

APROVEITAMENTO DA ENERGIA GEOTÉRMICA DO SISTEMA AQÜÍFERO GUARANI - ESTUDO DE CASO

Jorge L. Rabelo¹; Jefferson N. de Oliveira²; Rosemiro J. de Rezende³
& Edson Wendland⁴

Resumo - O presente trabalho tem por objetivo apresentar conceitos teóricos básicos relacionados à exploração de energia geotérmica, contribuindo ao interesse crescente por esta fonte renovável e não-polvente. As técnicas de aproveitamento da energia geotérmica são descritas em função das diferentes temperaturas da água subterrânea. Visando o desenvolvimento regional, são apresentados dados de potencialidades levantadas na região de abrangência do Sistema Aquífero Guarani. As baixas temperaturas observadas nesses levantamentos indicam que as possíveis aplicações restringem-se ao uso direto da água aquecida. No entanto, tendo em vista a extensão da formação sedimentar e o volume total do reservatório geotérmico, conclui-se que o potencial energético disponível é relevante e a análise de sua viabilidade técnico-econômica deve ser aprofundada em pesquisas específicas. Dados iniciais de um estudo de caso são apresentados, indicando a necessidade de estudos adequados às condições climáticas da região de interesse.

Abstract – The present work describes basic theoretical concepts related to the exploration of geothermal energy. The purpose is to motivate the interest for this kind of renewable, non-polluting energy source. Different techniques for geothermal energy use are described in dependence on the available groundwater temperature. Viewing the regional development, data related to recent study performed in the area of the Guarani Aquifer System are presented. The lower temperature observed in the investigation indicate that possible applications are restricted to the direct use of warm groundwater. Nevertheless, considering the large extension of this sedimentary basin, and consequently the total volume of the geothermal reservoir, we conclude that the potential available energy is significant. In order to estimate the applicability of this method, a detailed technical-economical analysis should be carried out in specific scientific research. Initial data collected for a

¹ Departamento de Engenharia Agrícola, Escola de Agronomia, Universidade Federal da Bahia
Campus UFBA, Cruz das Almas-BA, 44380-000, e-mail: rabelo@ufba.br

² Departamento de Engenharia Civil, Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira, Universidade Estadual Paulista
Alameda Bahia, 550, Ilha Solteira-SP, 15385-000, e-mail: jeffno@dec.feis.unesp.br

³ SEMAE - Prefeitura Municipal de São José do Rio Preto
Av. Alberto Andaló, 3030, São José do Rio Preto - SP, 15015-000, e-mail: semae.sjrp@empro.com.br>

⁴ Departamento de Hidráulica e Saneamento, Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo
Caixa Postal 359, São Carlos-SP, 13560-970, e-mail: ew@sc.usp.br

case study are presented, indicating that further research taking into account the climatic conditions in the considered region is necessary.

Palavras-chave - água subterrânea, energia geotérmica, Aquífero Guarani

INTRODUÇÃO

Tendo em vista a atual crise no sistema energético nacional, decorrente da combinação de falta de planejamento governamental com fatores climatológicos desfavoráveis, cabe aos pesquisadores das instituições públicas nacionais investigar fontes alternativas de energia, de forma a suprir, pelo menos em parte, a demanda desse recurso. Neste trabalho, são enfocadas as alternativas de utilização da energia geotérmica como fonte de energia renovável e não-poluidora. A combinação desses dois fatores representa, ante a moderna tendência mundial de proteção ambiental (vide Carta de Kyoto), uma opção extremamente atraente e promissora.

O trabalho baseia-se, inicialmente, na revisão e discussão dos conceitos básicos de aproveitamento de energia geotérmica disponíveis na literatura. Considerando a pouca tradição de utilização desse tipo de energia no Brasil, os métodos descritos são mais conhecidos em países de intensa atividade tectônica e/ou vulcânica. A viabilidade de utilização desse tipo de energia a nível nacional é discutida, de uma forma geral, em termos de possíveis aplicações práticas. A nível regional, o enfoque é direcionado ao levantamento das potencialidades hidrogeotérmicas do Sistema Aquífero Guarani (SAG). De forma a ilustrar as condições de aproveitamento da energia geotérmica no Brasil, dados referentes a um estudo de caso no Município de São José do Rio Preto são apresentados e analisados.

Objetivos

O objetivo principal deste trabalho é trazer ao conhecimento das entidades decisórias envolvidas com questões energéticas e ambientais, uma alternativa de produção e uso de energia de reduzido impacto ambiental, baseada no aproveitamento da energia geotérmica. Através deste trabalho, pretende-se despertar o interesse por uma nova linha de pesquisa, permitindo uma abordagem profunda e detalhada da viabilidade técnico-econômica dessa fonte renovável de energia, especialmente na região de abrangência do Sistema Aquífero Guarani.

Aspectos Gerais da Energia Geotérmica

O calor proveniente da formação original da Terra em combinação com o movimento de placas tectônicas estabelece em algumas regiões da crosta terrestre fortes gradientes de temperatura. A presença de falhas em rochas permite que a água da superfície infiltre em formações profundas de

até vários quilômetros, retornando aquecida até a superfície na forma de *geysers*. Encontrando rochas impermeáveis em seu movimento de ascensão, o fluido pode ser confinado em poros e falhas, preenchendo de 2 a 5% do volume das rochas, dando origem aos reservatórios geotérmicos. Do fluido captado desses reservatórios pode-se retirar calor e, em seguida, re-injetar a água no manancial subterrâneo. A ilustração desse processo é mostrada na Figura 1.

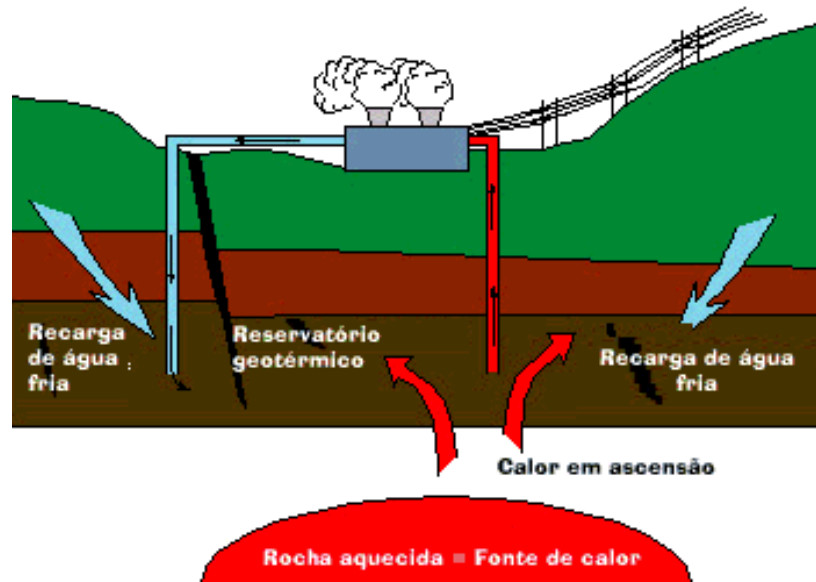


Figura 1. Ciclo do aproveitamento geotérmico

A energia geotérmica é uma das mais limpas formas de energia disponíveis atualmente em quantidade comercial. O uso dessa energia alternativa, com baixa emissão atmosférica, cresce significativamente em diversas partes do mundo, trazendo benefícios ambientais e contribuindo para um menor consumo de combustíveis fósseis e nucleares. Atualmente seu uso é diversificado pelo desenvolvimento de novas tecnologias e pela possibilidade de adequar as atividades produtivas às características da fonte geotérmica disponível. Na produção de energia geotérmica, poços profundos são usados para transportar água ou gás aquecidos de reservatórios subterrâneos até a superfície. A energia térmica retirada do fluido pode ser usada para uso direto, entre 35°C e 148°C, com aplicação residencial, na agricultura e na indústria ou, em caso de temperaturas elevadas (300°C ou mais), utilizada para produção de eletricidade. Restrições, entretanto, são colocadas sobre esta fonte renovável de energia devido a: a) baixo rendimento, comparado com formas convencionais de energia; b) limitação de distância entre o local produtor e consumidor devido à facilidade de perdas de energia, no caso de consumo direto de calor; c) custo elevado envolvendo o desenvolvimento e aplicação de novas tecnologias. Apenas uma parte insignificante do potencial

geotérmico global tem sido utilizada. Apesar disso, seu uso direto evita a combustão anual de 830 milhões de barris de petróleo, e com a produção de eletricidade, 5,4 bilhões de barris [1]. No Brasil, potencialidades estão sendo identificadas no Aquífero Guarani, visando o aproveitamento de energia geotérmica de baixas temperaturas.

APLICAÇÕES DA ENERGIA GEOTÉRMICA

A relação custo/benefício na implantação dos diversos sistemas geotérmicos passa, entre outros, pela adequação das atividades produtivas desejadas às características da fonte geotérmica disponível. Entre as possibilidades de uso desta forma de energia, dois grandes grupos se destacam: a produção de energia elétrica e o uso direto do calor com o aproveitamento de fontes de baixas temperaturas.

Produção de Energia Elétrica – Sistemas Disponíveis

Para fontes geotérmicas de temperaturas elevadas e médias (acima de 150°C) a aplicação mais adequada é, em geral, a produção de eletricidade. Basicamente três sistemas são utilizados nas usinas geotérmicas para geração de energia elétrica. A escolha por um desses sistemas está primeiramente condicionada à natureza da fonte geotérmica disponível no local. O primeiro, conhecido como *dry steam* (DS), é utilizado quando a fonte geotérmica produz diretamente vapor através do poço. Possuindo sempre temperaturas elevadas, essas fontes produtoras essencialmente de vapor são, infelizmente, as mais raras fontes geotérmicas, estando na sua maioria disponíveis em algumas formações de *geysers*. *Single flash* (1F) é o segundo método, utilizado em casos onde os recursos geotérmicos produzem, água com temperaturas elevadas ou uma combinação de vapor e água aquecida. O vapor deve ser separado do restante do fluido para ser utilizado como propulsão dos geradores elétricos. Quando o processo de separação é realizado duplamente dá-se a esse método o nome de *double flash* (2F). O terceiro método, conhecido como binário (B), diferentemente dos outros dois, pode funcionar com fontes geotérmicas com temperaturas médias, ou até mesmo, baixas. Neste sistema, o vapor que movimenta a turbina não é o fluido geotérmico e sim um fluido refrigerante que circula em circuito fechado. Este método de geração de energia essencialmente elimina qualquer uso consuntivo da água, uma vez que após ter trocado calor, o fluido geotérmico é ré-injetado no poço. Além disso, o caráter de sistema fechado permite o uso de pequenas instalações, sendo disponíveis comercialmente módulos de 200 a 1000 kW. Algumas usinas combinam simultaneamente o sistema binário (B) e o sistema de separação de vapor (1F ou 2F), dando origem a processos híbridos (H) [2].

O potencial geotérmico não é restrito a simples reservatórios hidrotermais localizados em rochas permeáveis sobre os embasamentos cristalinos. A tecnologia conhecida como rocha seca

quente, *Hot Dry Rock* (HDR), é uma alternativa com possibilidades de extrair grandes quantidades de calor diretamente das massas de rocha localizadas em pontos profundos da crosta, de 3000m a 6000 m de profundidade, a partir de uma grande fratura induzida no embasamento cristalino. Tal técnica, amplia significativamente os limites de exploração dos recursos geotérmicos [3].

A aplicação desse método em grande escala é limitada atualmente pelos custos de perfuração. Em um projeto HDR a perfuração dos poços corresponde a aproximadamente 60% do custo total de implantação da unidade geradora. Devido às altas temperaturas e pressões que ocorrem a grandes profundidades, as técnicas convencionais de perfuração, com brocas rotativas, não são suficientemente eficientes (em termos de velocidade e custo). Técnicas de perfuração através de fusão das formações rochosas a temperaturas de 1500°C a 2000°C têm sido sugeridas. Como fonte de calor, diferentes formas de energia podem ser utilizadas: nuclear, laser, micro-ondas de alta frequência, entre outras.

Uso Direto do Calor

As fontes geotérmicas de baixas temperaturas (35°C a 148°C), são mais indicadas para o aproveitamento direto do calor. A água naturalmente aquecida a uma temperatura acima de 35°C pode fornecer as condições adequadas ao desenvolvimento de uma série de atividades realizáveis através do uso dessa energia. O aquecimento das águas em parques aquáticos, calefação de ambientes e o uso doméstico da água quente são alguns exemplos.

Diversas cidades da Califórnia [4] possuem sistemas de fornecimento de água quente a seus bairros. Um grande número de prédios residenciais e comerciais está ligado a redes de distribuição, onde a água aquecida, retirada de poços de produção, circula a uma temperatura entre 54°C e 93°C. Nesses sistemas de distribuição é importante injetar-se de volta ao reservatório geotérmico a maior parte possível de água fria, como forma de manter a pressão e as taxas normais de produção.

Em locais onde a água bombeada do reservatório geotérmico possui temperaturas um pouco maiores (acima de 60°C), ela pode ser utilizada apenas para trocar calor com a água a ser consumida, circulando, portanto, em circuito fechado. Na agricultura e na indústria, entretanto, é onde mais crescem as aplicações deste tipo de energia em diversos países [5]:

- turismo, com predominância de atividades em parques aquáticos, *spas* e centros de recreação;
- criação de peixes, camarões e aves; plantação de flores, vegetais e outras culturas;
- pasteurização de leite, secagem de cebola, lã e madeira;
- diversos processos industriais envolvendo lavagem e secagem de produtos, pasteurizações, fabricação de papel e tingimento de tecido.

Esses fatos recomendam, portanto, a utilização direta do calor geotérmico como uma forma alternativa importante de energia, podendo prover soluções a inúmeras atividades produtivas a partir de fontes localizadas de energia geotérmica.

Avaliação de Perdas por Transmissão

O estado do fluido nas linhas de transmissão utilizado em projetos de uso-direto pode ser líquido, gasoso ou uma mistura das duas fases. Tendo-se por base as temperaturas encontradas no Aquífero Guarani, 35°C a 70°C, tem-se a fase líquida com larga predominância sobre a gasosa. As perdas associadas ao transporte da água aquecida podem dar-se por troca de calor com o ambiente ou por desgastes, ou danos causados às tubulações por efeito da dilatação térmica. Visando minimizar os efeitos da segunda causa, são utilizadas tubulações em diversos materiais como aço carbono, PVC (*polyvinyl chloride*) e FRP (*fiberglass reinforced plastic*), além da aplicação de detalhes construtivos como a definição de *pontos de expansão* ao longo das tubulações.

As perdas pela troca de calor com o ambiente são tão maiores quanto for a distância entre a fonte de produção e o local de utilização da água aquecida. O custo de linhas de transmissão e redes de distribuição em projetos de uso-direto é significativo. Entretanto, projetos envolvendo distâncias a partir de 60 km têm se mostrado economicamente sustentados [6]. O isolamento térmico é um recurso utilizado tanto para sistemas de distribuição superficial quanto subterrâneo, através do uso principalmente da lã de vidro, espuma de poliuretano e fibra de vidro. Projetos com tubulações sem isolamento térmica custam em torno da metade dos mesmos com isolamento. As perdas de calor são muito mais afetadas pela vazão que pelo material do qual é feita a tubulação [7]. Quanto menor as vazões maiores as perdas de calor.

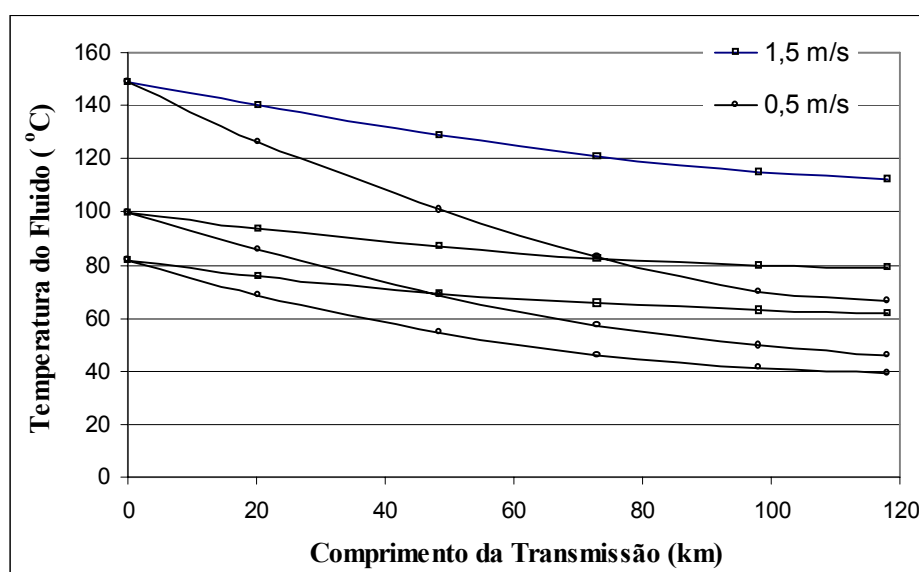


Figura 2. Efeito da queda da temperatura da água na linha de transmissão (adaptado de [8])

A Figura 2 mostra a temperatura da água em função da distância em uma tubulação subterrânea de 45 cm de diâmetro isolada por uma camada de 5 cm de espuma de poliuretano [8]. Nela é possível observar que para temperaturas menores o efeito da vazão sobre a perda de calor é também menor. Tal fato é importante na definição dos projetos quanto ao uso ou não da isolamento térmica, avaliando-se seu custo e benefício a partir dos dados de temperaturas da água (inferiores a 70°C) e das disponibilidades e necessidades de vazão.

EFICIÊNCIA GEOTÉRMICA E ASPECTOS ECONÔMICOS

No sistema geotérmico, diferentemente de máquinas a combustível fóssil, a fonte de calor determina a temperatura máxima com a qual o sistema pode operar, assim, quanto mais elevada for essa temperatura, maior será a eficiência do sistema.

Em relação às atividades que aproveitam diretamente o calor dos reservatórios geotérmicos, os estudos de rendimento e de avaliação econômica necessitam de uma análise individual para cada sistema específico. Entretanto, a grande variedade mencionada desses aproveitamentos, mostra que mais importante que o rendimento do processo é o benefício econômico alcançado. Por exemplo, o aquecimento de grandes áreas de solo utilizando canos subsuperficiais, onde circula água aquecida, visando aumentar o período de cultivo de determinadas espécies de flores é, provavelmente, um sistema de baixo rendimento termodinâmico. Entretanto, a disponibilidade e proximidade dessa fonte geotérmica tornam esse aproveitamento uma solução oportuna e lucrativa em comparação a qualquer outra forma convencional de energia.

POTENCIAL GEOTÉRMICO DO AQÜÍFERO GUARANI

O Sistema Aquífero Guarani (SAG), localizado entre 12° e 35° de latitude Sul e 47° e 65° de longitude Oeste (Figura 3), é reconhecido como o maior manancial de água doce subterrânea transfronteiriço do mundo, estendendo-se por quatro países da América do Sul: Argentina, Brasil, Paraguai e Uruguai. Da área total de 1.200.000 km², 71% cabem ao Brasil. Atualmente, um projeto implementado conjuntamente por estes países, com financiamento parcial do Banco Mundial (BIRD), busca implantar um desenvolvimento sustentado integrado para o SAG. O aproveitamento do potencial geotérmico do aquífero aparece, entre os objetivos deste projeto, como um fator de destaque. Dados e estimativas preliminares da potencialidade foram apresentados como resultado de estudos e levantamentos das características geotérmicas do aquífero [9].



Figura 3. Mapa simplificado da América do Sul. O Sistema Aquífero Guarani encontra-se na área delimitada pela linha branca

Características Hidrogeológicas de Interesse do Aproveitamento Geotérmico

A exploração dos poços profundos perfurados no SAG permite, em média, uma captação de 500 m³/hora de água por poço. Em várias regiões, como em Foz do Iguazu – PR, a água possui nível potenciométrico acima da superfície local, surgindo naturalmente com temperaturas entre 35°C e 45°C, e em Presidente Prudente – SP, entre 60°C e 70°C. As temperaturas mais elevadas do SAG encontram-se em torno dos 70°C. Dados de 322 poços mostram que o Brasil possui a maioria das reservas de água aquecida explorável: 81% das águas com temperatura até 41°C, e 75% das águas até 70°C. Para o cenário de todo o Guarani, estima-se uma reserva explorável de energia geotérmica equivalente a 50 bilhões de toneladas de petróleo [10]. O valor médio observado do gradiente geotérmico é da ordem de 2 a 3 °C/100 m. Esse valor é considerado baixo, sendo atribuído aos muitos pontos de recarga de água fria. Valores extremos, em torno de 5,5 °C/100 m, são encontrados no norte do Paraná [9].

Aproveitamento Geotérmico e seu Efeito Ambiental

Com reservatórios geotérmicos de baixa temperatura e com baixos gradientes térmicos, fica afastada a possibilidade de aproveitamento geotérmico para produção de energia elétrica a partir do Sistema Aquífero Guarani. Os valores totais estimados de energia na forma de calor aproveitável,

entretanto, configuram grandes possibilidades de exploração, tendo em vista o fato de existirem atividades diversificadas, tanto agrícolas como industriais, distribuídas ao longo dos 852.000 km² que correspondem à parte brasileira do SAG. Dessa forma, os seguintes conjuntos de atividades tornam-se efetivamente aplicáveis, conforme experiências já mencionadas em vários países:

- a) como fonte de abastecimento público;
- b) como meio para desenvolver as atividades agroindustriais que utilizam água normalmente entre 37 e 75 °C, especialmente quando destinada à lavagem de couro de animais, secagem de grãos, pasteurizações, climatização de criatório de animais, etc;
- c) como integrante de processos industriais que exijam pré-aquecimento;
- d) como meio de desenvolver o turismo, facilitando a instalação de estâncias e parques hidrotermais.

Os benefícios ambientais decorrem principalmente da substituição dos combustíveis fósseis, cuja queima emite para atmosfera predominantemente CO₂, SO₂ e os gases NO_x. Resultados do relatório, encomendado pela Organização dos Estados Americanos (OEA), de abril de 2000, informam que para uma população de 15 milhões de pessoas que vivem sobre o Sistema Aquífero Guarani, a utilização plena dos recursos geotérmicos significaria uma redução anual nessas emissões, calculada em toneladas por ano, que equivaleriam a 500 TJ (tera Joules). As quantidades de substâncias poluentes que deixariam de ser emitidas com a utilização da energia geotérmica, encontram-se na Tabela 1.

Tabela 1. Benefício ambiental referente a 500 TJ anuais, decorrente da substituição de combustível fóssil por energia geotérmica

Parâmetro	Óleo	Gás Natural	Carvão
Calor gerado	41 GJ/ton	35 GJ/tem	24.4 GJ/ton.
Eficiência	0.85	0.9	0.8
Produção bruta de energia	588 TJ	555 TJ	625 TJ
Emissão de CO ₂	78 kg/GJ	57 kg/GJ	95 kg/GJ
Emissão de SO ₂	0.5 kg/GJ	-	1.2 kg/GJ
Emissão de NO _x	0.2 kg/GJ	0.1 kg/GJ	0.3 kg/GJ
Emissão de CO ₂ Anual	45,864 tons.	31,635 tons.	59,375 tons.
Emissão de SO ₂ Anual	294 tons.	-	750 tons.
Emissão de NO _x Anual	118 tons.	56 tons.	188 tons.

Conseqüências negativas podem eventualmente ser observadas, dependendo do sistema de aproveitamento escolhido: efeitos visuais, disposição de água residual salobra, ruído, recalque superficial, etc. No entanto, em comparação com os benefícios obtidos evitando a emissão de poluentes, essas deficiências têm um significado secundário.

ESTUDO DE CASO

Em determinada situação, a disponibilidade da forma geotérmica de energia pode apresentar-se, inicialmente, como um problema ao invés de uma solução. Tal situação verifica-se principalmente em regiões tropicais, onde poços de profundidade elevada são explorados com o objetivo de utilizar a água explotada no abastecimento de cidades, através de sistemas de distribuição. O problema decorrente deste procedimento, está em dispor num sistema de distribuição a água para uso geral, aquecida acima de 45°C, faixa de temperatura pouco adequada à maioria de seus fins e às próprias características do sistema hidráulico público e doméstico.

A cidade de São José do Rio Preto, localizada a Noroeste do Estado de São Paulo, possui atualmente sete poços profundos que abastecem a rede pública de distribuição e que contribuem para o excedente de temperatura da água fornecida à rede. Com uma vazão total em torno de 2245 m³/h, os poços possuem profundidade superior a 1000 m, onde são explotadas, em média, vazões iguais ou superiores a 200 m³/h.. A temperatura média da água captada é da ordem de 47° C, valor este esperado, considerando-se o gradiente térmico médio para a região (2 a 3 °C/100m) e a profundidade média dos poços.



Figura 4. Resfriadores utilizados para rebaixar a temperatura da água captada de poços em São José do Rio Preto

O sistema formado pelos sete poços dispõe de conjuntos resfriadores (Figura 4) com a função de diminuir a temperatura da água lançada na rede de distribuição. As características principais deste sistema encontram-se na Tabela 2. Para os poços de número 3 e 4, a indicação “(M)” significa que a água bombeada dos mesmos é conduzida a reservatórios de distribuição, sendo misturada a águas mais frias captadas superficialmente e de poços mais rasos da Formação Bauru (profundidade até 200 m). Pelos valores de potência alocados aos resfriadores e às bombas, verifica-se que aproximadamente 10% do custo de produção dos poços são gastos com o resfriamento da água. A energia consumida apresentada na Tabela 2 corresponde a valores totais para a produção nos respectivos poços, obtidos da média dos meses de março e abril de 2002.

Tabela 2. Dados do sistema de poços no SAG localizados em São José do Rio Preto

Poço	Localização Bairro	Profundidade Poço (m)	Vazão (m ³ /h)	Energia Mensal (kWh)	Potência Bomba (CV)	Resfriadores	
						Qt.	Pot.(CV)
1	Alto Alegre	1391	400	187669	600	3	20
2	Borá	1024	205	271008	600	3	20
3	Vila Maceno	1100	200	475059*	500	(M)	(M)
4	Penha	1137	280	283943	600	(M)	(M)
5	Sto. Antônio	1320	400	174668	1000	3	30
6	Solo Sagrado	1189	530	382963	1600	3	25
7	Urano	1152	230	2156	600	3	20

* Energia consumida pelo poço e sistemas auxiliares

Observações realizadas do efeito da temperatura elevada da água nos sistemas de distribuição mostram uma tendência maior a problemas decorrentes da calcificação das tubulações por deposição de carbonato de cálcio. Danos verificados em Pereira Barreto – SP, representados pela constrição dos diâmetros de tubulações, onde a água é captada à temperatura média de 49°C de poços com profundidade superior a 1000 m, decorrem da maior mobilidade da água quente através do sistema de distribuição.

Considerando-se os gastos com energia para o resfriamento mencionado, bem como a diminuição da vida útil do sistema de distribuição, torna-se ainda mais justificado os possíveis investimentos que viabilizem o uso direto da energia geotérmica. Entre as diversas possibilidades de atividades produtivas que utilizam esta fonte de energia, deve-se realizar a escolha, primeiramente com base em critérios físicos, como a temperatura, vazão e distâncias entre os locais de produção e consumo da energia e, em seguida, pelos demais critérios, como a capacidade de investimento e aptidões regionais.

CONCLUSÕES

O trabalho desenvolvido permite a formulação das seguintes conclusões:

- No Brasil, em especial no Sistema Aquífero Guarani, o aproveitamento de reservatórios geotérmicos restringe-se ao uso direto em aplicações agrícolas e industriais. Apesar das baixas temperaturas (máx. 70°C), estima-se uma reserva explorável de energia geotérmica equivalente a 50 bilhões de toneladas de petróleo. O aproveitamento dessa fonte resultaria em uma considerável redução na emissão de poluentes típicos de combustíveis fósseis.
- De uma forma geral, a energia geotérmica pode representar uma importante fonte de produção de energia, cuja viabilidade deve ser criteriosamente investigada para fins de aproveitamento no Brasil.
- Na avaliação da relação custo/benefício devem ser consideradas as restrições físicas (vazão, temperatura e distâncias envolvidas) impostas pelo sistema projetado.
- Observações da situação atual no Brasil indicam o consumo adicional de energia elétrica com o objetivo de resfriar a água aquecida explorada dos aquíferos. Essa prática torna premente a necessidade de desenvolvimento de alternativas para o uso racional da energia geotérmica em ambientes tropicais.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] UFFIELD, W. A., SASS, J. H., & SOREY, M. L., *Tapping the Earth's Natural Heat*, U.S. Geological Survey Circular 1125, 63 p., 1994.
- [2] RAFFERTY, K., *Geothermal Power Generation*, Geothermal Resources Council Bull., vol. 23, pp. 322-333, Davis, CA., 2000.
- [3] KOLDITZ, O. & DIERSCH, H., *Quasi-Steady-State Strategy for Numerical Simulation of Geothermal Circulation in Hot Dry Rock Fractures* Int. J. Non-Linear Mechanics, vol 28, pp.467-481, Pergamon Press Ltd., 1993.
- [4] RAFFERTY, K., *A century of service: the Boise Warm Springs water district system*, Geothermal Resources Council Bull., vol. 21, pp. 125-136, Davis, CA., 1992.
- [5] WRIGHT, P. M., *The earth gives up its heat! Geothermal energy -- a clean, sustainable resource*, Renewable Energy World, vol. 1, pp. 87-94, 1998.
- [6] GEORGSSON, L. S.; JOHANNESSON, H. & GUNNLAUGSSON, E., *The Baer Thermal Area of Western Iceland: Exploration and Exploitation*, Transactions, Vol. 5, Geothermal Resources Council, Davis, CA, pp. 511-514, 1981.
- [7] RYAN, G. P., *Equipment Used in Direct Heat Projects*, Transactions, Vol. 5, Geothermal Resources Council, Davis, CA, pp. 483-485, 1981.

- [8] GUDMUNDSSON, J. S. & LUND, J. W., *Direct Use of Earth Heat*, Energy Research, Vol. 9, No. 3, John Wiley & Sons, NY, pp. 345-375, 1985.
- [9] ARAÚJO, L. M., FRANÇA, A. B., & POTTER, P. E., *Hydrogeology of the Mercosul aquifer system in the Paraná and Chaco-Paraná Basins, South America and comparisons with the Navajo-Nugget aquifer system, USA*. Hydrogeol. Journ., vol. 7, pp. 185-194, 1999.