



Instituto Nacional de Engenharia, Tecnologia e Inovação, I.P.



CONTRIBUTO PARA A CARACTERIZAÇÃO TÉRMICA DA CROSTA EM PORTUGAL CONTINENTAL

**Análise e processamento de
dados geotérmicos
compilados até 1996**

**Elsa Ramalho (INETI)
António Correia (U.E./C.G.E.)**

Mai de 2006

ÍNDICE

	Pág.
RESUMO/ABSTRACT	2
1. INTRODUÇÃO	3
2. O GRADIENTE GEOTÉRMICO	4
2.1. FUIROS DE PROSPECÇÃO MINEIRA E DE PESQUISA OU CAPTAÇÃO DE ÁGUA	5
2.2. FUIROS DE PROSPECÇÃO DE PETRÓLEO	7
3. A CONDUTIVIDADE TÉRMICA (k)	8
3.1. FUIROS DE PROSPECÇÃO MINEIRA E DE PESQUISA OU CAPTAÇÃO DE ÁGUA	9
3.2. FUIROS DE PROSPECÇÃO DE PETRÓLEO	11
4. DETERMINAÇÃO DA DENSIDADE DO FLUXO DE CALOR À SUPERFÍCIE (q)	12
4.1. FUIROS DE PROSPECÇÃO MINEIRA E DE PROSPECÇÃO OU CAPTAÇÃO DE ÁGUA	13
4.2. FUIROS DE PROSPECÇÃO DE PETRÓLEO	14
5. DETERMINAÇÃO DA TEMPERATURA A DIFERENTES PROFUNDIDADES	14
6. CONSIDERAÇÕES FINAIS	21
AGRADECIMENTOS	22
REFERÊNCIAS	22
ANEXO	

RESUMO:

Nas últimas décadas tem havido um manifesto interesse em estudar o regime térmico da Terra a uma escala global, o que originou uma intensa actividade nos domínios da obtenção, análise e interpretação de dados geotérmicos. É disso prova a constituição da Comissão Internacional para o Fluxo de Calor no âmbito da União Internacional de Geodesia e Geofísica. Este interesse, associado ao aparecimento de publicações científicas que têm como objectivo a reunião dos dados de densidade de fluxo de calor à superfície da Terra à escala mundial motivou uma análise exaustiva de todos os parâmetros geotérmicos recolhidos em Portugal Continental desde o final da década de 70. Estes estudos têm como objectivo obter um mapa de densidade de fluxo de calor à superfície e determinar o regime térmico da crosta em Portugal Continental. Assim, neste trabalho são compilados, analisados, processados e apresentados, sob a forma de tabelas e mapas, dados geotérmicos compilados até 1996, quer em publicações científicas, quer em relatórios internos de várias instituições portuguesas que se dedicam, ou dedicaram, a estudos desta natureza. De todos os furos compilados apenas 47 foram seleccionados para a determinação da densidade de fluxo de calor. Neste trabalho são descritos os critérios utilizados para a aceitação ou rejeição de dados obtidos em cada um dos 47 furos na determinação do gradiente geotérmico, da condutividade térmica das formações, da produção de calor e da densidade de fluxo de calor. Esses valores são apresentados em várias tabelas e utilizados para construir um mapa de densidade de fluxo de calor à superfície e mapas de temperatura a 500 e 1000 metros de profundidade. Dos 47 furos seleccionados para a determinação da densidade de fluxo de calor 30 são furos de água ou de prospecção mineira, com profundidades que variam entre 93 e 485 metros, e 17 são de pesquisa de petróleo, com profundidades que variam entre 1783 e 3934 metros. O valor da densidade de fluxo de calor para o conjunto dos 47 furos varia entre 42 e 115 mW/m². Com este trabalho pretende-se apresentar, de uma forma compacta e sistematizada, informação geotérmica que se encontrava dispersa, depois de analisada segundo critérios de qualidade internacionais.

ABSTRACT:

The last decades have seen a growing interest in the study of the thermal regime of the Earth on a global scale. This gave rise to an intensive activity in the collection, analysis, and interpretation of geothermal data. This attitude is confirmed by the constitution of the International Heat Flow Commission of the International Union of Geodesy and Geophysics. This interest, associated to the existence of scientific publications that have the purpose of collecting heat flow density values on a world wide basis, motivated the analysis of every geothermal parameter collected in mainland Portugal since the end of the 70's. The data were collected from all the available scientific publications or internal reports of Portuguese institutions that work, or worked, in geothermics until 1996. From all the wells compiled, only 47 were considered reliable to calculate the heat flow density. The criteria used to accept or reject data obtained in the wells and used in the determination of geothermal gradients, thermal conductivities, heat productions and heat flow densities are described. These values for the 47 wells selected are presented in several tables and were used to draw a heat flow density map and maps with temperatures at 500 and 1000 metres depth. 30 of the 47 wells are mining or water wells, with depths ranging from 93 to 485 m, while 17 are oil wells, with depths ranging from 1783 to 3934 m. The calculated heat flow density for the 47 wells varies between 42 and 115 mw/m². The main idea of this work is to present, in a compact and systematic way, previous dispersed geothermal information, after an analysis using international quality criteria.

1. INTRODUÇÃO

Devido ao grande intervalo de tempo que decorreu entre a recolha e análise de dados geotérmicos que deram origem a este trabalho (1996) e a actualidade (2005), os autores consideraram oportuno fazer uma reflexão acerca da sua possível importância actual. Ao longo destes anos, foram várias as solicitações para a utilização dos dados agora apresentados, bem assim como uma explicação detalhada acerca do modo como foram obtidos, analisados e processados. Após 1996, altura em que terminou a compilação dos dados aqui publicados para o “Atlas de Recursos Geotérmicos da Europa”, os autores, e outros investigadores, continuaram a trabalhar em Geotermia, ainda no âmbito deste projecto e, sobretudo, aproveitando outros projectos entretanto em curso no antigo Instituto Geológico e Mineiro; assim, mais dados foram recolhidos e têm constituído parte de um trabalho mais vasto a nível de Portugal Continental, a publicar oportunamente.

A grande dispersão dos dados geotérmicos referentes a cerca de 90 furos recolhidos até 1996 justifica por si só a tentativa, em alguns casos quase desesperada devido à grande imprecisão geográfica de alguns furos, de aproveitar cerca de 20 anos de um trabalho cuja realização é penosa e, na maior parte dos casos, irrepetível. A actualização e uniformização dos dados continua a ter a mesma importância agora que tinha em 1996, pois outros mapas de grandezas geotérmicas que, no futuro, venham a ser elaborados, serão objecto de análise com base nos mesmos critérios aqui expostos. Os autores concluíram, assim, da importância da actualização e uniformização dos dados geotérmicos recolhidos em Portugal Continental, bem assim como da sua actualidade, uma vez que a determinação da densidade de fluxo de calor à superfície da Terra tem vindo a adquirir uma importância significativa nos últimos anos e constitui um dos parâmetros fundamentais para estudos no âmbito da Geofísica e da Geologia.

Em Portugal Continental, os estudos com o objectivo de estimar a densidade de fluxo de calor e outras grandezas físicas a ela associadas tiveram o seu início nos finais da década de 70, com medições de temperatura e/ou determinação de gradientes geotérmicos em furos mineiros, de água e de pesquisa de petróleo. Neste artigo são apresentados os resultados do processamento, ou reprocessamento, dos dados geotérmicos existentes até 1996, e descritas as metodologias utilizadas e os critérios de avaliação adoptados para os analisar. Com base nesses dados, são ainda efectuadas determinações de gradiente geotérmico, de densidade de fluxo de calor e de temperatura a diferentes profundidades para cada um dos furos deste estudo e os resultados são apresentados sob a forma de mapas de densidade de fluxo de calor e de distribuição de temperatura a 500 e 1000 m de profundidade. Em 1995, a assinatura do contrato entre o então Instituto Geológico e Mineiro e o Niedersächsisches Landesamt für Bodenforschung (Geological Survey) Geowissenschaftliche Gemeinschaftsaufgaben (NLfB-GGA) de Hannover, para integrar a contribuição Portuguesa referente a Portugal Continental do “Atlas of Geothermal Resources in Europe” (Correia *et al.*, 2002), obrigou a uma procura e revisão cuidadosa de todos os dados existentes de determinações de temperatura em profundidade em furos e estimativas de densidade de fluxo de calor à superfície. Esta tarefa nem sempre foi fácil, pois os dados originais de temperatura em profundidade, essenciais para a sua determinação, em alguns casos perderam-se e noutros a sua recuperação era praticamente impossível. Tornou-se, então, claro ser necessário iniciar e desenvolver uma base de dados geotérmicos para Portugal Continental, que contemplasse os dados já existentes, publicados e por publicar, de forma a reunir toda a informação disponível que foi recolhida e tratada por vários autores. São de referir os trabalhos de

Correia *et al.* (1982), Camelo (1987,a), Haenel *et al.* (1988), Almeida (1992), Duque (1991) e Duque e Mendes-Victor (1993). Até 1996, estes trabalhos foram essencialmente realizados na Zona Sul-Portuguesa e em zonas de antigas minas (Figura 1); de facto, a exploração mineira facilitou o estudo geotérmico de uma quantidade relativamente grande de furos, em especial na Zona Sul-Portuguesa. Por outro lado, o facto da maioria dos testemunhos dos furos serem preservados pelas entidades que os realizaram permite pensar em novos estudos de natureza geotérmica, a levar a cabo num futuro mais ou menos próximo, que terão por objectivo organizar uma base de dados de condutividade térmica e de produção de calor de rochas do território de Portugal Continental.

Não obstante a existência dos trabalhos de investigação já citados, tornou-se necessário uniformizar os critérios de estudo e análise de todos os dados geotérmicos provenientes de diversas fontes, de uma forma que se pretendeu consistente e sistemática. Assim, todos os dados geotérmicos disponíveis foram analisados e seleccionados utilizando critérios de consistência e estabilidade térmica, o que levou à rejeição de alguns dos resultados já publicados. Por vezes, baseados na experiência dos autores e no que é normalmente considerado aceitável pela comunidade científica geotérmica internacional, alguns critérios poderão parecer subjectivos e carecer de fundamentação teórica. Por esta razão, e porque os dados de temperatura em profundidade são importantes para outros temas para além da Geotermia, como a Hidrogeologia, a Petrologia, a Geodinâmica Interna, a Reologia, para citar apenas alguns, torna-se ainda mais importante tornar público o modo como são obtidos e calculados os resultados que são ou serão publicados e divulgados a nível nacional e internacional.

Os critérios gerais e as metodologias utilizadas neste trabalho são descritos de forma sumária, sendo apresentados os resultados finais dos diversos cálculos efectuados para cada um dos 47 furos seleccionados a que se refere este trabalho.

Em Geotermia, a grandeza fundamental a caracterizar é a densidade de fluxo de calor à superfície. Esta é calculada multiplicando o gradiente geotérmico médio obtido num dado furo pela condutividade térmica efectiva das formações por ele atravessadas. Nas secções seguintes, estas grandezas são descritas com vista a compreender como são obtidas. Por outro lado, também é descrita a técnica de extrapolação dos valores da temperatura medida em furos para profundidades não atingidas por estes, onde a produção de calor das formações rochosas tem um papel fundamental.

2. O GRADIENTE GEOTÉRMICO

O gradiente geotérmico, grad T, é uma medida da variação da temperatura com a profundidade. Ainda que no sistema internacional (SI) de unidades, a unidade seja K/m (kelvin por metro), normalmente, a unidade prática utilizada é °C/km (grau Celsius por quilómetro). A determinação do gradiente geotérmico médio é de importância fundamental para a avaliação das potencialidades geotérmicas de qualquer região, uma vez que o seu conhecimento permite o cálculo aproximado da profundidade dos reservatórios geotérmicos.

Para estudos de distribuição da densidade de fluxo de calor à superfície e para o seu cálculo, a grandeza a determinar para cada furo é o gradiente geotérmico médio. Este foi calculado para os 47 furos deste estudo e cuja localização é apresentada na Figura 1. O conjunto dos 47 furos é constituído por furos de prospecção mineira, de pesquisa

ou captação de água e de prospecção de petróleo. Dos 47 furos seleccionados, 11 encontram-se *off-shore*.

2.1. FUROS DE PROSPECÇÃO MINEIRA E DE PESQUISA OU CAPTAÇÃO DE ÁGUA

As determinações de temperatura em profundidade em furos de prospecção mineira e pesquisa ou captação de água têm vindo a ser essencialmente realizados na Zona Sul-Portuguesa (Figura 1). A exploração mineira existente nesta área facilita o estudo geotérmico de uma quantidade relativamente grande de furos, além da maioria dos testemunhos dos furos serem preservados pelas entidades que os realizaram. Este facto permite a realização posterior de medidas de condutividade térmica das formações atravessadas pelos furos em que só existam dados de temperaturas em profundidade.

O cálculo do gradiente geotérmico em furos mineiros e de água foi realizada através de medições de temperatura ao longo dos mesmos com termistores calibrados (Correia *et al.*, 1982; Duque, 1987; Camelo, 1987,a; Duque, 1991; Duque and Mendes-Victor, 1993) e resistências de platina (Almeida, 1992). Contudo, em alguns dos furos (Correia *et al.*, 1982; Almeida, 1992), a distribuição dos valores da temperatura em profundidade indiciam a existência de circulação de água subterrânea, a qual é traduzida por irregularidades acentuadas na distribuição vertical da temperatura nos troços medidos.

Assim, do conjunto inicial de furos disponíveis, e seguindo uma metodologia comum a todos os dados da Península Ibérica, publicados posteriormente em Fernandèz *et al.* (1998), foram rejeitados todos os furos que apresentassem um erro relativo superior a 45% no cálculo do gradiente geotérmico médio, após exclusão dos valores de temperatura correspondentes a oscilações mais acentuadas na distribuição da temperatura com a profundidade, correspondentes à influência da temperatura superficial e a entradas e/ou saídas de água nos furos, muito localizadas. Por outro lado, desde que um troço da distribuição da temperatura em profundidade num dado furo apresentasse um mínimo de 6 valores medidos ao longo pelo menos de 100 m (ver Tabela 1), e um erro relativo no cálculo do gradiente inferior a 45 %, ele era seleccionado como aceitável, e o valor do gradiente geotérmico utilizado para o cálculo da densidade do fluxo de calor.

Alguns dos furos são inclinados; por esse motivo a inclinação e, em alguns casos, a variação da inclinação, foram tomadas em consideração no cálculo do gradiente geotérmico médio, para que as temperaturas medidas ao longo do furo fossem convertidas em temperaturas reais segundo a direcção vertical.

Na Tabela 1 são apresentados, entre outros valores, os valores do gradiente geotérmico médio dos furos de água e mineiros seleccionados, calculados a partir dos dados de temperatura medidos por Camelo (1987,a), Duque (1991) e Almeida (1992), após aplicação dos critérios mencionados anteriormente.

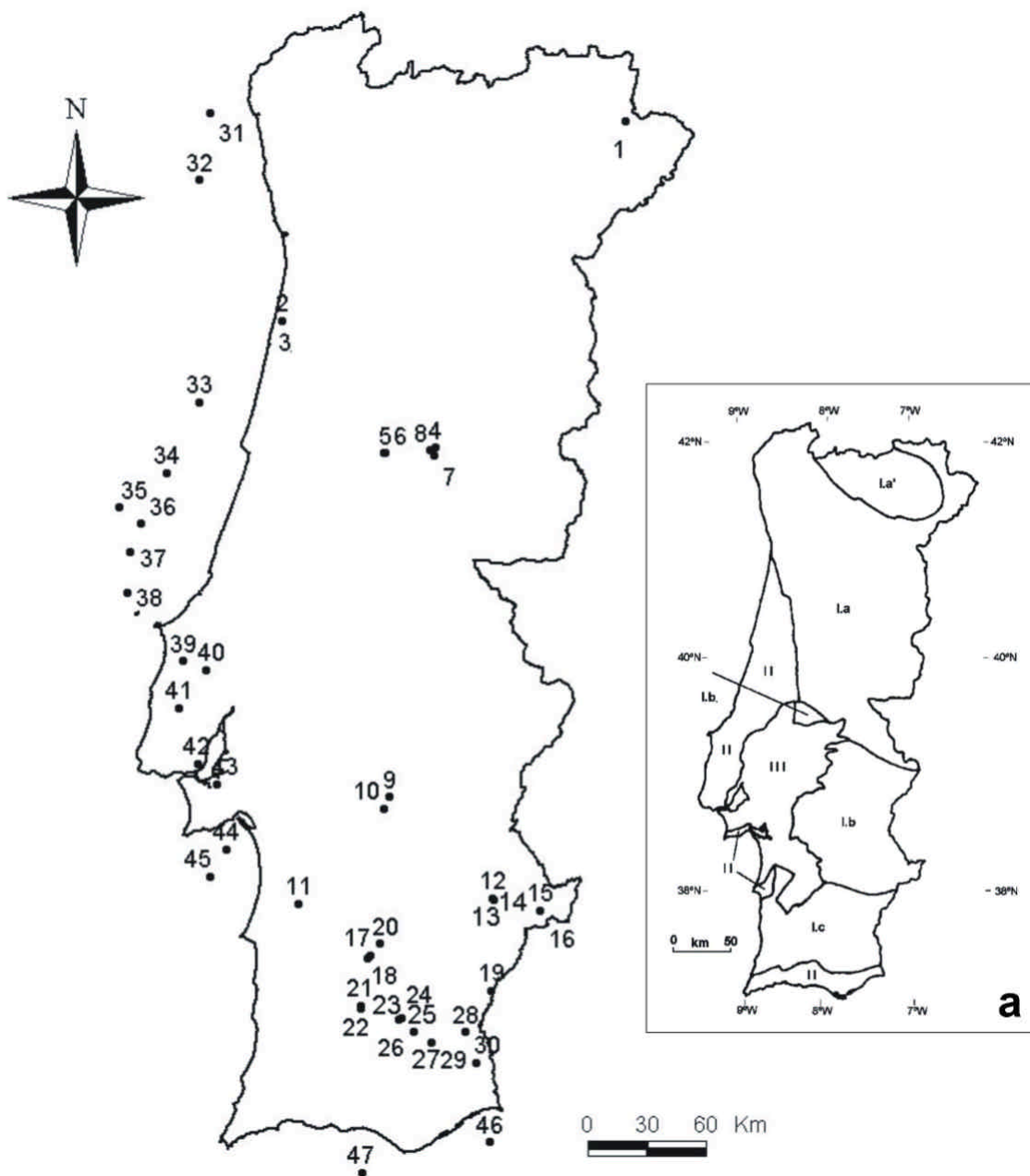


Figura 1 – Localização dos 47 furos seleccionados e apresentados neste estudo. Os números são os mesmos das Tabelas 9 e 10. a) Unidades estruturais em Portugal Continental. I – Maciço Hercínico. I.a – Zona Centro-Ibérica; I.a' – Sub-Zona Galiza Média; I.b - Zona de Ossa-Morena; I.c – Zona Sul Portuguesa; II – Bacias Meso-Cenozóicas Ocidentais e Meridionais; III – Bacias Terciárias do Tejo e Sado.

Tabela 1 – Coordenadas dos 30 furos de prospecção mineira e de água seleccionados. Prof. é a profundidade atingida por cada um dos furos, em metro, e N é o número total de leituras de temperatura efectuadas. Gm é o gradiente geotérmico médio e d.p. é desvio-padrão, ambos calculados ao longo de todo o furo. n é o número de leituras de temperatura efectuadas ao longo do troço seleccionado (ver texto para explicação), Gr e d.p.1.são o gradiente geotérmico e o desvio-padrão, respectivamente, calculados a partir das leituras de temperatura obtidas ao longo do troço seleccionado.

Nº	REF.	lon. (W)	lat. (N)	Prof. (m)	N	Gm (°C/km)	d.p. (°C/km)	n	Gr (°C/km)	d.p. 1 (°C/km)
1	S4A	06°36'22"	41°38'30"	180	18	27.2	6.8	17	26.9	6.9
2	ACCP5	08°39'54"	40°44'47"	150	13	25.6	15.1	11	23.2	4.0
3	ACCP4	08°39'57"	40°44'40"	160	15	25.7	12.1	13	23.4	4.5
4	MP	07°44'55"	40°10'09"	410	37	17.8	12.1	36	18.0	7.9
5	S7	08°05'38"	40°09'48"	93	10	26.3	12.3	6	23.0	6.2
6	S13	08°03'51"	40°09'19"	300	22	16.5	7.1	9	16.4	6.1
7	CP6	07°45'22"	40°09'19"	170	10	19.7	5.7	10	19.7	5.7
8	CP7	07°45'13"	40°08'51"	300	28	20.1	17.7	20	24.7	4.6
9	TI54	08°04'21"	38°33'56"	180	11	16.5	3.5	10	17.2	2.9
10	TI14	08°04'19"	38°31'54"	170	11	20.6	2.9	11	20.6	2.9
11	CD1	08°32'54"	38°08'48"	400	-	-	-	8	21.7	0.7
12	SDM10	07°26'03"	38°07'42"	385	38	15.5	2.3	37	15.6	2.0
13	SDM5	07°25'56"	38°07'31"	295	28	14.6	4.7	24	14.2	3.0
14	SDM8	07°25'47"	38°07'26"	155	15	13.1	2.1	13	13.7	1.4
15	SDSA2	07°09'45"	37°59'10"	180	16	23.6	2.1	16	23.6	2.1
16	SDSA3	07°09'53"	37°59'09"	290	23	19.1	4.7	20	20.2	4.1
17	FS26	08°11'56"	37°37'49"	265	22	19.5	6.0	22	19.5	6.0
18	FS25	08°09'13"	37°51'25"	205	18	24.4	34.0	16	21.2	7.4
19	CH1	07°27'05"	37°42'24"	285	26	24.3	7.1	26	24.3	7.1
20	CV	08°07'30"	37°42'18"	?	-	-	-	7	30.4	1.9
21	OT1	08°11'55"	37°38'21"	345	33	26.9	7.6	33	26.9	7.6
22	AL1	08°08'27"	37°52'15"	155	15	20.0	11.5	9	22.5	1.4
23	NG1	07°58'36"	37°36'47"	170	-	-	-	15	26.1	0.8
24	NE26	07°57'48"	37°35'00"	125	11	19.5	3.1	11	19.5	3.1
25	NE6	07°58'26"	37°34'48"	295	24	26.2	7.8	24	26.2	7.8
26	NE4	07°58'30"	37°34'47"	145	10	25.5	9.2	10	25.5	9.2
27	CVH1	07°53'24"	37°33'08"	360	-	-	-	24	23.0	0.4
28	VC1	07°31'22"	37°31'22"	385	36	21.7	5.0	36	21.7	5.0
29	PN2	07°42'41"	37°30'18"	485	42	21.3	5.0	42	21.3	5.0
30	CST1	07°32'02"	37°22'47"	185	15	22.5	2.7	15	22.5	2.7

2.2. FUROS DE PROSPECÇÃO DE PETRÓLEO

Nas bacias sedimentares portuguesas o gradiente geotérmico foi determinado a partir de dados de temperatura de fundo de furo (BHT) obtidos em furos para pesquisa de petróleo. Estes foram recolhidos, analisados e processados por Camelo (1987,b) e Correia *et al.* (1988), utilizando o método proposto por Dowdle e Cobb (1975).

Apenas 10% dos furos *on-shore* foram utilizados para determinar o gradiente geotérmico médio. Na verdade, para corrigir as temperaturas de fundo de furo é necessário que, para uma mesma profundidade, existam, pelo menos, dois valores de temperatura de fundo de furo (Dowdle e Cobb, 1975), o que nem sempre aconteceu. Nos furos *off-shore*, a percentagem de furos que foram utilizados para determinar o gradiente geotérmico médio foi de 42%.

Em alguns furos (Campelos-1, Benfeito-1, Sobral-1, Monsanto-1 e Barreiro-4) o gradiente geotérmico médio foi calculado por regressão linear, após interpolação entre valores de temperatura medidos a diferentes profundidades (Haenel *et al.*, 1980). Esta aproximação conduziu à rejeição do gradiente geotérmico médio determinado no furo Monsanto-1, uma vez que a recta de regressão não é representativa da variação real do perfil de temperatura em profundidade. Na Tabela 2 são apresentados os gradientes geotérmicos médios para os furos de prospecção de petróleo referidos neste estudo.

Tabela 2 – Coordenadas dos 17 furos de prospecção de petróleo seleccionados. Prof. é a profundidade atingida por cada um dos furos, em metro. Gm é o gradiente geotérmico médio e d.p. é desvio-padrão, ambos calculados ao longo de todo o furo.

Nº	REF.	LON. (W)	LAT. (N)	Prof. (m)	Gm (°C/km)	d.p. (°C/km)
31	Cavala-4	41°30'51"	09°05'18"	2749	25.9	10.6
32	5 A-1	41°08'02"	09°07'45"	2621	21.6	2.6
33	Dourada-1	40°19'44"	09°06'23"	3668	28.1	3.8
34	13 C-1	40°01'35"	09°08'01"	2693	32.5	1.7
35	14 C-1A	39°58'07"	09°24'03"	2142	25.8	6.1
36	Faneca-1	39°54'00"	09°15'52"	2142	29.5	2.9
37	16 A-1	39°43'01"	09°18'09"	2597	26.6	5.7
38	17 C-1	39°25'00"	09°22'00"	2399	22.8	6.6
39	Campelos-1	39°12'22"	09°14'57"	3538	27.9	5.7
40	Benfeito-1	39°07'57"	09°07'11"	3343	29.9	1.5
41	Sobral-1	38°57'28"	09°11'39"	3934	31.2	0.5
42	Monsanto-1	38°43'49"	09°11'32"	2888	—	—
43	Barreiro-4	38°39'00"	09°02'44"	2789	36	
44	Golfinho-1	38°20'35"	08°57'12"	1783	35.5	5.6
45	Pescada-1	38°08'07"	09°02'09"	3117	21.7	0.7
46	Algarve-1	36°59'04"	07°33'59"	3581	28.0	5.0
47	Ruivo-1	36°53'11"	08°11'29"	2249	23.1	8.1

3. A CONDUTIVIDADE TÉRMICA (k)

A condutividade térmica é uma propriedade dos materiais que traduz a maior ou menor capacidade que eles têm de transmitir a energia calorífica por condução. No sistema SI a unidade é W/mK (watt por metro por Kelvin) sendo, contudo, frequente o uso da unidade prática W/m°C (watt por metro por grau Celsius). A condutividade térmica dos materiais rochosos depende de muitos factores como sejam a composição mineralógica, a porosidade, o tipo de fluido que preenche os poros e a temperatura, para citar os mais importantes. A determinação da condutividade térmica é feita laboratorialmente recorrendo a diferentes técnicas que são morosas e dispendiosas. Por este motivo, para estimar a condutividade térmica das formações rochosas atravessadas por um dado furo recorre-se, muitas vezes, a tabelas de valores de condutividade térmica de rochas do mesmo tipo às existentes no furo e para as quais há determinações laboratoriais de condutividade térmica. Esta metodologia origina, necessariamente, uma incerteza nos dados da condutividade térmica e da densidade de fluxo de calor calculada com eles. É, contudo, frequente não ser possível, para muitos furos, obter testemunhos para realizar determinações laboratoriais daquela grandeza. Assim, em termos práticos, quando para um dado furo não é possível obter valores da condutividade térmica medidos em testemunhos do furo, é hábito assumir que as formações por ele atravessadas apresentam condutividades térmicas idênticas

às de rochas semelhantes que se encontrem relativamente perto do furo e para as quais existem valores experimentais da condutividade térmica. Para esse furo essas condutividades térmicas recebem o nome de condutividades térmicas assumidas e esta será a designação adoptada neste trabalho.

Como se disse anteriormente, para o cálculo da densidade de fluxo de calor é também hábito utilizar a chamada condutividade térmica efectiva. Esta é calculada através de uma ponderação da condutividade térmica (laboratorial ou assumida) de cada uma das litologias atravessadas pelo furo com as suas espessuras. A condutividade térmica efectiva é calculada através da equação

$$k_{\text{efectiva}} = \frac{\sum_{i=1}^n \Delta z_i}{\sum_{i=1}^n \frac{\Delta z_i}{k_i}} \quad (1)$$

onde o índice i corresponde aos diferentes materiais rochosos que o furo atravessa, Δz_i (m) é espessura da camada i , e k_i (W/mK) é condutividade térmica do material dessa camada.

3.1. FUROS DE PROSPECÇÃO MINEIRA E DE PESQUISA OU CAPTAÇÃO DE ÁGUA

A pequena quantidade de medidas laboratoriais da condutividade térmica em testemunhos de sondagem obtidos em furos deste estudo (Correia *et al.*, 1982; Camelo, 1987,a; Duque, 1991; Almeida, 1993) obrigou a que, na maioria dos furos mineiros e de água considerados, o cálculo da condutividade térmica fosse realizado a partir das colunas litológicas. Para cada um dos furos este cálculo consistiu, sempre que necessário, na atribuição às diferentes litologias do valor médio da condutividade térmica medida em amostras de formações rochosas análogas, provenientes de furos existentes nas proximidades. Assim, para a condutividade térmica de uma dada formação rochosa atravessada por um furo utilizou-se ou (1) um valor medido laboratorialmente num testemunho obtido nesse furo ou (2) o valor médio das condutividades térmicas medidas laboratorialmente em testemunhos de formações rochosas análogas atravessadas por outros furos portugueses. Para as formações geológicas portuguesas para as quais não há qualquer valor laboratorial de condutividade térmica, utilizaram-se valores médios da condutividade térmica para rochas semelhantes obtidos em tabelas de propriedades físicas de rochas (Cermak and Rybach, 1982).

A determinação da condutividade térmica em testemunhos de sondagem foi feita com um condutímetro da marca Showa Denko, modelo QTM-D2 e as medidas foram efectuadas em testemunhos provenientes de 12 furos (Correia *et al.*, 1982; Camelo, 1987,a; Duque, 1991; Almeida, 1993). A condutividade térmica efectiva atribuída a cada um dos furos foi calculada através da eq. (1).

Os valores da condutividade térmica média calculada através de valores de condutividade térmica obtidos laboratorialmente em testemunhos de furos de Portugal Continental são apresentados na Tabela 3.

Tabela 3 – Condutividades térmicas médias calculadas através de medidas laboratoriais da condutividade térmica de testemunhos de sondagem obtidos nos furos OT1, AL2, FS25, FS26, SDV2 e S32. O valor médio corresponde à média aritmética dos valores obtidos em cada furo para a mesma formação.

MATERIAL	Nº TOTAL DE AMOSTRAS MEDIDAS	Nº DE FUROS	VALOR MÉDIO (W/mK)
Xistos e grauvaques	22	3	3.69
Xistos	2	1	3.03
Xistos negros carbonosos piritosos	1	1	4.16
Xistos com níveis de manganês	12	2	4.29
Rocha intrusiva básica	7	1	3.31
Complexo de tufitos violetas, verdes e xistos tufáceos cinzentos	4	1	5.41
Tufitos verdes	4	3	4.29
Tufos cinzento-esverdeados	11	1	3.65
Tufos cinzentos esverdeados muito silicificados	4	1	3.17
Tufos cinzentos-esverdeados, silicificados, cloritizados	1	1	3.29
Grauvaques	6	1	3.48
Filonetes de quartzo	1	1	3.07
Granito	1	1	3.40
Calcários dolomíticos	5	6	3.83
Dolomias mineralizadas	4	1	3.88
Calcários	3	1	3.42
Calcoxistos	2	1	3.56

Na Tabela 4 são apresentados alguns valores da condutividade térmica de rochas para as quais não há determinações laboratoriais da condutividade térmica para furos de Portugal Continental mas que foram utilizadas como valores de condutividade térmica assumida no cálculo da condutividade térmica efectiva.

Estas condutividades são, assim, assumidas como representativas das formações geológicas portuguesas para as quais ainda não há determinações laboratoriais de condutividade térmica. Para os furos cujas colunas litológicas não se encontram disponíveis (furos SA4, TI14 e TI51 da Tabela 9), consideraram-se as condutividades térmicas assumidas utilizadas por Fernandéz *et al.* (1995) e aplicados posteriormente em Fernandéz *et al.* (1998), seguindo o princípio de idênticos critérios de processamento para toda a Península Ibérica.

Tabela 4 – Condutividades térmicas médias assumidas para alguns materiais rochosos atravessados por furos de Portugal Continental (valores publicados em Cermak e Rybach (1982)).

MATERIAL	CONDUTIVIDADE TÉRMICA (W/mK)
Siltitos	2.38
Arenitos	2.30
Diabases	2.45
Talco e serpentinitos	3.17
Argilas	1.72
Areias	1.57
Xistos argilosos	2.59
Xistos dolomíticos	4.06

Na Tabela 5 são apresentadas as condutividades térmicas efectivas para vários furos deste estudo.

Tabela 5 – Lista de furos onde foram efectuadas medidas de condutividade térmica em testemunhos de sondagem (Correia *et al.*, 1982; Almeida, 1993) e respectiva condutividade térmica (1) efectiva e (2) assumida a partir de uma medida numa só amostra. Nos furos S4A e SD27 (Almeida, 1993), a condutividade efectiva é considerada igual à média aritmética dos valores de condutividade térmica medidos nos testemunhos de sondagens (ver texto para explicação).

REF ^a	COORDENADAS		CONDUTIVIDADE (W/mK) (1) EFECTIVA (2) ASSUMIDA
	LONGITUDE	LATITUDE	
S32	7°44'56"W	38°16'40"N	3.85 (1)
OT1	8°11'55"W	37°38'21"N	4.27 (1)
AL1	8°11'56"W	37°36'49"N	3.64 (1)
FS25	8°09'13"W	37°51'25"N	3.46 (1)
FS26	8°08'27"W	37°52'15"N	3.36 (1)
SDV2	8°26'12"W	40°43'38"N	3.40 (1)
S4A	6°36'22"W	41°38'30"N	3.21 (2)
SD27	8°43'02"W	41°51'24"N	3.98 (2)

É de notar que da Tabela 5 fazem também parte os furos S32, SDV2 e SD27, cuja distribuição da temperatura com a profundidade não satisfaz os critérios de aceitação de um furo como bom para determinar o gradiente geotérmico médio, i.e., não apresenta um troço suficientemente rectilíneo a partir do qual se possa calcular esse gradiente. É de notar ainda que para furos em que se conhece a coluna litológica mas não há determinações da condutividade térmica em testemunhos, a cada formação atravessada pelo furo foi atribuída uma condutividade térmica média baseada nas condutividades térmicas medidas em testemunhos de sondagem de outros furos (Correia *et al.*, 1982; Camelo, 1987,b; Duque, 1991; Almeida, 1993).

3.2. FUROS DE PROSPECÇÃO DE PETRÓLEO

As condutividades térmicas efectivas da maioria dos furos de pesquisa de petróleo foram determinadas através das colunas litológicas, atribuindo uma condutividade térmica a cada tipo de formação (Camelo, 1987,a). Em dois dos furos (Monsanto-1 e Barreiro-4), na ausência de dados para a determinação da condutividade térmica efectiva, assumiu-se o valor recomendado de 2.5 W/mK (Haenel *et al.*, 1980), que é bastante semelhante ao dos furos mais próximos.

Na Tabela 9 são apresentados os valores da condutividade térmica efectiva para todos os furos de pesquisa de petróleo deste estudo.

4. DETERMINAÇÃO DA DENSIDADE DO FLUXO DE CALOR À SUPERFÍCIE (q)

No cálculo da determinação da densidade do fluxo de calor (DFC) à superfície não foram feitas correcções topográficas e paleoclimáticas.

Na Figura 2 estão representados de uma forma esquemática os critérios utilizados no cálculo da DFC para os vários furos. Este esquema esboça um método expedito para a classificação da qualidade das estimativas da DFC baseada na qualidade dos dados de base dos parâmetros intervenientes para o seu cálculo, quer ao nível dos dados disponíveis quer ao nível da qualidade da aquisição dos mesmos.

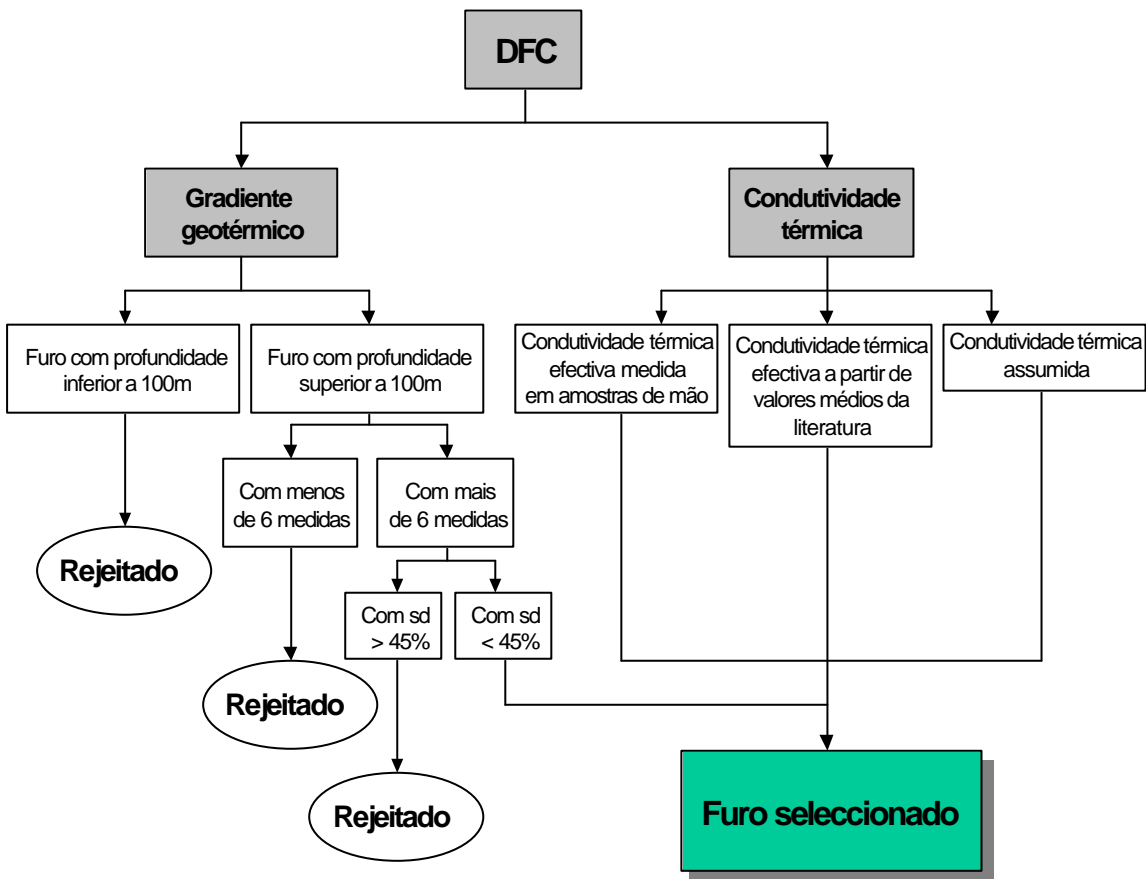


Fig. 2 – Esquema de cálculo com critérios utilizados para a determinação da DFC num dado furo.

O esquema da Figura 2 propõe, assim, uma classificação da qualidade dos dados de DFC estimados, que pode assumir valores entre 0 (mínimo) e 4 (máximo) baseada no tipo e qualidade de cada um dos parâmetros envolvidos (Tabela 6). O mínimo de zero implica a impossibilidade de estimar a DFC, face ao elevado sd registado.

Tabela 6 – Classificações parcelares da qualidade dos dados de DFC estimados, em que a classificação final pode assumir valores entre 0 (mínimo, implicando a impossibilidade de estimar a DFC, face ao elevado sd registado) e 5 (máximo) baseada no tipo e qualidade de cada um dos parâmetros envolvidos.

Gradiente geotérmico	Classificação parcelar	Condutividade térmica	Classificação parcelar
sd > 45%	0	Assumida	0
15% < sd < 45%	1	Efectiva a partir de valores médios da literatura	1
sd < 15%	2	Efectiva medida em amostras de mão	2

A classificação final da qualidade dos dados estimados de DFC para cada furo corresponderá à soma da classificação parcelar correspondente ao gradiente geotérmico com a classificação parcelar correspondente à condutividade térmica. Desta forma, se a sua classificação acompanhar o resultado de DFC, o utilizador dos dados que não os processou terá uma ideia mais clara da qualidade da informação que está a utilizar. Poderá assim, consoante o rigor exigido pelo trabalho, optar pela não inclusão dos dados ou pela sua inclusão com ou sem reservas.

4.1. FUROS DE PROSPECÇÃO MINEIRA E DE PROSPECÇÃO OU CAPTAÇÃO DE ÁGUA

Na determinação da densidade do fluxo de calor em furos admite-se que as formações por eles atravessadas são lateralmente homogéneas, isotrópicas e com uma condutividade térmica independente da temperatura, o que equivale a dizer que a transferência de calor é feita por condução e em regime estacionário. Assim, a DFC só deve ser calculada para furos em equilíbrio térmico e sem circulação de água. Em furos mineiros e de água a DFC foi calculada através da equação

$$q = k (\text{grad } T) \quad (2)$$

onde q (W/m^2) é a densidade de fluxo de calor, k é a condutividade térmica (W/mK) e $(\text{grad } T)$ é o gradiente geotérmico (K/m). Por motivos de ordem prática, a DFC é muitas vezes apresentada em miliwatt por metro quadrado (mW/m^2).

A densidade de fluxo de calor foi calculada apenas para os furos que se consideraram estar em equilíbrio térmico e sem evidência de circulação de água. Contudo, foram também considerados como furos adequados para calcular a DFC, todos aqueles cuja variação da densidade de calor fosse inferior a 5% quando efectuada a correcção de fluxo vertical de água. Por esse motivo, dos furos provenientes de Duque (1991) e Duque e Mendes-Victor (1993), apenas foram seleccionados os furos CVH1, CV, NG1 e CD1.

Na Tabela 9 são apresentados os valores da densidade de fluxo de calor calculados para os troços rectilíneos dos furos mineiros e de água seleccionados.

4.2. FUROS DE PROSPECÇÃO DE PETRÓLEO

De todos os furos de pesquisa de petróleo aqui apresentados, a densidade de fluxo de calor dos que são referidos em Camelo (1987,a) foi calculada a partir da equação

$$q = \frac{T_i - T_0}{\sum_{j=1}^n H_{ij} \frac{1}{k_j}} \quad (3)$$

onde n é o número total de camadas, H_{ij} são os coeficientes correspondentes à espessura da camada j desde a superfície até à profundidade Z_i , k_j é a condutividade térmica da camada j, T_i é a temperatura na base da camada Z_i (°C) e T_0 é temperatura à superfície (°C).

Nos restantes furos, a densidade de fluxo de calor foi calculada através da eq. (2), a partir dos gradientes geotérmicos médios e das condutividades térmicas efectivas determinadas. No furo Monsanto-1, contudo, a densidade do fluxo de calor à superfície não foi considerado devido ao facto de o gradiente geotérmico médio obtido não estar de acordo com os critérios de aceitação/rejeição referidos anteriormente.

Na Figura 3 apresenta-se um mapa com os valores da densidade de fluxo de calor à superfície calculados para os 47 furos deste estudo.

5. DETERMINAÇÃO DA TEMPERATURA A DIFERENTES PROFUNDIDADES

Com o objectivo de estimar a distribuição espacial da temperatura nas zonas mais superficiais da crosta, estimaram-se as temperaturas às profundidades de 500 e 1000 metros a partir de duas aproximações diferentes: (1) sempre que possível, a temperatura considerada foi a temperatura medida ou interpolada entre duas temperaturas medidas; (2) caso estas não existissem, as temperaturas foram extrapoladas para profundidades maiores a partir de temperaturas medidas mais à superfície.

Apenas alguns furos para pesquisa de petróleo foram alvo do primeiro tipo de aproximação, após correcção das temperaturas de fundo de furo para perturbações térmicas causadas pela perfuração (Haenel *et al.*, 1980).

A determinação da temperatura a diferentes profundidades é feita a partir dos valores da densidade do fluxo de calor obtidos à superfície. Assim, se se conhecer a litologia aproximada da região onde o furo se encontra, e se se puder estimar a condutividade térmica média e a produção de calor média para essa litologia, é possível estimar o valor da temperatura para qualquer profundidade a partir da equação (Haenel *et al.*, 1980)

$$T(z) - T_0 = \frac{q z}{k} - \frac{A z^2}{2 k} \quad (4)$$

em que $T(z)$ é a temperatura à profundidade z (°C), T_0 é a temperatura à superfície da Terra (°C), z é a profundidade (m), A é a produção de calor por unidade de volume (W/m^3) e k é a condutividade térmica (W/mK).

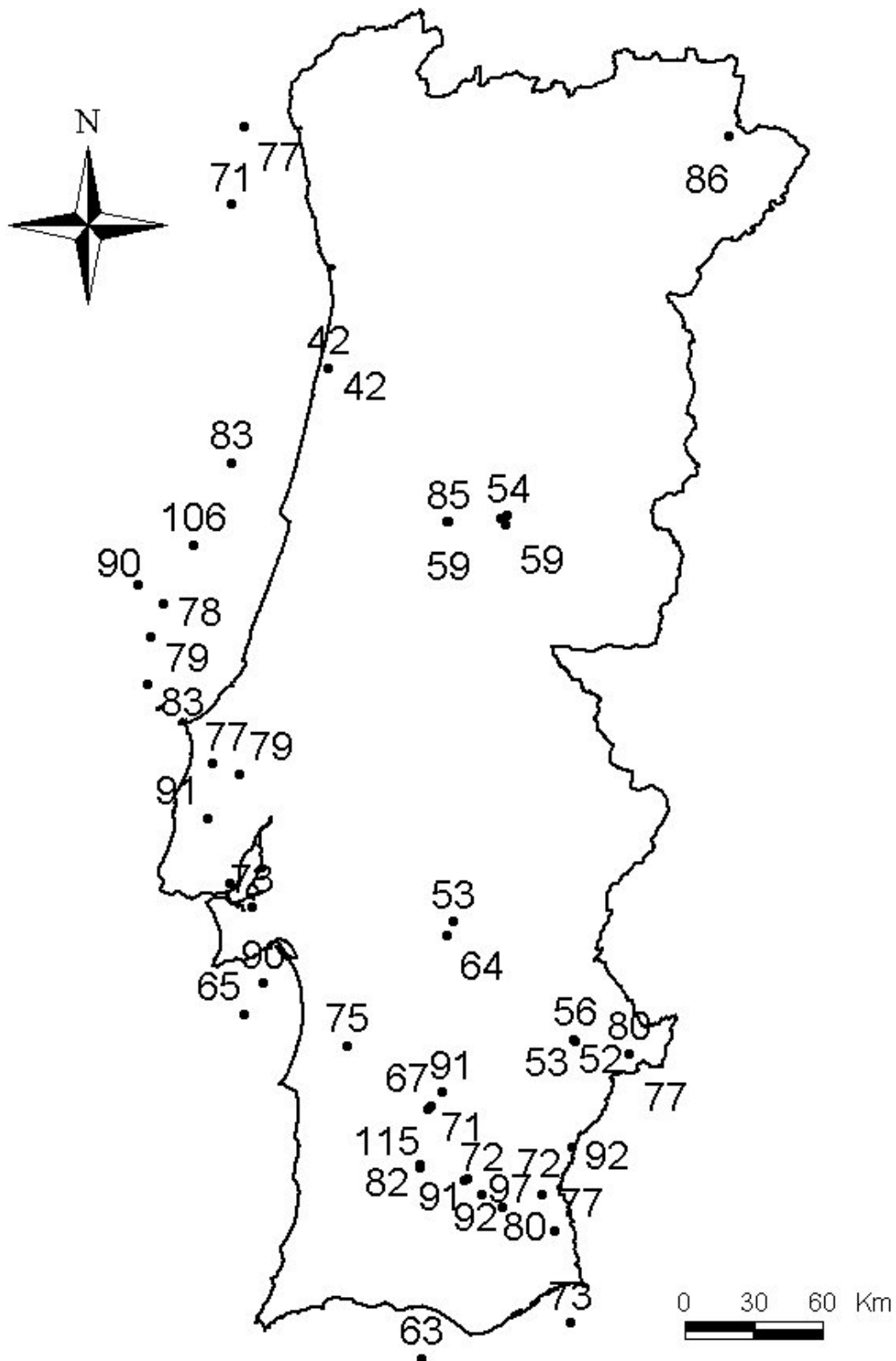


Figura 3 – Valores da DFC à superfície em Portugal Continental (valores em mW/m²).

Os valores obtidos para o gradiente geotérmico e a condutividade térmica efectiva nos furos seleccionados são apresentados na Tabela 9, bem como os valores de DFC e respectivo desvio-padrão. Os valores de produção de calor por unidade de volume (A) utilizados no cálculo da temperatura a diferentes profundidades referidos na Tabela 9 referem-se aos valores médios obtidos através da determinação laboratorial em amostras rochosas recolhidas em formações rochosas do território de Portugal Continental (Correia *et al.*, 1993; Correia, 1995; Correia e Jones, 1997) e apresentadas na Tabela 7 e em tabelas de propriedades físicas de rochas representados na Tabela 8 (Rybach and Cermak, 1982). Na Tabela 9 encontram-se ainda o tipo de furo, a litologia genérica atravessada, a sua profundidade e as temperaturas a 500 e 1000 metros de profundidade, assumindo um regime condutivo.

Tabela 7 – Valores da produção de calor média por unidade de volume medidos laboratorialmente para diferentes materiais rochosos do território de Portugal Continental (segundo Correia *et al.*, 1993; Correia, 1995; Correia e Jones, 1997) e utilizados para calcular a temperatura a 500 e 1000 m de profundidade. Os valores na coluna da produção de calor entre parêntesis correspondem ao erro associado à determinação experimental da produção de calor. O valor da produção de calor para o microgranito é um valor médio de 5 amostras utilizadas.

TIPO DE ROCHAS	PRODUÇÃO DE CALOR (mW/m ³)
Granito	3.36 (0.05)
Granito	2.04 (0.04)
Granito	3.20 (0.05)
Granito	2.58 (0.05)
Microgranito	2.75 (0.25)
Diorito	0.56 (0.02)
Diorito	0.98 (0.02)
Diorito	1.60 (0.14)
Diorito	1.53 (0.13)
Microdiorito	0.83 (0.07)
Microdiorito	0.76 (0.07)
Gabro	0.27 (0.02)
Gabro	0.11 (0.02)

Tabela 8 – Valores assumidos de produção de calor média por unidade de volume (A) para diferentes materiais rochosos (segundo Rybach and Cermak (1982)) e utilizados para calcular a temperatura a 500 e 1000 m de profundidade.

TIPO DE ROCHAS	MATERIAL	PRODUÇÃO DE CALOR (mW/m ³)
ÍGNEAS	Granito/Riolito	2.45
	Granodiorito/Dacito	1.48
	Diorito/Quartzodiorito/Andesito	1.08
	Gabro/Basalto	0.309
SEDIMENTARES	Calcário	0.62
	Dolomito	0.36
	Sal	0.012
	Anidrite	0.090
	Argilas e siltes	1.8
	Argilas orgânicas	5.5
	Arenitos	1.12
	Margas	0.93
	Tufitos	0.73
	Arcoses	0.84
Grauvaques	0.99	
METAMÓRFICAS	Quartzitos	0.32
	Xistos cloríticos	3.15
	Xistos anfíbolíticos	1.18
	Xistos granulíticos	0.45

Tabela 9 – Tabela resumo relativa a algumas características dos furos e propriedades determinadas (número, referência, observações, litologia geral, profundidade, gradiente geotérmico).

NÚMERO	REFERÊNCIA	OBSERVAÇÕES	LITOLOGIA GERAL	PROFUNDIDADE (m)	GRADIENTE GEOTÉRMICO (°C/km)
1	S4A	Furo mineiro	quartzitos	180	27
2	ACCP5	Furo de água	arenitos e argilas	150	23
3	ACCP4	Furo de água	arenitos e argilas	160	23
4	MP	Furo mineiro	xistos argilosos e grauvaques	410	18
5	S7	Furo mineiro	xistos argilosos e grauvaques	93	23
6	S13	Furo mineiro	xistos argilosos e grauvaques	300	18
7	CP6	Furo mineiro	xistos argilosos e grauvaques	170	20
8	CP7	Furo mineiro	xistos argilosos e grauvaques	300	25
9	TI54	Furo mineiro	conglomerados	180	17
10	TI14	Furo mineiro	conglomerados	170	21
11	C.D.1	Furo mineiro	xistos e grauvaques	400	22
12	SDM10	Furo mineiro	calcários dolomíticos	385	16
13	SDM5	Furo mineiro	xistos, calcários e dolomias	295	14
14	SDM8	Furo mineiro	xistos, calcários e dolomias	155	14
15	SDSA2	Furo mineiro	metavulcanitos	180	24
16	SDSA3	Furo mineiro	metavulcanitos	290	20
17	FS26	Furo mineiro	xistos e grauvaques	265	20
18	FS25	Furo mineiro	xistos e grauvaques	205	21
19	CH1	Furo mineiro	xistos, argilas e margas	285	24
20	C.V.	Furo mineiro	xistos e grauvaques	?	30
21	OT1	Furo mineiro	metavulcanitos ácidos	345	27
22	AL1	Furo mineiro	metavulcanitos ácidos	155	23
23	NG1	Furo mineiro	xistos e tufitos	170	26
24	NE26	Furo mineiro	grauvaques e xistos	125	20
25	NE6	Furo mineiro	metavulcanitos	295	26
26	NE4'	Furo mineiro	metavulcanitos	145	26
27	CVH1	Furo mineiro	xistos e grauvaques	360	23
28	VC1	Furo mineiro	turbiditos	385	22
29	PN2	Furo mineiro	turbiditos	485	21
30	CST1	Furo mineiro	metavulcanitos	185	23
31	Cavala-4	Furo de petróleo	arenitos e carbonatos	2749	26
32	5 A-1	Furo de petróleo	carbonatos e litoclastos	2621	22
33	Dourada-1	Furo de petróleo	carbonatos e arenitos	3668	28
34	13 C-1	Furo de petróleo	areias, argilas, margas, calcários	2693	33
35	14 C-1A	Furo de petróleo	evaporitos	2142	26
36	Faneca-1	Furo de petróleo	argilas e arenitos	2142	30
37	16 A-1	Furo de petróleo	evaporitos	2597	27
38	17 C-1	Furo de petróleo	granito tectonizado	2399	23
39	Campelos-1	Furo de petróleo	calcários	3538	28
40	Benfeito-1	Furo de petróleo	dolomitos, calcários e arenitos	3343	30
41	Sobral-1	Furo de petróleo	dolomitos, arenitos vermelhos	3934	31
42	Monsanto-1	Furo de petróleo	arenitos, calcários	2888	—
43	Barreiro-4	Furo de petróleo	calcários	2789	36
44	Golfinho-1	Furo de petróleo	arenitos	1783	36
45	Pescada -1	Furo de petróleo	carbonatos	3117	21
46	Algarve-1	Furo de petróleo	calcário	3581	28
47	Ruivo-1	Furo de petróleo	arenitos, carbonatos, dolomitos	2249	23

Tabela 10 – Tabela resumo relativa algumas características dos furos e propriedades determinadas (número, referência, condutividade térmica, densidade de fluxo de calor, produção de calor, temperatura a 500 e 1000m de profundidade).

NÚMERO	REFERÊNCIA	CONDUTIVIDADE TÉRMICA EFECTIVA /ASSUMIDA (W/mK)	DENSIDADE DE FLUXO DE CALOR (mWm ⁻²)	DENSIDADE DE FLUXO DE CALOR (s.d.) (mWm ⁻²)	PRODUÇÃO DE CALOR (μWm ⁻³)	TEMPERATURA A 500 m de profundidade (°C)	TEMPERATURA A 1000 m de profundidade (°C)
1	S4A	3.2*	86	22	0.32	25	39
2	ACCP5	1.8	42	7	1.46	26	37
3	ACCP4	1.8	42	8	1.46	27	38
4	MP	3.0	54	24	1.2	23	31
5	S7	3.7	85	23	1.2	27	39
6	S13	3.6	59	22	1.2	23	32
7	CP6	3.0	59	17	1.2	23	32
8	CP7	3.0	74	14	1.2	26	38
9	TI54	3.1*	53	9	1.0	22	32
10	TI14	3.1*	64	9	1.0	25	35
11	C.D.1	3.6	75	5	2.07	27	37
12	SDM10	3.6	56	7	0.53	25	33
13	SDM5	3.7	53	11	0.72	24	31
14	SDM8	3.8	52	5	0.72	24	31
15	SDSA2	3.4	80	16	1.75	29	40
16	SDSA3	3.8	77	7	1.75	27	37
17	FS26	3.46	67	21	2.07	25	35
18	FS25	3.36	71	21	2.07	26	36
19	CH1	3.8	92	27	1.30	30	42
20	C.V.	3.03	91	10	2.07	31	45
21	OT1	4.27	115	32	2.07	29	42
22	AL1	3.64	82	38	2.07	27	38
23	NG1	3.5	91	14	1.00	29	42
24	NE26	3.7	72	11	2.07	26	35
25	NE6	3.7	97	29	1.75	28	42
26	NE4'	3.6	92	33	1.75	28	41
27	CVH1	3.5	80	5	2.07	27	39
28	VC1	3.3	72	17	1.00	28	39
29	PN2	3.7	79	19	1.00	30	38
30	CST1	3.4	77	9	1.75	29	42
31	Cavala-4	3.0	77	14	0.6	25	37
32	5 A-1	3.3	71	15	0.6	23	33
33	Dourada-1	3.0	83	10	0.6	26	40
34	13 C-1	3.3	106	13	0.6	29	45
35	14 C-1A	3.5	90	20	0.6	26	39
36	Faneca-1	2.6	78	15	0.6	28	43
37	16 A-1	3.0	79	16	0.6	26	39
38	17 C-1	3.6	83	19	0.6	25	36
39	Campelos-1	2.8	77	17	0.6	32	45
40	Benfeito-1	2.6	79	11	0.6	36	50
41	Sobral-1	2.9	91	18	0.6	34	50
42	Monsanto-1	—	—	—	0.6	39	48
43	Barreiro-4	2.5	73	?	0.6	35	50
44	Golfinho-1	2.5	90	21	0.6	31	49
45	Pescada -1	3.1	65	17	0.6	24	34
46	Algarve-1	2.6	73	12	0.6	27	41
47	Ruivo-1	2.7	63	17	0.6	25	36

Nas Figuras 4 e 5 são mostrados os mapas com os valores da temperatura, em grau Celsius, a 500 e 1000 metros de profundidade, respectivamente.

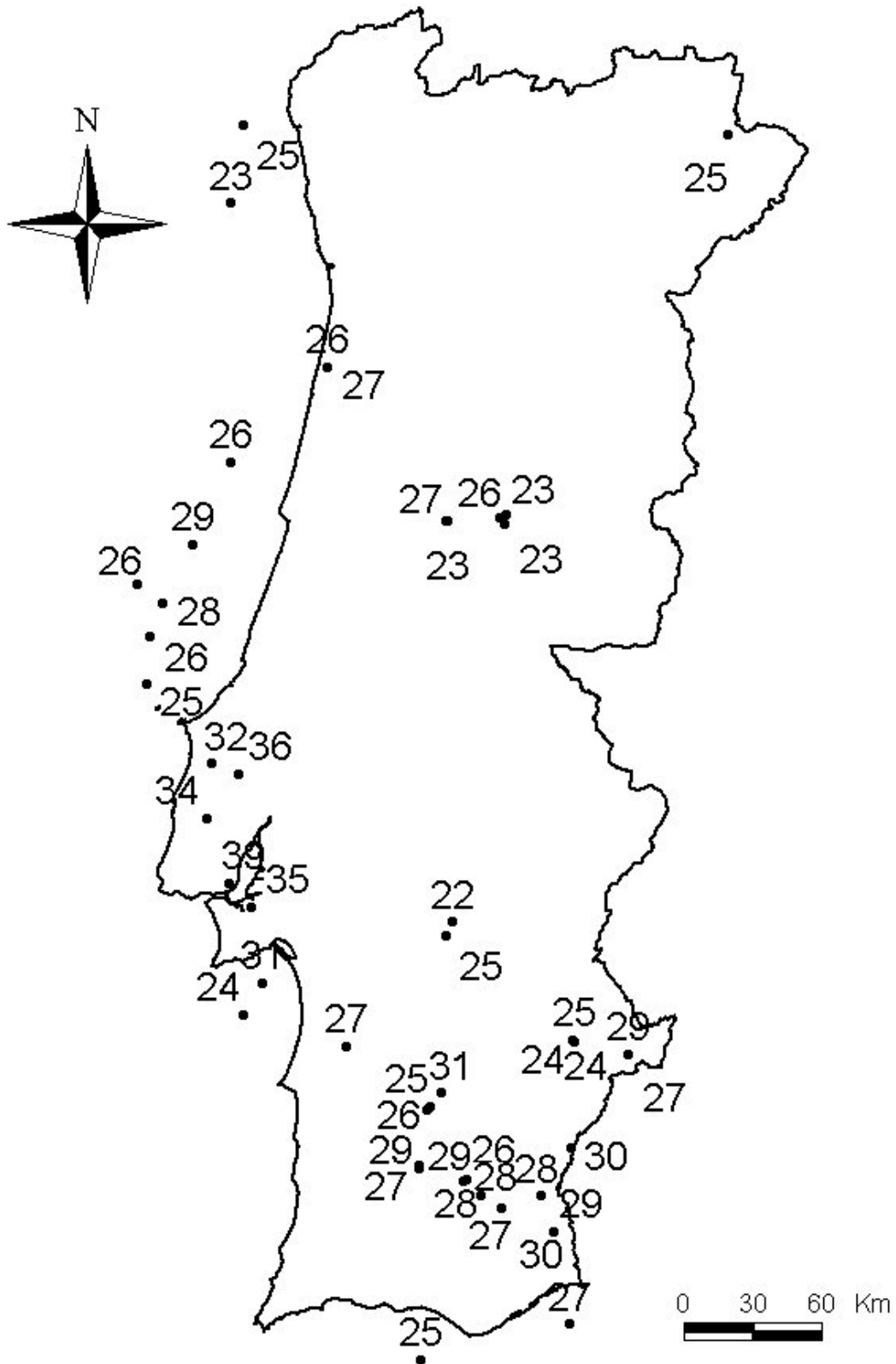


Figura 4 - Temperatura a 500 metros de profundidade em Portugal Continental (°C).

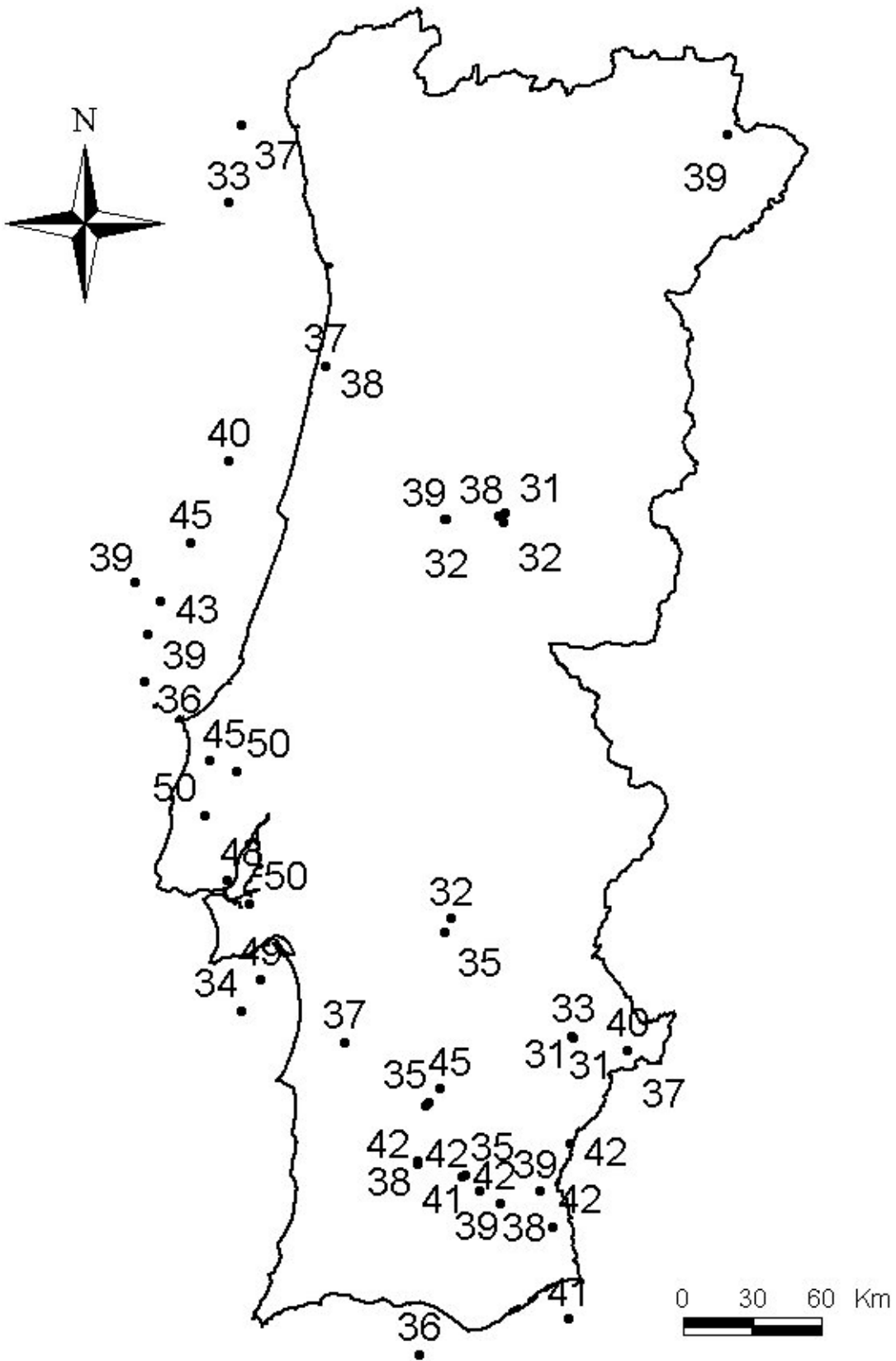


Figura 5 - Temperatura a 1000 metros de profundidade em Portugal Continental (°C).

6. CONSIDERAÇÕES FINAIS

De um total de cerca de 90 furos medidos ao longo de várias décadas, apenas 47 se revelaram adequados para estimar a DFC, seguindo os critérios apontados neste trabalho. No entanto, este número tem vindo a aumentar e novas determinações da DFC serão alvo de actualização em tempo oportuno.

Alguns dos valores de densidade do fluxo de calor à superfície agora publicados e, conseqüentemente, das temperaturas obtidas para diferentes profundidades, são consideravelmente diferentes dos valores apresentados no “Atlas of Geothermal Resources in the European Community, Austria and Switzerland” (Haenel *et al.*, 1988) o que resulta de nos primeiros se ter recorrido à utilização de critérios mais apertados de avaliação da qualidade dos dados geotérmicos. Este trabalho resume esses critérios de selecção que foram utilizados no processamento dos dados geotérmicos incluídos na nova edição do Atlas dos recursos Geotérmicos da Europa (Correia *et al.*, 2002). Apesar da eliminação de alguns valores anómalos ter acontecido com base em dados recolhidos em furos medidos anteriormente a 1996 e recuperados com fins geotérmicos, a sua publicação foi posterior a essa data (Correia and Ramalho, 1998; Fernández *et al.*, 1998). Este facto levou os autores a assumir que o processamento aqui descrito se revelou positivo e que os critérios estabelecidos para a selecção de furos se revelaram adequados, passando a ser utilizados conjuntamente para a Península Ibérica. Um dos aspectos mais salientes da utilização dos critérios descritos conduziu à eliminação de uma anomalia geotérmica localizada na região Alentejana, a qual não foi, entretanto, corroborada por outros métodos de prospecção geofísica utilizados e que se encontram descritos com algum detalhe em Correia e Jones (1997) e Correia e Ramalho (1998).

No entanto, os dados rejeitados segundo aqueles critérios poderão – e deverão – ser objecto de uma reavaliação à medida for sendo obtida mais informação geotérmica acerca desses furos.

Actualmente existe uma base de dados em desenvolvimento no antigo Instituto Geológico e Mineiro. Esta está em actualização permanente, o que permite ir preenchendo as lacunas de informação referentes aos furos existentes, e adicionar informação acerca de novos furos que, entretanto, for sendo recolhida. Esta base de dados pretende incluir todos os dados de interesse para geotermia de cada um dos furos medidos em Portugal Continental, estando disponível para todos os que pretendam utilizar esses dados para fins científicos. A base de dados seguiu o formato descrito em Ramalho (1999) e cumpre os padrões preconizados pela International Heat Flow Commission.

Finalmente, um outro aspecto descrito neste trabalho que se afigura de alguma importância consiste na elaboração de um esboço de classificação da qualidade das estimativas de DFC. Com esta sugestão de classificação, baseada nos critérios de rejeição de furos utilizados pelos autores, um possível utilizador da DFC estimada por outros, poderá, assim, considerar individualmente cada valor estimado, tendo uma noção da sua qualidade e optar por incluí-lo ou não no seu trabalho, consoante o rigor pretendido.

AGRADECIMENTOS

Este artigo contém parte da informação enviada pelo extinto IGM para o Niedersachsishes Landesamt für Bodenforschung (Geological Survey) Geowissenschaftliche Gemeinschaftsaufgaben (NLfB-GGA) de Hannover para integrar a contribuição portuguesa no “Atlas of Geothermal Resources in Europe”, Projecto nº JOU2-CT93-0298, DG12 WSME. Os autores desejam agradecer a todos aqueles que contribuíram e colaboraram na execução do mesmo projecto. Uma especial palavra de apreço para a Prof. Doutora M. Rosa Duque, a Dra. Susana Camelo e o Dr. Luís C. Almeida, entretanto falecido, sobre cujos dados iniciais incidu este trabalho.

REFERÊNCIAS

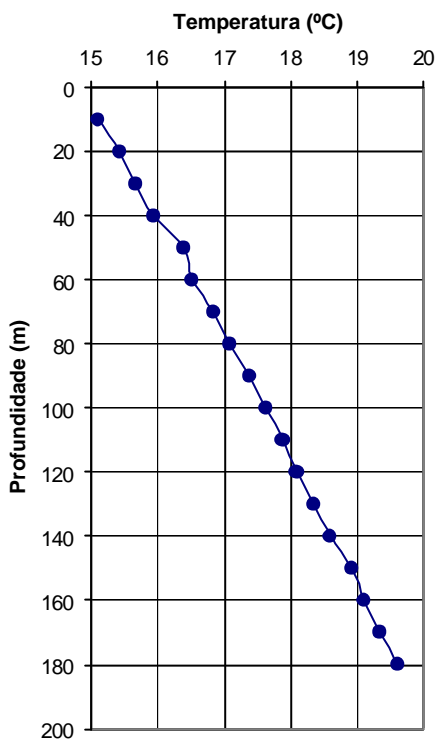
- ALMEIDA, L. C. (1992) – Prospecção geotérmica - Determinação de gradientes geotérmicos em furos de sonda. *Boletim Informativo do INMG*.
- ALMEIDA, L. C. (1993) – Prospecção geotérmica - Cálculo de condutividades térmicas em amostras de rochas. *Boletim Informativo do INMG*. 7p.
- CAMELO, S. M. (1987,a) – Analysis of bottom-hole temperature and preliminary estimation of heat flow in Portuguese sedimentary basins. *Revista Brasileira de Geofísica*. V.5, pp.139-142.
- CAMELO, S. M. (1987,b) – Fluxo de calor terrestre de Portugal Continental. Relatório Interno do INMG.
- CERMAK, V. and RYBACH, L. (1982) – Thermal conductivity and specific heat of minerals and rock. In: G. Angenheister (Editor), Landolt-Bornstein Numerical Data and Functional Relationships in Science and Technology. *New Series, Group V*, vol. 16, Springer-Verlag, Berlin.
- CORREIA, A. (1995) – Determinação da produção de calor em amostras rochosas. Aplicação a amostras portuguesas, *Comunicações do Instituto Geológico e Mineiro*, tomo 81, 39-46.
- CORREIA, A. and JONES, F.W. (1997) – On the existence of a geothermal anomaly in southern Portugal, *Tectonophysics*, 271, 123-134.
- CORREIA, A. and RAMALHO, E.C. (1998) – New heat flow density determinations in Southern Portugal: a geothermal anomaly revisited. *Tectonophysics*, nº 291, pp.55-62.
- CORREIA, A., JONES, F.W., DAWES, G.K. and HUTTON, V.R.S., 1993 – A magnetotelluric deep crustal study in south-central Portugal, *Studia Geophysica et Geodaetica*, 37, 331-344.
- CORREIA, A., RAMALHO, E., RODRIGUES DA SILVA, A. M., MENDES-VICTOR, L. M., DUQUE, M. R., AIRES-BARROS, L., SANTOS, F.M. and AUMENTO, F. (2002) – Portugal – In: Atlas of Geothermal Resources in Europe (Eds: Suzanne Hurter and Ralph Haenel), GGA, Hannover, Germany. 92p., 89 plates. pp.47-49. ISBN92-828-0999-4.
- CORREIA, A., DUQUE, R., MACIEL, C., CAMELO, S., ALMEIDA, L.C. e MENDES VICTOR, L. A. (1982) – Primeiras determinações do fluxo de calor em Portugal. *INMG, Boletim Informativo nº56*, pp.3-13.
- CORREIA, A., MENDES-VICTOR, L. and ESPÍRITO SANTO, V. (1988) – Portuguese Contribution for the Atlas of Geothermal Resources in the European Community, Austria and Switzerland. Haenel, R. and Staroste, E. (Eds) *Verlag Th. Schaefer, Hannover*. 74pp. 110 plates.
- DOWDLE, W. C. and COBB, W. M. (1975) – Static formation temperature from well logs - an empirical method. *Journal of Petroleum Technologies*. Nº27, pp.1326-1330.

- DUQUE, M. R. (1987) – Geothermal heat flow anomalies caused by thermal conductivity contrast. *Revista Brasileira de Geofísica*. V.5, pp.111-115.
- DUQUE, M. R. (1991) – Contribuição do fluxo de calor para a caracterização da litosfera na região do Alentejo. Tese de Doutoramento. Universidade de Évora, 130p..
- DUQUE, R. and MENDES-VICTOR, L. A. (1993) – Heat flow and deep temperature in South Portugal. *Studia Geoph. et Geod.* V.37, pp.279-292.
- FERNANDÈZ, M., ALMEIDA, C. and CABAL, J. (1995) – Heat flow and heat production in Western Iberia. *Proceedings of World Geothermal Congress'95*, v. 2, pp. 745-749.
- FERNANDÈZ, M., MARZAN, I., CORREIA, A. and RAMALHO, E. C. (1998) – Heat flow and lithospheric regime in the Iberian Peninsula. *Tectonophysics*, nº 291, pp.29-53.
- HAENEL, R., LEGRAND, R., BALLING, N., SAXOV, S., BROW, K., GOBLE, R., MEUNIER, J. FANELLI, M., RORI, A., SOLOMONE, M., TAFFI, L., PRINS, S., BERLEY, A. J., EDMUNDS, W. M., OXBURGH, E. R., RICHARDSON, S. W. and WHEILDON (1980) – Atlas of Subsurface Temperature in the European Community, Th. Schafer Druckerei GmbH, Hannover, 36 p., 43 maps.
- RAMALHO, E. C. (1999) – O "Atlas de Recursos Geotérmicos da Europa" como impulso da inventariação da informação geotérmica existente em Portugal Continental', *Actas do Encontro sobre Sistemas de Informação Geográfica e Geológica de Base Regional, 23 Setembro 1999, Beja, Painel 1 - Projectos Europeus e Transfronteiriços*, pp1.41-1.44.
- RYBACH, L. and CERMAK, V. (1982) – Radioactive heat generation in rocks. In: G. Angenheister (Editor), *Landolt-Bornstein Numerical Data and Functional Relationships in Science and Technology. New Series, Group V*, vol. 1a, Springer-Verlag, Berlin, pp. 353-371.

ANEXO

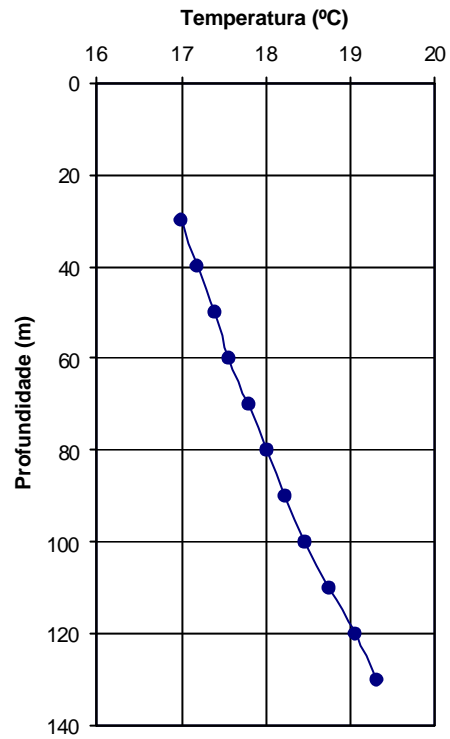
Os logs de temperatura em profundidade dos furos 11 (CD1), 20 (CV) e 23 (NG1) não se encontram no anexo.

SA4



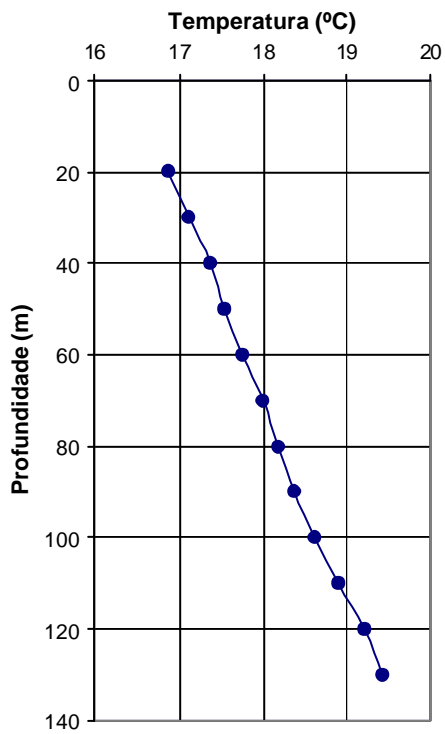
1

ACCP5



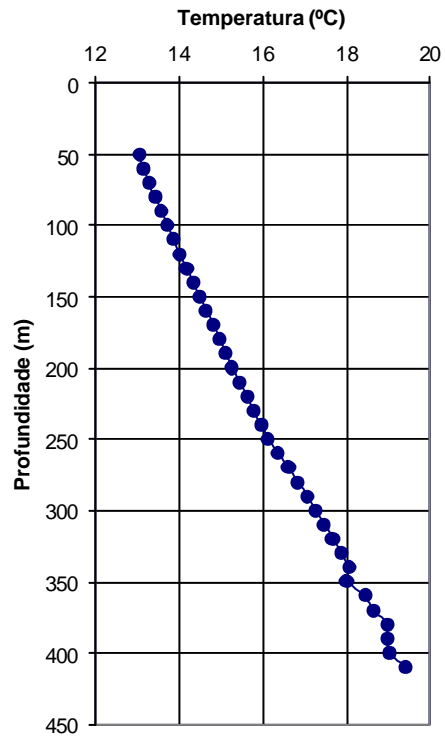
2

ACCP4



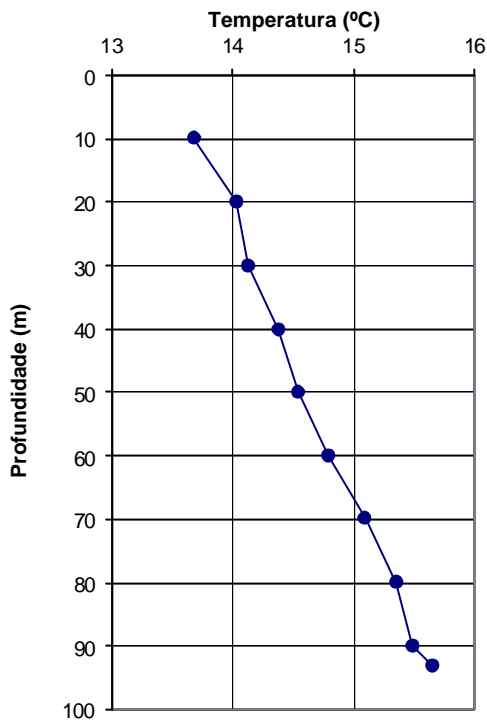
3

MP



4

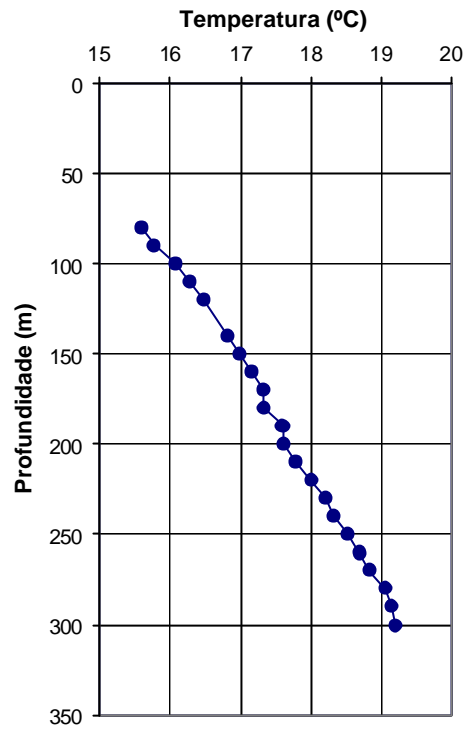
S7



5

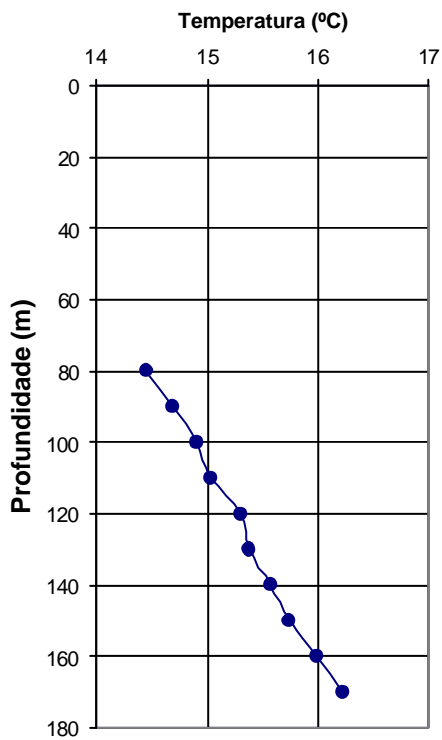
CP6

S13

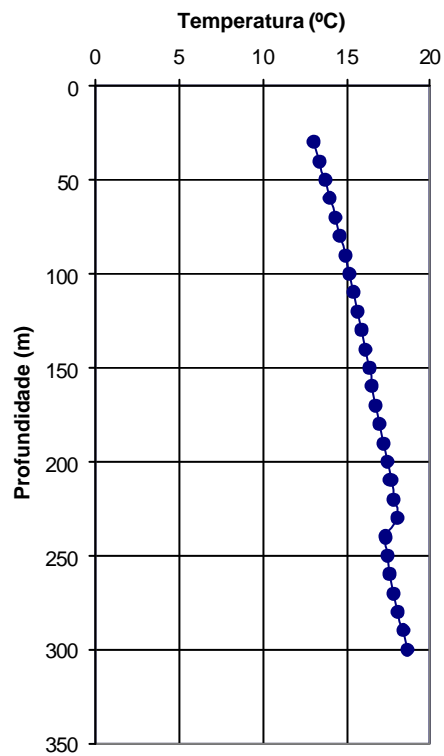


6

CP7

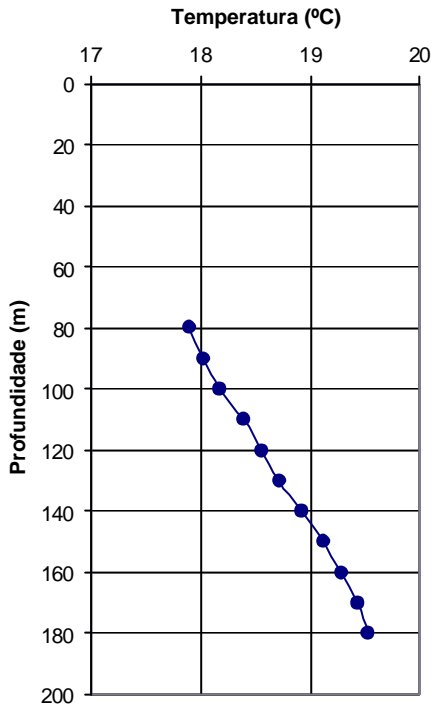


7



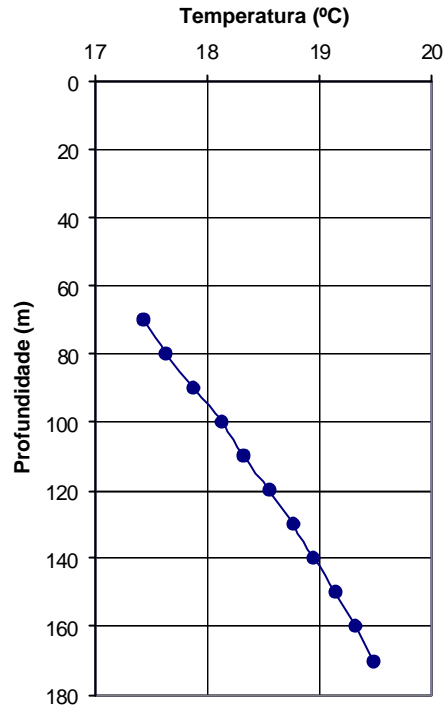
8

TI54



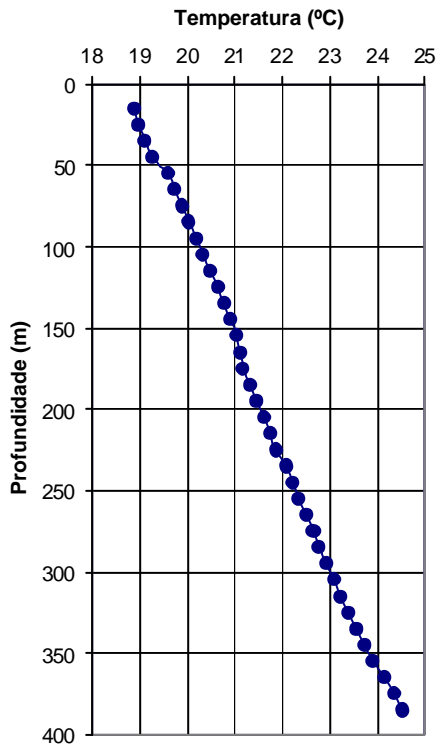
9

TI14



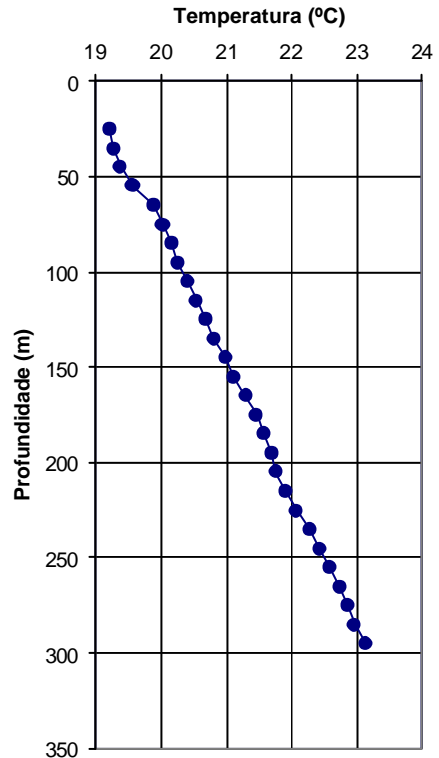
10

SDM-10



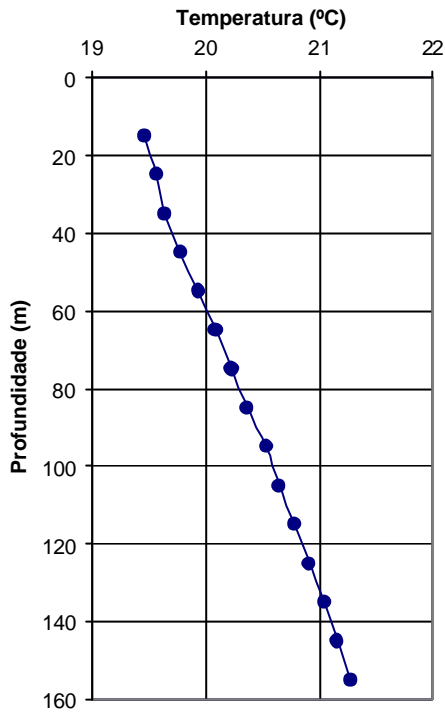
12

SDM5



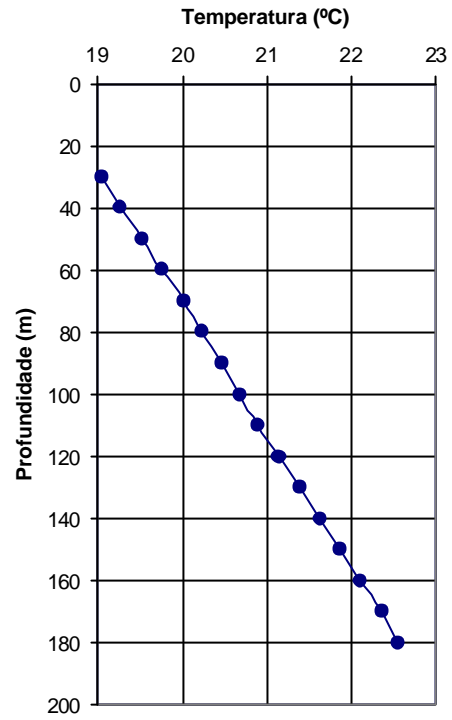
13

SDM8



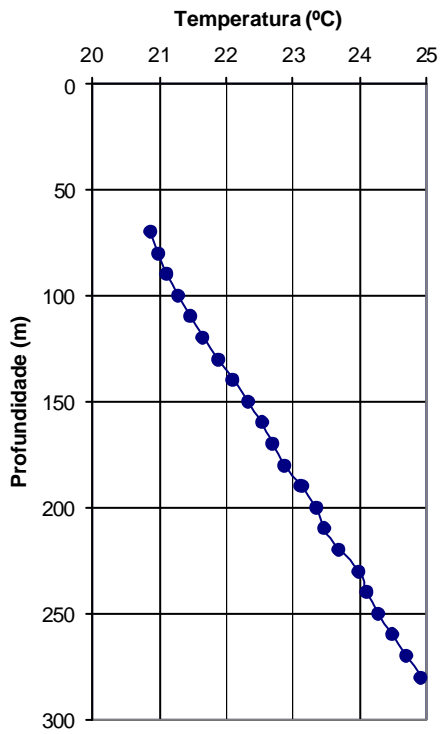
14

SDSA-2



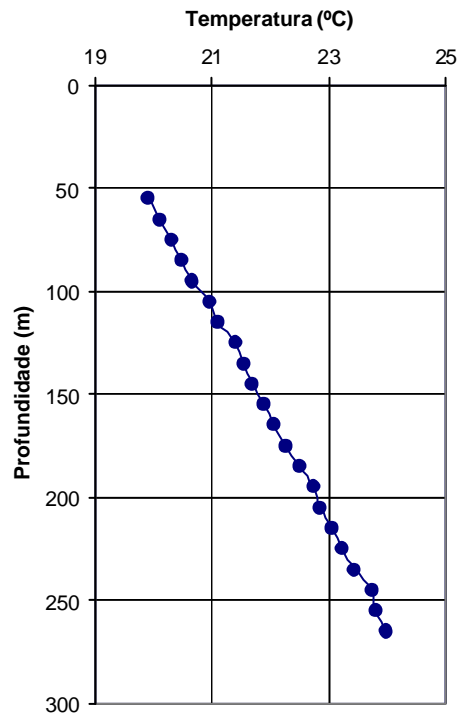
15

SDSA-3



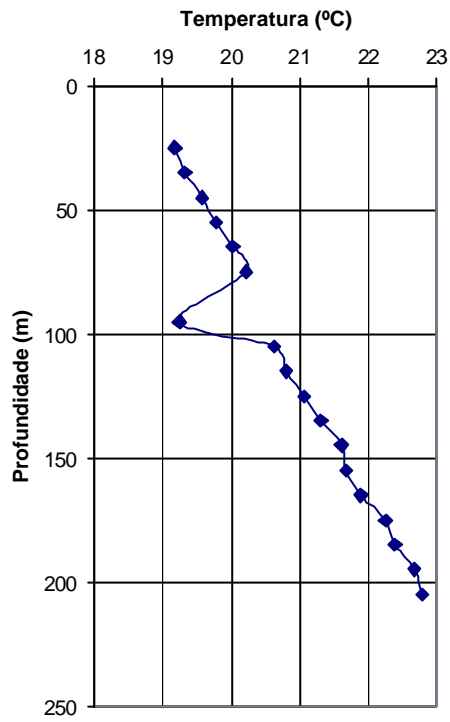
16

FS26



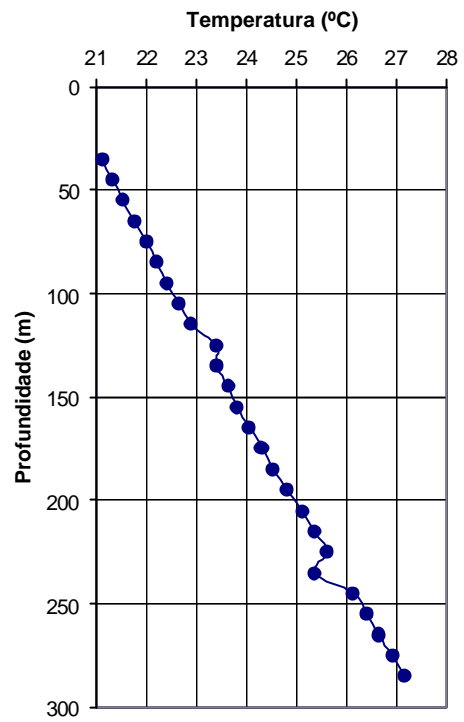
17

FS25



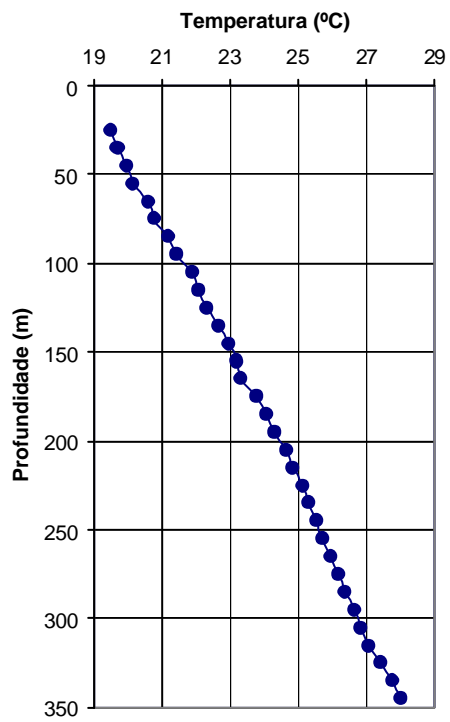
18

CH1



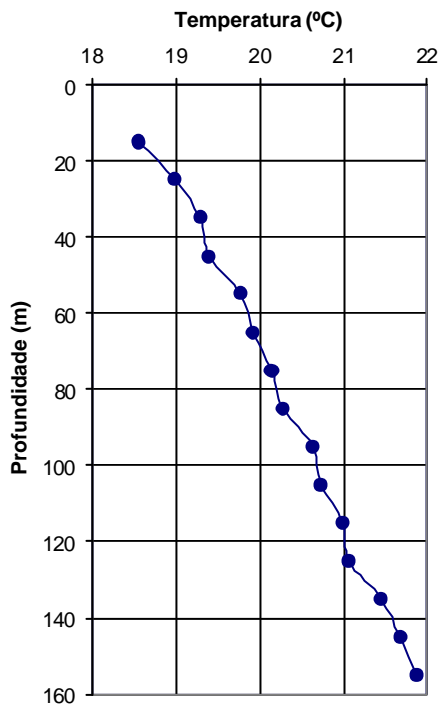
19

OT1



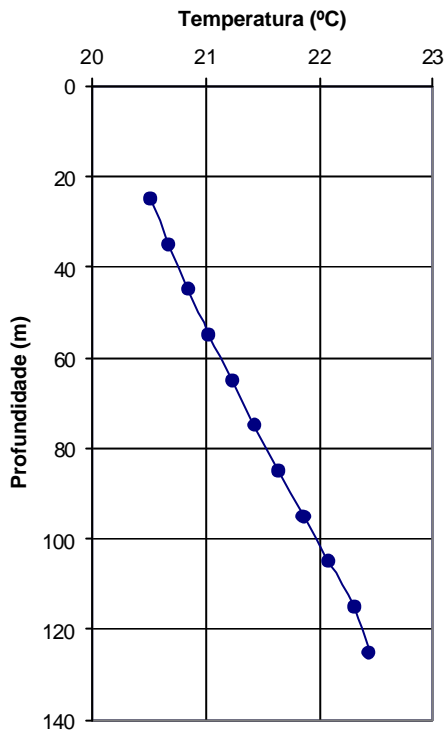
21

AL1



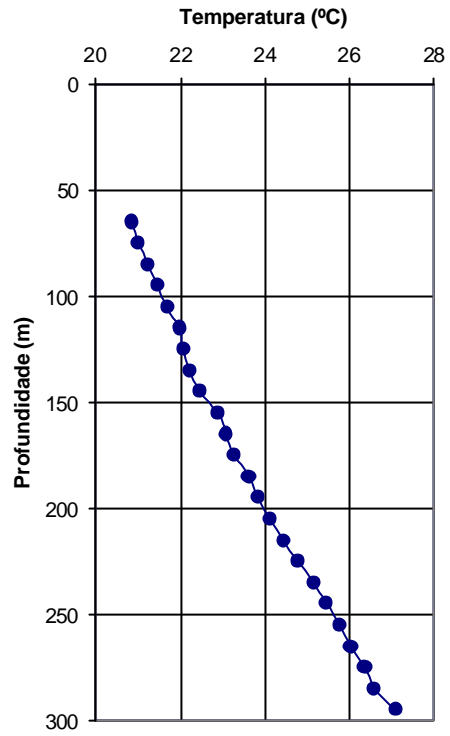
22

NE26



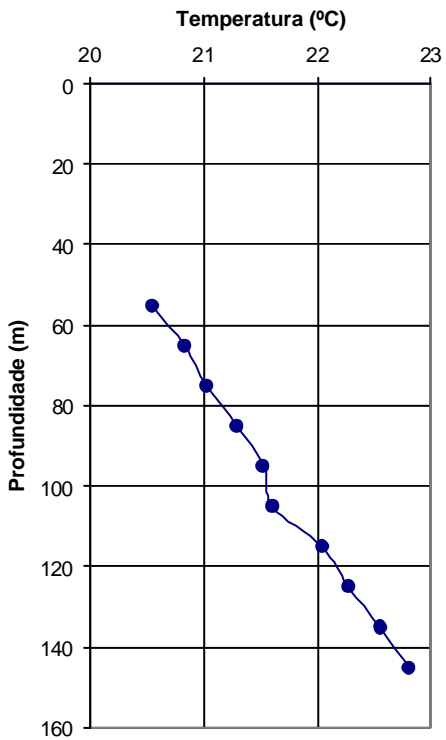
24

NE6



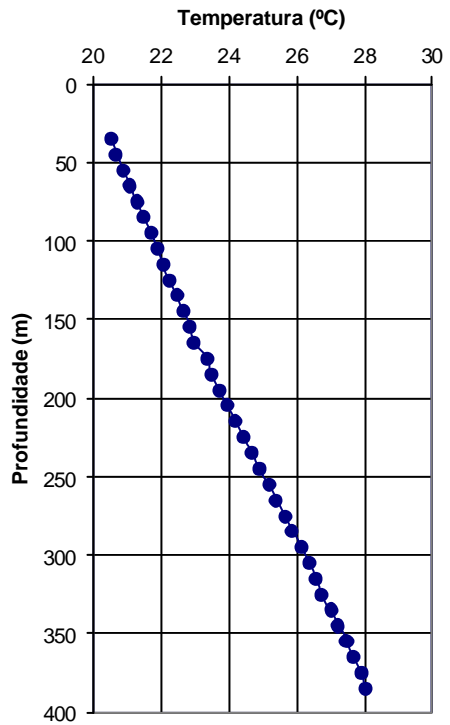
25

NE4



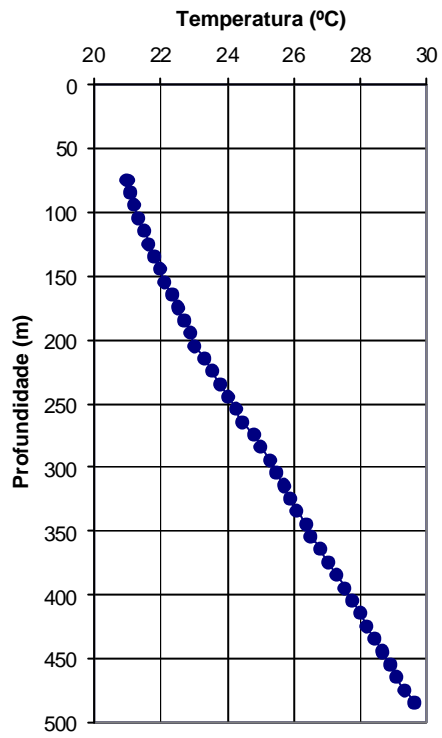
26

VC1



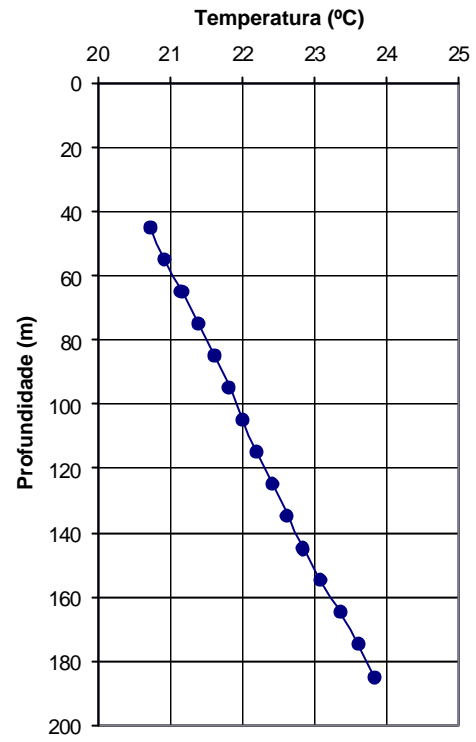
28

PN2



29

CST1



30