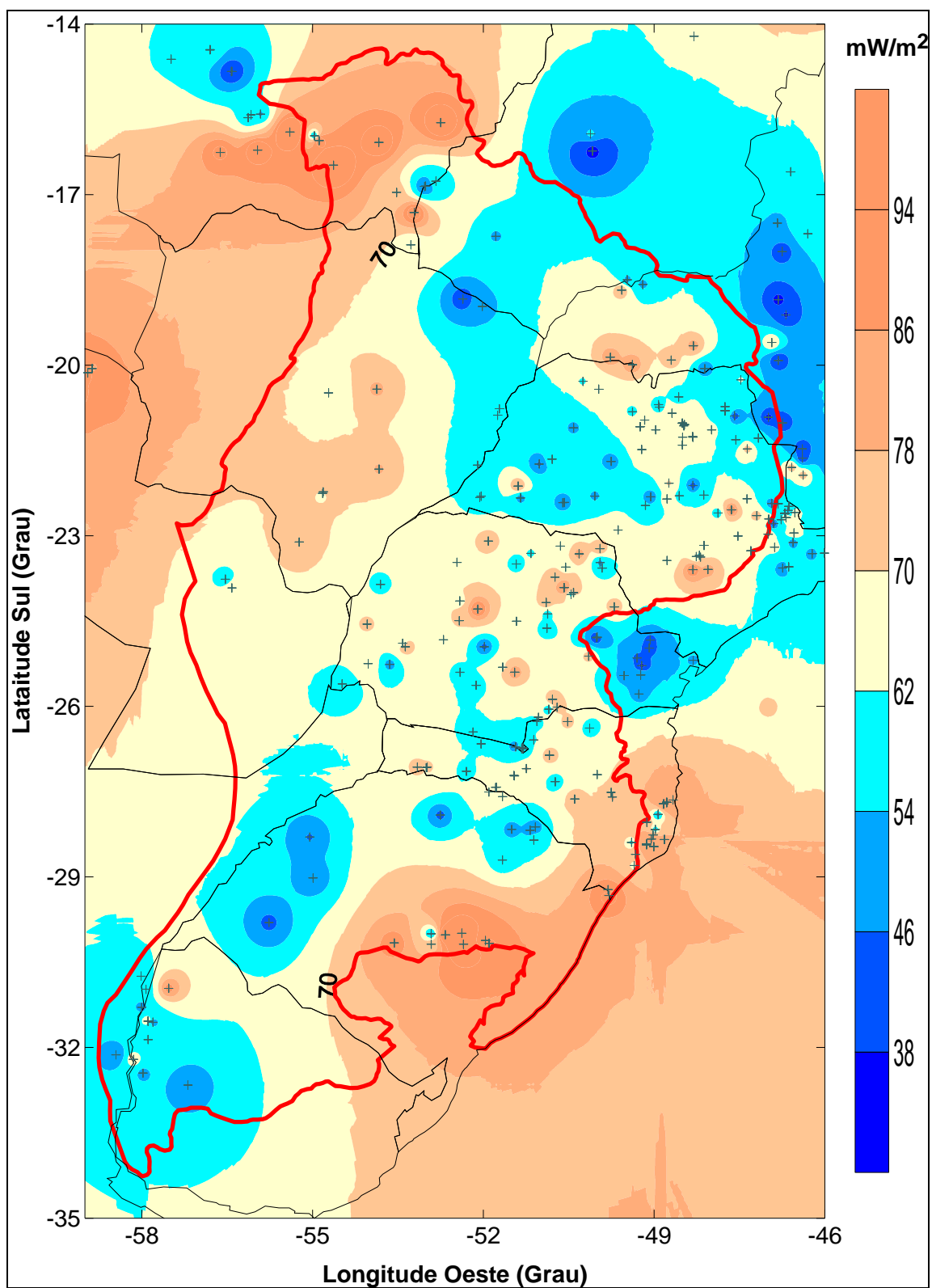


Figura 6 - Distribuição regional de fluxo geotérmico da Bacia do Paraná.