

Recursos geotérmicos e seu aproveitamento em Portugal

Geothermal resources and applications in Portugal

MARTINS CARVALHO, J.¹ e CARVALHO, M. R.¹

Abstract

Geothermal energy can be used under a number of several technologies, depending on its occurrence and namely on the configuration of consumers. Nowadays, geothermal operations can be divided in the following basic categories: (i) Electricity production, (ii) Direct uses, (iii) Geothermal heat pumps (GHP), and (iv) Hot Dry Rock and related Enhanced Geothermal Systems. The geology of Portugal determines different conditions for geothermal energy occurrences. In the mainland, where crystalline rocks outcrop over 60% of the area, thermal waters are related with active faulting. Twenty-seven springs have discharge temperatures between 25°C and 75°C and are used in balneotherapy. Three small, low enthalpy operations for direct use at existing hotels are operating normally, and a dozen of feasibility studies already carried out demonstrate adequate conditions for further operations. In the sedimentary basins, particularly in the Lisbon area where important heat consumers are located, Lower Cretaceous reservoirs with temperatures up to 50°C are adequate for small multipurpose geothermal operations, but technical and economical difficulties are known. The already studied potential for developing geothermal heat pumps over proven aquifers is high all over the country. However, no reports are available on the application of this technology. In the volcanic Azores Archipelago, the geological and market conditions allow high enthalpy electricity producing operations in some islands. In S. Miguel, the largest island, one plant operates regularly since 1980 and a second after 1994. The total production capacity of 3+13MWt is installed. At Terceira Island a drilling campaign is in due course aiming to install 12 MWt.

Key words: Portugal, thermal springs, geothermal projects, direct use, electricity production.

(1) Departamento de Geociências da Universidade de Évora, Apartado 94, 7001 Évora, Portugal. E-mail: martinscarvalho@mail.telepac.pt

1. GENERALIDADES

Em Portugal, após o primeiro choque petrolífero de 1973, tem-se falado dos recursos geotérmicos do País. No entanto, o respectivo aproveitamento continua em estado embrionário. Por isso, urge dinamizá-lo dentro das limitações do respectivo potencial que está praticamente reconhecido. O primeiro autor [JMC] teve a honra de pertencer ao Grupo Temático de Geotermia, do Fórum das Energias Renováveis em Portugal, organizado em 2001/2002 pela ADENE – *Agência para a Energia*. Do trabalho de todos os grupos temáticos, coordenados pelo Doutor Hélder Gonçalves, resultou a edição de um relatório síntese (ANON., 2001) e do volume final (GONÇALVES *et al.*, 2002) que inclui o material coligido e aponta as medidas, que na óptica dos membros do Fórum, devem ser lançadas para dinamizar o sector das Energias Renováveis em Portugal.

2. UMA PERSPECTIVA GLOBAL

A geotermia poderá ser encarada como o conjunto das ciências e técnicas que estudam e exploram o calor terrestre. A energia geotérmica tem origem no interior da terra, verificando-se que, em termos médios, a temperatura aumenta, em profundidade, de cerca de 33°C por km. Porém, devido à heterogeneidade da crosta terrestre, existem zonas anómalas do ponto de vista do gradiente geotérmico. O aproveitamento económico deste calor pode ser realizado na produção de energia eléctrica, para aquecimento do ambiente, de águas e em vários processos industriais.

A utilização ideal da energia geotérmica é em cascata, a temperaturas progressivamente mais baixas, até cerca dos 20°C. Este esquema de utilização foi desenvolvido por LINDAL (1973), na sequência do primeiro choque petrolífero, e está representado no chamado Diagrama de LINDAL (Figura 1).

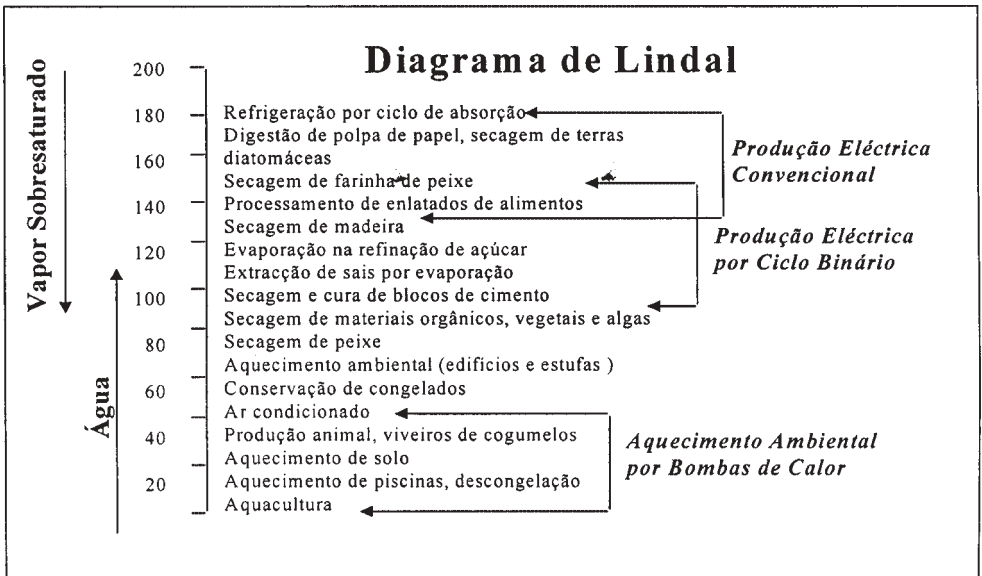


Figura 1. Utilizações da energia geotérmica (adaptado de LINDAL, 1973).

A balneoterapia, com longa tradição em Portugal, permanece como a utilização mais conhecida desta forma de energia. Mais modernamente a geotermia tem alargado os seus domínios com a utilização de bombas de calor, no caso das utilizações directas, e com a utilização de centrais de ciclos binários, no caso da produção de energia eléctrica.

As tendências actuais da geotermia à escala mundial, numa perspectiva industrial, são seguidamente resumidas.

2.1 A geotermia tradicional

• *Geotermia de alta entalpia*

A geotermia de alta entalpia é a aplicação geotérmica com mais visibilidade e, porventura, mais importante em termos económicos. Trata-se da produção de electricidade a partir do vapor de água de origem geotérmica, em centrais com turbinas a vapor e unidade de condensação, assim como a partir do vapor e da água em centrais binárias. Os primeiros ensaios para produção de energia eléctrica remontam a 1904 e foram realizados em Larderello (Itália).

Actualmente, são produzidos 50 TWh_e (eléctricos) anuais, distribuídos por vinte e um países diferentes em quatro continentes, sendo a potência total instalada de 8 GW_e. Os Estados Unidos da América, que possuem o mais importante campo geotérmico do mundo nos "Geysers", são o primeiro país produtor com 15 GTWh_e anuais. Vêm de seguida as Filipinas, com mais de 9 TWh_e e a Itália com 4,5 TWh_e. A produção mundial da energia geotérmica cresceu a um ritmo anual de 17% durante os últimos cinco anos, principalmente nos países

asiáticos. Prevê-se que no ano 2005 a potência total instalada seja de 11,4 GW_e, correspondente a um crescimento de 43 %. Actualmente são produzidos, em sete países da Europa, 5,8 TWh_e por ano, sendo a potência total instalada de 1 GW_e.

Em Portugal a exploração geotérmica de alta entalpia desenvolve-se na Ilha de S. Miguel (Açores), no Campo Geotérmico da Ribeira Grande, situado na vertente norte do Maciço Vulcânico de Água de Pau/Fogo. As duas centrais geotérmicas aí instaladas disponibilizam, anualmente, cerca de 105 GWh_e à rede eléctrica da ilha. Deste modo, contribuem, aproximadamente, com 40% da estrutura de produção eléctrica da ilha, o que representa cerca de 20% da produção do arquipélago. O Projecto Geotérmico foi já alargado à ilha Terceira onde estão a ser executados furos de avaliação/produção.

Nos últimos anos assistiu-se ao rápido crescimento da produção de electricidade a partir de fluidos geotérmicos de baixa entalpia, através de sistemas com centrais binárias. Contrariamente às centrais geotérmicas convencionais, onde as turbinas são accionadas directamente pelo vapor geotérmico, neste tipo de centrais as turbinas são accionadas pelo vapor de um fluido intermédio, com temperatura de vaporização inferior à da água. Este fluido é aquecido por permutação com as duas fases do fluido geotérmico. O uso do fluido intermédio, permite uma maior rentabilidade do processo em aplicações na gama inferior de temperaturas do segmento de alta entalpia. Cerca de 50% das centrais geotérmicas instaladas no mundo utilizam já a tecnologia binária.

• **Geotermia de baixa entalpia**

Os aproveitamentos da geotérmica de baixa entalpia são muito antigos e conhecidos, sendo particularmente difundida a sua aplicação em balneoterapia. Esta forma de geotermia utiliza directamente o calor da terra presente nos fluidos, em diversas aplicações tais como: como aquecimento de casas, de piscinas, de estufas e outras numerosas aplicações industriais, que são tipificadas no Diagrama de LINDAL (1973, Figura 1). Estas aplicações são mais difíceis de quantificar termicamente, excepto quando se trata de grandes redes de calor como é o caso, por exemplo, de algumas explorações na bacia de Paris (França) e em Ferrara (Itália).

Estima-se que a potência instalada no mundo, para aproveitamento da geotermia de baixa entalpia, alcance cerca de 17 GW_t, permitindo a produção anual de 54 TWh_t, em cinquenta e cinco países (BRÉNIÉRE *et al.*, 2001). Os principais países onde esta tecnologia é mais desenvolvida são os Estados Unidos da América, a China e a Islândia. A potência instalada na Europa atinge cerca de 6 GW_t, permitindo a produção anual de 22 TWh_t em vinte e oito países.

Em Portugal funcionou de 1992 a 2002 o projecto geotérmico do Hospital da Força Aérea no Lumiar (J.M. CARVALHO, 1998), com a potência de 0,6 MW_t, obtida a partir de um furo com 1500m de profundidade (temperatura de 50°C à cabeça da captação). Outros projectos menos voluntaristas estão, também, em funcionamento nas termas de Chaves, de Vizela e de S. Pedro do Sul (Portugal Norte e Central).

A tecnologia actual permite que se produza electricidade a baixa temperatura, a

partir de fluidos da ordem de 100°C, como os que se encontram em bacias sedimentares profundas ou em certas áreas de rochas cristalinas.

2.2 A nova geotermia

A nova geotermia refere-se a uma tecnologia que aproveita a energia geotérmica contida nos aquíferos — hidrogeologia energética — ou em formações geológicas superficiais, recorrendo a bombas de calor energia. Estas bombas permitem o desenvolvimento de sistemas de aquecimento e climatização a partir de aquíferos ou de rocha, através de permutadores instalados no subsolo. Actualmente, é corrente a utilização de bombas de calor reversíveis, correntemente designadas por Bombas de Calor Geotérmicas (BCG, ou '*Geothermal Heat Pumps*' – GHP), em Países como os Estados Unidos da América, Canadá, Suíça, Suécia, Alemanha e França.

A capacidade de produção instalada à escala mundial é de 6,6 GW_t, sendo a energia produzida da ordem de 6,5 TWh_t (LUND, 2001). Citando apenas dois exemplos desta tecnologia, na Suíça existe, em média, uma BCG por cada 2km² e nos Estados Unidos da América são realizadas cerca de 50 mil novas instalações cada ano (RYBACH, 1991). A capacidade instalada na Europa, em vinte e dois países, é de cerca de 1,5 GW_t, sendo a energia produzida da ordem de 2,8 TWh_t. Em Portugal desconhecemos aplicações consistentes desta tecnologia, salvo no Lar de Idosos do Instituto Social das Forças Armadas em Oeiras (área metropolitana de Lisboa). J.M. CARVALHO & DUQUE (1982) referiram-

na há já quase vinte anos, quando começava, então, a ser difundida na Europa.

Conhecem-se algumas pequenas aplicações no armazenamento de calor e frio em aquíferos com bombas de calor reversíveis. Esta tecnologia poderá desenvolver-se a grande escala, eventualmente associada a unidades de incineração de resíduos urbanos, salvaguardadas as questões ambientais, ou em conjunto com a energia solar.

2.3 A Geotermia do futuro

A geotermia de futuro desenvolve-se a partir de vários modelos conceptuais que receberam inicialmente a designação genérica de 'Hot Dry Rock' (HDR). O objectivo era a extracção de calor de rochas cristalinas a profundidades elevadas (4 a 5km), sendo para isso criado um sistema de permutação artificial por fracturação hidráulica.

Os primeiros projectos mostraram que eram encontrados geofluidos, mesmo a profundidades muito elevadas. Tornou-se, então, claro que a geotectónica e as condições naturais existentes jogavam um papel mais importante do que o inicialmente suposto, passando a ser tidas em conta no dimensionamento dos actuais projectos. Não há, assim, um único conceito, mas vários, adaptados às condições próprias de cada região. É o caso do 'Hot Wet Rock' (HWR), do 'Hot Fractured Rock' (HFR) e do 'Enhanced Geothermal Systems' (EGS) (TENZER, 2001).

Projectos no âmbito desta tecnologia foram ou estão a ser realizados nos Estados Unidos da América (em Los Alamos), Reino Unido, França, Japão, Alemanha e Austrália. Um importante projecto está em curso (projecto Europeu HDR, actualmente HFR), desde 1987, em Soultz-sous-Forêts na

Alsácia, no 'graben' do Reno. Em 2001, começou a ser construída uma estação piloto com três furos de 5000m, sendo um de injeção e dois de produção, esperando finalmente demonstrar-se a viabilidade técnico-económica para a produção de electricidade.

Pode ainda configurar-se a longo, ou muito longo prazo, a utilização dos campos de geopressão e do acesso directo ao magma.

3. AGEOTERMIA EM PORTUGAL

Sínteses recentes dos recursos geotérmicos portugueses, numa perspectiva científica e técnica, estão disponíveis, entre outros, em: FORJAZ (1994), J.M. CARVALHO (1995, 1996a,b, 1998), M.R. CARVALHO (1999), AIRES-BARROS & MARQUES (2000) e COSTA & CRUZ (2000). Neste item descreve-se a situação actual Portuguesa, numa perspectiva de desenvolvimento industrial.

3.1 Recursos e realizações nas ilhas dos Açores e da Madeira

Conforme FORJAZ (1994, 2001) o conhecimento dos recursos geotérmicos dos Açores resulta de diversas campanhas de pesquisa, encaminhadas pelo Governo da Região Autónoma dos Açores, pela SOGEO — *Sociedade Geotérmica dos Açores, S.A.* — e pela GEOTERCEIRA — *Sociedade Geoelectrica da Terceira, S.A.* —, bem como de teses de doutoramento e projectos de investigação (e.g., FORJAZ, 1994; M.R. CARVALHO, 1999).

Foram executados estudos de geologia de superfície, de geoquímica, de geologia estrutural, de geofísica e de termometria em todas as ilhas dos Açores. Estes estudos conduziram à realização de vários furos de

avaliação e de produção na ilha de São Miguel, no flanco Norte do Vulcão do Fogo. Actualmente funcionam 5 furos de produção e um de reinjecção de parte do fluído rejeitado da central geotérmica da Lagoa do Fogo (Figura 2).

Nas ilhas, onde ainda não se executaram sondagens (FORJAZ, 1994, 2001) recorreu a critérios de correlação geoestruturais (i.e., áreas tectonizadas/MW_e) na avaliação das potencialidades geotérmicas.

No Arquipélago dos Açores, com excepção da ilha de Santa Maria, todas as outras encerram potencialidades geotérmicas, nos segmentos correspondentes a vulcanismo recente ou a sectores fortemente tectonizados. Em termos de geotermia tradicional e de acordo com estudos de FORJAZ (2001), no Arquipélago dos Açores estão inventariados 235 MW_e, distribuídos pelas

ilhas de S. Miguel, da Terceira, da Graciosa, do Pico, de S. Jorge, do Faial, das Flores e do Corvo (Quadro I). Apesar destes recursos, apenas existem os aproveitamentos indicados no Quadro II.

As necessidades eléctricas da ilha de S. Miguel são já supridas em 40% pela energia geotérmica. Uma central Das projecções efectuadas pela SOGEO e GEOTERCEIRA conclui-se que a contribuição da energia geotérmica na Ilha Terceira, em 2005, ultrapassará os 50% da quota de mercado, incrementando a quota geotérmica ao nível do arquipélago para um valor superior a 30%.

O aproveitamento térmico dos efluentes das centrais de produção eléctrica é incipientemente realizado no aquecimento de estufas, propriedade do INOVA (Instituto das Novas Tecnologias). Mas há estudos



Figura 2. Central geotérmica da Lagoa do Fogo, ilha de S. Miguel, Açores (SOGEO, S.A.).

Quadro I. Inventário dos recursos geotérmicos do arquipélago dos Açores (FORJAZ, 1994, 2001).

<u>S. Miguel</u>		MWe
(1)	<u>Vulcão das Furnas</u>	
	Caldeiras – Vale	45
	Zona da Lagoa	5
	Zona da Ribeira Quente	10
(2)	<u>Vulcão do Fogo</u>	
	Graben da Ribeira Grande	80
	Graben de Vila Franca	10
	Faixa Fogo – Congro	20
(3)	<u>Vulcão das Sete Cidades</u>	
	Graben dos Mosteiros	8
<u>Terceira</u>	(4)	MWe
	Vulcão do Pico Alto	15
	Graben das Lajes	5
	Vulcão de Santa Bárbara	5
<u>Graciosa</u>	(5)	MWe
	Graben de Guadalupe	5
<u>Pico</u>	(6)	MWe
	Graben da Madalena	5
	Graben da Lagoa do Capitão	5
	Graben das Lajes – São João	5
<u>S. Jorge</u>	(7)	MWe
	Queimada	8
<u>Faial</u>	(8)	MWe
	Graben dos Flamengos	8
	Faixa do Capelo	4
<u>Flores</u>	(9)	MWe
	Lajes	2,5
<u>Corvo</u>		MWe
	Fajã	1,0 [?]

em curso na Direcção Regional de Comércio, Indústria e Energia (DRCIE) para promover esse aproveitamento, primordialmente para fins turísticos.

A ocorrência de numerosas nascentes termais e fumarolas evidenciam um potencial geotérmico de baixa energia entalpia considerável em quase todas as ilhas onde existam consumidores adequados, com excepção da ilha de Santa Maria (Figura 3 e Quadro IV). A sua importância é maior nas ilhas de S. Miguel, Terceira e Graciosa. Em S. Miguel são reconhecidos aproveitamentos em balneoterapia desde o século XIX, no Vulcão das Furnas (FREITAS; 1840;

BULLAR & BULLAR, 1841; FOUQUÉ, 1872 in ACCIAIUOLLI, 1955; CRUZ *et al.*, 1999), Vulcão do Fogo (Figura 4, M.R. CARVALHO, 1999) e Vulcão das Sete Cidades (ACCIAIUOLLI, 1953). Apenas no Vulcão das Furnas se mantém actualmente um estabelecimento termal que explora a nascente da Caldeira Grande (Figura 5). No Faial existe o estabelecimento termal do Varadouro e na Graciosa o Carapacho. Está em lançamento pela DRCIE um projecto que inclui a inventariação sistemática de consumidores que possam beneficiar do potencial existente em várias ilhas para esse fim.

No arquipélago da Madeira os trabalhos de FONSECA *et al.* (2000) e de FORJAZ

Quadro II. Empreendimentos geotérmicos no arquipélago dos Açores.

Designação do Promotor	Utilização	Potência (MW)	Energia anual produzida ou substituída (GWh)	Estado do Aproveitamento
Central Geotérmica do Pico Vermelho – S. Miguel (SOGEO)	Produção de energia eléctrica	3 _x (*)	7	Em exploração
Central Geotérmica da Ribeira Grande – S. Miguel (SOGEO)	Produção de energia eléctrica	13	105	Em exploração
Central Geotérmica da Terceira (GEOTERCEIRA)	Produção de energia eléctrica	12	95	Sondagens em curso
Remodelação da Central Geotérmica do Pico Vermelho – São Miguel (SOGEO)	Produção de energia eléctrica	8 (**)	63	Em fase de construção
Estufas S. Miguel (INOVA)	Produção de vegetais e frutos tropicais	2,2	-	Em exploração
Secagem de Leite-S. Miguel (INSULAC)	Secagem de leite	2,4	-	Em fase de projecto
Termas das Furnas	Balneoterapia	?	-	Em exploração
Ferraria	Aquecimento de Piscinas	2	-	Em fase de avaliação

(*) Esta central opera a cerca de um terço da sua potência, devido a dispor apenas da contribuição de um poço de pequena secção.

(**) Prevê-se a substituição da actual central de Pico Vermelho por novos grupos geradores.

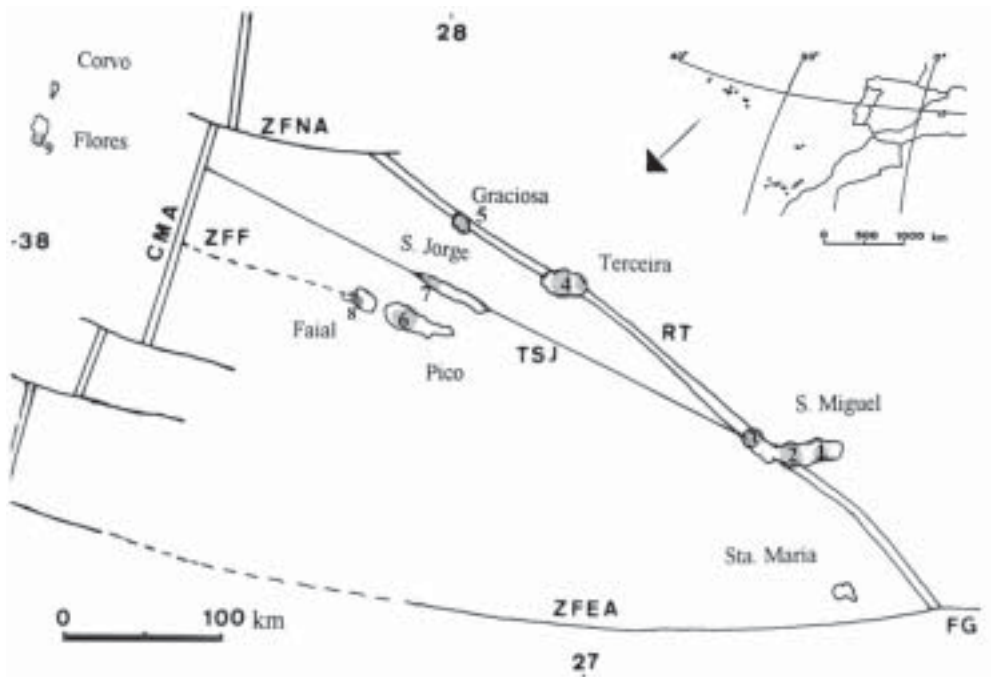


Figura 3. Localização de manifestações geotérmicas, fumarolas e nascentes termais no Arquipélago dos Açores. Elementos tectónicos da região dos Açores (adaptado de NUNES, 1991): RT-Rift da Terceira; TSJ-Transformante de S. Jorge; ZFNA-Zona de fractura norte dos Açores; ZFF-Zona de fractura do Faial; ZFEA-Zona de fractura Este dos Açores; FG-Falha da Glória; CMA-Crista Médio-Atlântica.

(2001) levam a supor que se encontra identificada uma pequena área geotérmica de baixa temperatura num túnel do Vale de São Vicente. Referem, também, a existência de alguns cones estrombolianos relativamente recentes, a SW do Funchal, com possíveis potencialidades geotérmicas.

Nos Açores e na Madeira está por fazer a inventariação sistemática dos sistemas geológicos e hidrogeológicos que podem servir de suporte a aplicações geotérmicas a muito baixa temperatura, isto é, de geotermia nova ou de aplicações não convencionais.

3.2 Recursos e realizações em Portugal Continental

Em Portugal Continental, no domínio da geotermia tradicional, da qual se excluem as altas temperaturas, o potencial geotérmico pode ser aproximado por três vias: a da existência de nascentes termais, a dos aquíferos profundos e a dos aquíferos à temperatura normal.

3.2.1 Nascentes termais

No Continente existem numerosas nascentes termais situadas em faixas tectonizadas, quer do Maciço Antigo, quer das faixas sedimentares ocidental e do

Quadro III. Ocorrências termo-minerais no arquipélago dos Açores.

Ilha :	Localidade	Temperatura (°C)
S. Miguel		
	V. Furnas (CRUZ <i>et al.</i>, 1999)	
	Caldeira Grande	92,2
	Água de Prata	31,5
	Caldeirão	75,2
	Terra Nostra I	40,6
	Terra Nostra II	38,8
	Caldeira Asmodeu	93,2
	Quenturas I	59,5
	Quenturas III	58,0
	Sanguinhal	38,2
	Grutinha II	40,9
	Torno	39,9
	V. Fogo (M.R. CARVALHO, 1999)	
	Caldeira Velha	52,2
	Ladeira da Velha	31
	V. Sete Cidades (ACCIAIUOLI, 1953)	
	Ferraria	62,5
Terceira		
	Biscoitos	
<hr/>		
Graciosa	(ACCIAIUOLI, 1953)	
	Carapacho	42
<hr/>		
Pico	Silveira	50 °C (em 1953), 19°C actual.
<hr/>		
Faial	Varadouro	40
<hr/>		
S. Jorge		
<hr/>		
Flores		
	Água Quente do Lajedo	
	Poio Moreno	
<hr/>		



Figura 4. Nascente de água termal no Maciço Vulcânico de Água de Pau (Vulcão do Fogo), na ilha de S. Miguel, Açores.



Figura 5. Nascente de água termal (Caldeira Grande) no Vulcão das Furnas (ilha de S. Miguel, Açores), com aproveitamento para balneoterapia.

Quadro IV. Recursos Geotérmicos de Portugal Continental associados a pólos com águas termais concessionadas, considerando uma temperatura de rejeição de 20°C (valores do ano 2000; in: D. CARVALHO, 2001).

Nº	Localidade	T máxima (°C)	Potência (kW _t)
1	Caldas de Monção	49	728
2	Caldas de Chaves	73	3 330 (*)
3	Caldelas	31	428
4	Gerês	46	98
5	Caldas das Taipas	31	335
7	Caldas de Vizela	50	475
8	Carlão	29	19
9	São Lourenço	32	100
10	Canaveses	30	29
11	Caldas de Moledo	46	2 080
12	Caldas de Aregos	63	1 356
13	Carvalhal	41	63
14	Cavaca	28	44
15	São Pedro do Sul	68	3 890 (*)
16	Alcafache	50	743
17	Caldas de Sangemil	48	762
18	Felgueira	36	379
20	Caldas de Manteigas	47	622
21	Unhais da Serra	40	850
23	Monfortinho	31	1 353
25	Caldas da Rainha	34	1 540
28	Termas dos Cucos	40	871
29	Termas do Estoril	30	771
29	SSFarmadas Oeiras	30	247
30	Hospital da Força Aérea (Lisboa)	49	610
33	Monchique	31	322
Potência Total (kW_t)			22 045

* De acordo com o Plano de Exploração aprovado pelo IGM – Instituto Geológico e Mineiro.

Algarve, e muitas suportam estabelecimentos termais (Figura 6).

Alguns estudos de viabilidade, promovidos pelo Programa THERMIE (Acção OPET 94/95-G16) em meados dos anos 90, do séc. XX, mostraram que o desenvolvimento de recursos geotérmicos de baixa energiaentalpia nas nascentes termais portuguesas é técnica e economicamente possível. Há locais, no Norte e Centro de Portugal, de alto potencial geotérmico como Aregos, Caldas da Rainha (Figura 7), Chaves, Manteigas, Monção, S. Pedro do Sul e Vizela,

entre outros. A maior limitação é a da pequena procura térmica geralmente existente.

ANON. (1998a) identificou 52 surgências com temperaturas superiores a 20°C. A temperatura mais elevada é medida em Chaves (76°C), havendo 17 nascentes com temperaturas superiores a 35°C. Nos últimos 30 anos tem sido realizado grande esforço de prospecção, pesquisa e captação nestes pólos (J.M. CARVALHO, 1995). Muitos destes pontos (Figura 8) onde já existem utilizações balneoterápicas, podem

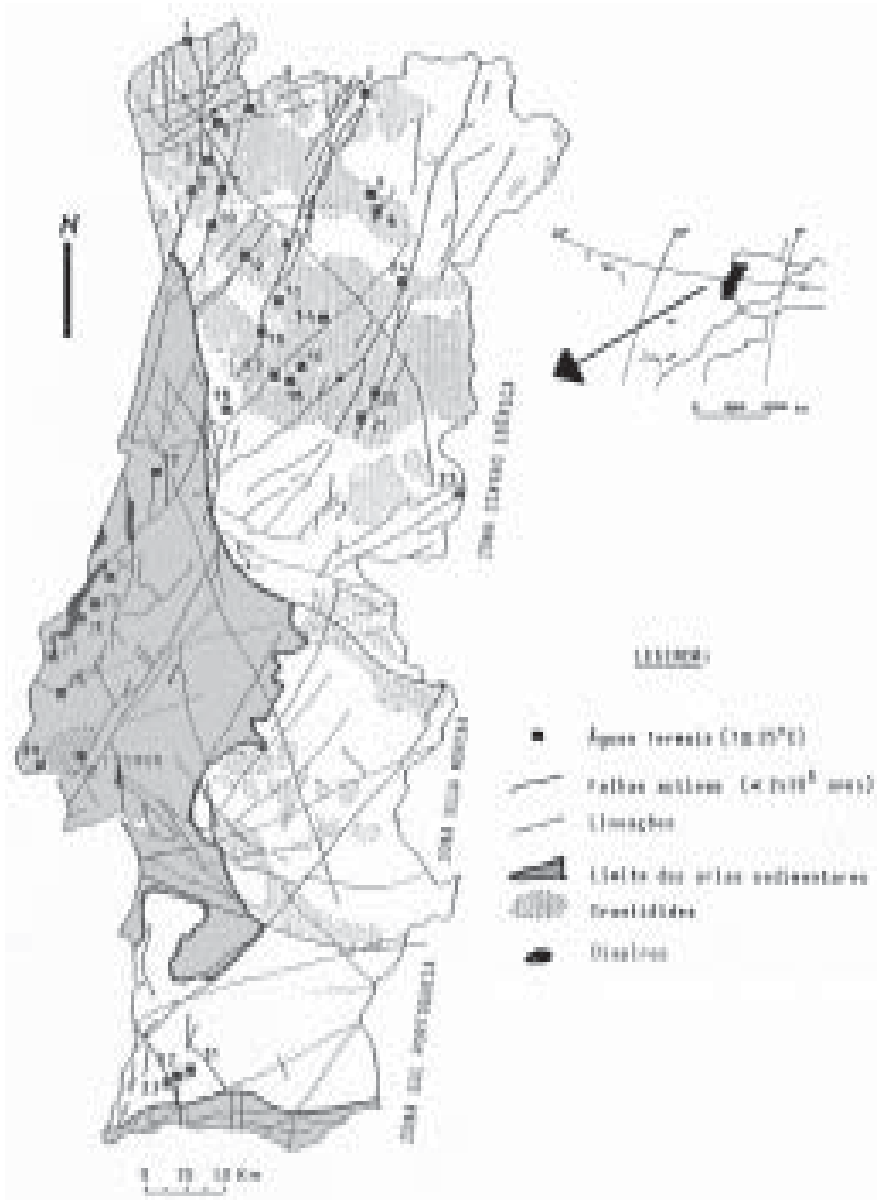


Figura 6. Localização de pólos termominerais em Portugal Continental.



Figura 7. Nascente principal da Estância Termal das Caldas da Rainha.

comportar pequenos a médios projectos de aplicação directa em cascata. É o caso de Monção, Vizela, Manteigas (entre outros) e Chaves e S. Pedro Sul onde estão em funcionamento, há vários anos, aplicações em aquecimento de hotéis, piscinas (Figura 9) e estufas.

O potencial total destes recursos de nascentes no Maciço Antigo, tomando como base J.M. CARVALHO (1995), é de cerca de 20 MW_t e a energiaenergia substituível é da ordem de $83,5 \text{ GWh}_t$. Os recursos disponíveis (os que resultam dos caudais de exploração em cada pólo), i.e., de sustentabilidade garantida, são de $7,183 \text{ ktep}$ enquanto que os recursos medidos em cada pólo (os que resultam dos caudais máximos extraídos em ensaios de caudal) são de

$18,675 \text{ ktep}$. As necessidades de aquecimento a médio prazo, nos locais considerados, são de cerca de $6,053 \text{ ktep}$ (J.M. CARVALHO, 1995), amplamente inferiores à oferta.

D. CARVALHO (2001) refere que o potencial geotérmico referente aos pólos de águas termais concessionadas (valores referidos a 2000), considerando uma temperatura de rejeição de 20°C , é de 22 MW_t (Quadro IV). Estudos inéditos e recentes do Instituto Geológico e Mineiro apontam para potências de cerca de 23 MW_t no conjunto das nascentes termais Portuguesas.

No Quadro V é apresentada uma síntese dos Projectos Geotérmicos Portugueses no Continente.



Figura 8. Prospecção de fluidos termominerais em Manteigas (Serra da Estrela, Portugal Central).

3.2.2 Aquíferos profundos

A ocorrência de águas termais descarregando naturalmente nas Orlas Sedimentares Portuguesas (Oeste e Sul) põe em evidência a existência de aquíferos profundos, provavelmente com potencial geotérmico considerável que, no entanto, é desconhecido.

A informação decorrente das sondagens petrolíferas tem dado informações sobre a distribuição dos gradientes geotérmicos nessas áreas. De um modo geral, pode afirmar-se que à profundidade de 1500 m, nas Orlas Sedimentares, as temperaturas rondam os 50 °C (RIBEIRO & ALMEIDA, 1981),

correspondendo a gradientes geotérmicos de cerca de 2,1°C/100 m. Os gradientes, no limite máximo, chegam a ultrapassar 3,5°C/100m (ANON., 1998b).

Uma das anomalias geotérmicas mais importantes (ANON., 1998b), situa-se exactamente sob a Península de Setúbal onde se localizam importantes aquíferos, reconhecidamente desde o Mio-Pliocénico até, pelo menos, ao Aptiano-Albiano. J.M. CARVALHO *et al.* (1990) referem que é de contar com temperaturas de 75°C a profundidades de cerca de 2800m na região de Lisboa, pois no Barreiro uma sondagem mostrou a existência de reservatórios satura-

Quadro V. Projectos geotérmicos em Portugal Continental.

Designação	Utilização	Potência instalada (MW _t)	Observações
Projecto Geotérmico do Hospital da Força Aérea no Lumiar (t= 50°C)	Produção de água quente sanitária, climatização e água potável	0,6	Em exploração de 1992 a 2002. Actualmente inactivo.
Lar de Idosos das Forças Armadas em Oeiras (t= 30° C)	Produção de água quente sanitária e climatização com bomba de calor	0,2	Em exploração
Termas de Chaves (t= 76°C)	Produção de água quente sanitária, climatização e estufas	3,3	Em exploração
Termas de S. Pedro do Sul (t= 68 °C) (Pólo das Termas)	Produção de água quente sanitária, climatização e estufas	4	Em exploração
S. Pedro do Sul/Vouzela (Pólo do Vau)	Produção de água quente sanitária e climatização	4	Aguarda acordo entre as Câmaras de S. Pedro do Sul e de Vouzela
Caldas de Manteigas	Produção de água quente sanitária e climatização e aquecimento de piscinas	1	Concluído o estudo de viabilidade
Caldas de Monção	Produção de água quente sanitária e climatização e aquecimento de piscinas	1	Concluído o estudo de viabilidade
Caldas de Vizela	Aquecimento de um Hotel, piscinas (ar e ambiente) e água quente sanitária	1	-
Termas do Carlão (t= 29 °C)	Estufas	0,02	Abandonado pelo concessionário

dos com águas com 5g/l de cloretos e temperaturas dessa ordem de grandeza, a essa profundidade.

Uma avaliação do potencial geotérmico dos aquíferos do Aptiano-Albiano e Valanginiano da bacia de Lisboa está contida no Atlas dos Recursos Geotérmicos da Europa (CEC, 1988). A avaliação foi realizada com base na área e espessura de aquífero pelo critério de MUFLER & CATALDI (1978). O recurso identificado, vulgo, recurso, foi avaliado em 1×10^{18} J. O Projecto Geotérmico do Hospital da Força Aérea no Lumiar parece ser representativo das condições ocorrentes na zona de Lisboa até profundidades de 1500m.

A versão actualizada do Atlas Geotérmico (documento inédito do IGM) contemplará uma carta de distribuição de temperaturas à profundidade de 500 m que confirma a anomalia de temperatura superior a 35°C no Baixo Tejo entre Lisboa e Santarém. Esta é orlada por uma faixa de temperatura entre 30° a 35°C que a Norte vai até Leiria, acompanhando a costa ocidental. Para Sul a mesma faixa acompanha o vale do Tejo entre Fátima, Santarém e Setúbal. Nas restantes zonas do País as temperaturas são da ordem de 25°C, à excepção do Baixo Alentejo e Algarve onde se tem de novo, aparentemente, temperaturas de 25° a 30°C ou superiores.



Figura 9. Piscina aquecida geotermicamente em Chaves.

Não foram ainda estudados os ‘logs’ das sondagens petrolíferas existentes no sentido de evidenciar a presença de reservatórios geotérmicos a grandes profundidades. A necessidade de realização de um estudo conjugado integrando águas termais e informação de furos petrolíferos é manifesta, pois trata-se de eventuais reservatórios situados nas zonas com maior densidade populacional do País.

3.2.3 Aquíferos à temperatura normal

Em relação à geotermia que utiliza aquíferos ou formações geológicas a temperatura normal com BCG, o potencial é significativo, conforme foi evidenciado pelo Projecto EU Project-DIS-1038-96-IR “*To Promote The Use Of Geothermal Energy From Proven Aquifers And Match This Energy To Existing Or Potential Heat Users*”. Os recursos de hidrogeologia energética avaliados para aquecimento e climatização são enormes

(ANON., 1998b). No âmbito deste projecto (que foi realizado em simultâneo em vários países da Europa) deveriam ser consideradas apenas as captações que produzissem mais de 10l/s. Todavia, nas bacias sedimentares portuguesas esse número é de vários milhares, pelo que foram consideradas apenas 63 captações, fornecendo caudais unitários de mais de 20l/s. O potencial total para aquecimento e climatização assim calculado foi de 5TWh_t (ANON., 1998b).

Os furos de água potável, de que existem registos de temperatura, forneceram, informações adicionais sobre o gradiente geotérmico médio nas bacias sedimentares Portugueses. A análise de várias centenas de furos até à profundidade de 700m, nas orlas litorais, levou ao estabelecimento de uma regressão linear, traduzida pela equação $T(^{\circ}\text{C})=0,021 \times P(\text{m})+17,66$, que confirma um gradiente geotérmico médio de cerca de 2,1 $^{\circ}\text{C}/100\text{m}$ para uma temperatura no solo de cerca de 17,7 $^{\circ}\text{C}$ (ANON., 1998b).

Facilmente se conclui que a dinamização da utilização desse recurso energético não é apenas questão de disponibilidade do recurso, mas sim um problema de mercado, de ‘marketing’ e de educação ambiental.

3.3 A geotermia do futuro

Enquanto as formas de geotermia referidas neste documento como geotermia tradicional e geotermia nova podem ser aplicadas de forma relativamente rotineira pela indústria, pois os grandes problemas científicos e tecnológicos que as suportam estão resolvidos, a geotermia do futuro impõe a aplicação de técnicas e conceitos ainda não dominados.

De acordo com os progressos conseguidos nos programas já realizados e, particularmente, no Projecto Europeu de Soultz-sous-Forêt, poderá especular-se que realizações industriais de algum vulto, poderão surgir num horizonte de 10 a 15 anos.

Como foi anteriormente referido, a geotermia do futuro desenvolver-se-á em torno das variantes do conceito alargado de ‘Hot Dry Rock’. No entanto, circunstâncias no decurso de actividades de aproveitamento de recursos subterrâneos a grande profundidade podem dar origem a novas oportunidades: é o caso, por exemplo, do aproveitamento de furos geotérmicos, de petróleo ou gás abortados por improdutividade das camadas. Este é um domínio em que o contributo da criatividade dos cientistas, dos técnicos e

do entrosamento entre os órgãos da administração, será determinante.

AGRADECIMENTOS

O presente trabalho destina-se a divulgar, sumariamente, o estado da arte da geotermia industrial à escala portuguesa e alguns aspectos a nível mundial. Retoma algum do labor produzido pelo primeiro autor [JMC] no âmbito do “Fórum Energias Renováveis em Portugal” (Lisboa, 2001). É da mais elementar justiça, portanto, divulgar aqui a constituição do referido grupo temático: Luís Rodrigues Costa (Instituto Geológico e Mineiro, IGM; *Coordenador*); Carlos Bicudo da Ponte (Sociedade Geotérmica dos Açores, S.A, SOGEO); Carlos Coutinho (Associação das Termas de Portugal, ATP); José Martins Carvalho (Universidade de Évora, UE; *Relator*); Luís Fernando Silva (Agência para a Energia, AGENE).

Os autores agradecem ainda ao Prof. Helder I. Chaminé (ISEP, MIA-UA) a leitura ao manuscrito original e o apoio incondicional manifestado. Um agradecimento final para todos os colegas, das várias universidades, institutos e empresas, contactados que nos facultaram elementos bibliográficos fundamentais para a realização desta síntese, bem como pela troca de impressões sobre a temática da geotermia.

Recibido: 20-3-2004

Acceptedo: 20-7-2004

REFERÊNCIAS

- ACCIAIUOLI L. M. C. (1953). Le Portugal hydromineral. *Direction générale des Mines et des Services Géologiques*, Lisbonne, I volume, 284 pp.; II Volume, 574 pp.
- ACCIAIUOLLI L. M. C. (1955). Estudos Analíticos de águas termais. *Direção Geral de Minas e Serviços Geológicos*, Lisboa, 175 pp.
- AIRES-BARROS L. & MARQUES J. M. (2000). Portugal country update. *Proceedings World Geothermal Congress*, Kyushu-Tohoku, Japan. pp. 39-44
- ANON. (1998a). *Recursos geotérmicos em Portugal Continental: baixa entalpia*. Instituto Geológico e Mineiro, Lisboa, 23 pp.
- ANON. (1998b). *Projecto EU Project-DIS-1038-96-IR "To promote the use of geothermal energy from proven aquifers and match this energy to existing or potential heat users"*. Relatório da ACavaco para CEEETA, Lisboa, 32 pp + anexos. (Relatório inédito).
- ANON. (1999). *Blue book on geothermal resources*. European Communities. 527 pp.
- ANON. (2001). *Forum energias renováveis em Portugal*. Relatório Síntese. ADENE/INETI. 32 pp.
- BRÉNIÈRE F., DESPLAN A. & LAPLAIGE P. (2001). *La géothermie à l'Aube du 3^{me} Millénaire. L'énergie du Sous-sol : La géothermie en Ile-de-France*. BRGM/CDG/CITEG, Orléans, Bulletin n° 1, pp. 3.
- CARVALHO D. (2001). *Recursos geotérmicos do Continente associados a pólos com águas termais concessionadas*. Documento inédito. IGM, Lisboa, 2 pp.
- CARVALHO J. M. (1995). Low temperature geothermal reservoirs in the Portuguese Hercynian Massif. *World Geothermal Congress*, Florence, 2: 1343-1348.
- CARVALHO J. M. (1996a). Mineral water exploration and exploitation at the Portuguese Hercynian massif. *Environmental Geology*, 27: 252-258.
- CARVALHO J. M. (1996b). Portuguese geothermal operations: a review. *European Geologist, European Federation of Geologists Magazine*, 3-4: 21-26.
- CARVALHO J. M. (1998). *Combination of different heat users: principles and Portuguese case studies*. Economy of Integrated Geothermal Projects, International Summer School, Course Text-Book. INOVA. Azores.
- CARVALHO J. M. & DUQUE J. (1982). Aquecimento por bomba de calor. *Revista Portuguesa do Frio*, Lisboa, pp. 33-40.
- CARVALHO J. M., BERTHOUP Y. & SILVA F. (1990). Introdução aos recursos geotérmicos da região de Lisboa. In: *Livro de Homenagem ao Prof. Carlos Romariz, Seção de Geologia Económica e Aplicada*, FCUL, Lisboa, pp. 332-356.
- CARVALHO M. R. (1999). *Hidrogeologia do maciço vulcânico de Água de Pau/Fogo (S. Miguel, Açores)*. Universidade de Lisboa, 445 pp. (Tese de doutoramento)
- CEC – Commission of the European Communities (1988). *Atlas of the geothermal resources in the European Community, Austria and Switzerland*. In: HAENEL R. & STAROSTE E., eds., Brussels - Luxembourg. 74 pp + 110 annexes.
- COSTA L. R. & CRUZ J. A. (2000). Geotermia de baixa entalpia em Portugal: situação presente e perspectivas de evolução. *Boletim de Minas*, Lisboa, 37(2): 83-89.
- CRUZ J. V., COUTINHO R. M., CARVALHO M. R., OSKARSSON N. & GISLASON S. R. (1999). Chemistry of waters from Furnas volcano, São Miguel, Azores: fluxes of volcanic carbon dioxide and leached material. *Journal Volcanology Geothermal Research*, 92, 151-167.
- FONSECAP E., MADEIRA J., SERRALHEIRO A., RODRIGUES C. F., PRADA S. N. & NOGUEIRA C. (2000). Dados geológicos preliminares sobre os lineamentos tectónicos da ilha da Madeira In: *2ª Assembleia Luso-Espanhola de Geodesia e Geofísica*, Lagos.
- FORJAZ V. H. (1994). *Geologia económica e aplicada da ilha de S. Miguel (Açores): recursos vulcanogeotérmicos*. Universidade Açores, Ponta Delgada, 599 pp. (Tese de doutoramento).
- FORJAZ V. H. (2001). *Forum energias alternativas*. Recursos Geotérmicos do Arquipélago dos Açores. Ponta Delgada. 31 pp. (inédito).
- GONÇALVES H., JOYCE A. & SILVA L. [Eds.] (2002). *Uma contribuição para os objectivos de política energética e ambiental*. ADENE/INETI, Lisboa. 211 pp.
- LINDAL B. (1973). Industrial and other applications of Geothermal Energy. In: ARMSTEAD H. C. H., eds., *Geothermal Energy*, UNESCO, Paris.
- LUND J. W. (2001). Geothermal heat pumps: an overview. *GeoHeatCenter Bulletin*, 22(1): 1-2.
- MUFLER P. & CATALDI R. (1978). Methods for regional assessment of geothermal resources. *Geothermics*. 7: 53-89.
- NUNES J. C. (1991). *Microsismos e neotectónica. Contribuição para o seu estudo nos Açores*. Universi-

- dade dos Açores, Ponta Delgada, 245 pp. (Provas de aptidão pedagógica e capacidade científica).
- RIBEIRO A. & ALMEIDA F. M. (1981). Geotermia de baixa entalpia em Portugal Continental. *Geonovas, Rev. Assoc. Portg. Geólogos*, Lisboa, 1(2): 60-71.
- RYBACH L. (2001). Status and prospects of geothermal heat pumps (GHP) in Europe and Worldwide. In: POPOVSKY & SANNER, Eds., *International Summer School on Direct Application of Geothermal Energy of IGA*, Skopje, Macedonia. pp. 11-126.
- TENZER H. (2001). Development of Hot Dry Rock technology. In: POPOVSKY & SANNER, Eds., *International Summer School on Direct Application of Geothermal Energy of IGA*, Skopje, Macedonia. pp. 259-279.