

# USO DO HIDROTERMALISMO DO AQUÍFERO GUARANI COMO ALTERNATIVA ENERGÉTICA PARA PRÉ-AQUECIMENTO DE ÁGUA

Anamaria Moya Rodrigues<sup>1</sup>; Laerte Bernardes Arruda<sup>2</sup>

**Resumo** - O aproveitamento do Aquífero Guarani está normalmente voltado para o consumo humano, industrial, agrícola e para fins balneários, porém a utilização de seu potencial térmico como fonte energética alternativa, principalmente no contexto do turismo, pouco tem sido explorado. Este trabalho apresenta um estudo, tendo como referência o caso de Cachoeira Dourada - MG, de simulação de pré-aquecimento da água superficial, a ser consumida em chuveiros de um balneário, através de um trocador de calor de contracorrente. Esta alternativa de aquecimento deve-se ao fato de que a salinidade presente na água explotada inviabiliza o seu uso direto para este fim. É demonstrado que o hidrotermalismo pode contribuir significativamente para a redução do consumo de outras fontes energéticas, tais como a elétrica e o gás combustível, sem comprometer o conforto térmico para o uso balneário. O hidrotermalismo como fonte potencial de energia não convencional contribui para o aproveitamento sustentável do Aquífero Guarani.

**Palavras-Chave** - Aquífero Guarani, hidrotermalismo, aquecimento de água.

**Abstract** - The exploitation of the Guarani Aquifer is normally associated to the human, industrial, agricultural consumption and balneal use. However the use of its thermal potential as an alternative energy source, mainly in the tourism context, has been little explored. This work presents a study, having as reference the case of Cachoeira Dourada - MG, simulation of preheating of the superficial water, to be consumed in shower of a health-resort, through a countercurrent heat exchanger. This alternative of heating is due to the fact that the water salinity makes impracticable its direct use for some applications. It is shown that the thermal potential can contribute significantly for the reduction of the consumption of other energy sources, such as electric and the combustible gas, without compromising the thermal comfort for the balneal use. The thermal potential as not conventional energy source contributes for the sustainable exploitation of the Guarani Aquifer.

**Key words** - Guarani Aquifer, thermal potential, water heating.

---

<sup>1</sup>Professora Substituta Faculdade de Engenharia Civil da Universidade Federal de Uberlândia Bloco Y Campus Santa Mônica Av. João Naves de Ávila n°. 2121 CEP: 38400902 Uberlândia MG 0xx34 3239-4411 moyarodrigues@yahoo.com.br

<sup>2</sup>Professor Titular Faculdade de Engenharia Civil da Universidade Federal de Uberlândia Bloco Y Campus Santa Mônica Av. João Naves de Ávila n°. 2121 CEP: 38400902 Uberlândia MG 0xx34 3239-4411 barruda@ufu.br

# 1 INTRODUÇÃO

Esse artigo apresenta o hidrotermalismo do Aquífero Guarani como fonte potencial de energia não convencional para pré-aquecimento de água. A ocorrência de salinidade pode ser um atrativo no hidroturismo e na hidroterapia termal, mas indesejada para higienização pessoal.

A energia hidrotérmica do Aquífero Guarani representa um potencial de aproveitamento energético significativo (CHANG<sup>[6]</sup>) e pode revelar-se numa opção ambientalmente atraente.

Mesmo com alta salinidade a água da superfície pode ser pré-aquecida utilizando o geotermalismo para contribuir com a redução de consumo de energia convencional. A simulação do uso do trocador de calor neste estudo tendo como referência o caso de Cachoeira Dourada, MG, onde as propriedades hidroquímicas e hidrogeológicas caracterizam a água subterrânea explotada como salobra e salgada, demonstra que o ganho térmico para pré-aquecimento pode ser significativo.

Na troca de calor as transferências de energia entre corpos materiais ocorrem por diferenças de temperatura (HOLMAN<sup>[9]</sup>, p. 1), o trocador de calor é um equipamento que propicia o processo entre dois fluidos que estão a diferentes temperaturas e separados por uma parede sólida (INCROPERA; DEWITT<sup>[11]</sup>, p. 452). Desta forma a água potável pode ser aquecida pela água salobra através da parede de separação dos dois fluidos.

## 2 O AQUÍFERO GUARANI

### 2.1 Localização, área, volume e população

O Aquífero Guarani, com área de abrangência estimada de 1.195.500 Km<sup>2</sup>, constitui-se numa importante reserva de água subterrânea da América do Sul (BORGHETTI; BORGHETTI; ROSA FILHO<sup>[4]</sup>, p. 127).

Segundo Borghetti, Borghetti e Rosa Filho<sup>[4]</sup> (p. 130) o volume de água armazenado pode ser calculado multiplicando-se os parâmetros: área de ocorrência, espessura média (228 m) e porosidade (0,17). Isto resulta em um volume total estimado de 46.337 Km<sup>3</sup>.

Tabela 1 Área, população e volume do Aquífero Guarani.

PAÍSES	ÁREA DO GUARANI		ÁREA TOTAL DO PAÍS	ÁREA DO PAÍS ONDE OCORRE O AQUIFERO		ÁREA DE AFLORAMENTO		POPULAÇÃO ESTIMADA	POPULAÇÃO ESTIMADA NA ÁREA DE AFLORAMENTO	VOLUME ESTIMADO DE ÁGUA
	Km <sup>2</sup>	%		Km <sup>2</sup>	%	Km <sup>2</sup>	%			
Brasil	839.800	70,2	8.511.965	9,9	104.143	67,8	24.856.696	2.566.347	32.551	
Argentina	225.500	18,9	2.766.889	8,1	-	-	2.630.312	-	8.740	
Paraguai	71.700	6,0	406.752	17,6	46.211	30,1	1.858.562	1.043.809	2.779	
Uruguai	58.500	4,9	176.215	33,2	3.197	2,1	578.698	145.000	2.267	
Área Total	1.195.500	100	-	-	153.551	100	29.924.268	3.754.156	46.337	

Fonte: Elaborado a partir de Borghetti, Borghetti e Rosa Filho<sup>[4]</sup> (p. 130)

Tabela 2 Área e população do Aquífero Guarani no Brasil

ESTADOS	ÁREA DO GUARANI		ÁREA TOTAL DO ESTADO	ÁREA DO ESTADO DE OCORRÊNCIA DO GUARANI	POPULAÇÃO ESTIMADA (2000)	ÁREA DE AFLORAMENTO	POPULAÇÃO ESTIMADA NA ÁREA DE AFLORAMENTO	NÚMERO ESTIMADO DE MUNICÍPIOS	NÚMERO ESTIMADO DE MUNICÍPIOS NA ÁREA DE AFLORAMENTO
	Km <sup>2</sup>	%							
Mato Grosso do Sul	213.200	25,4	357.471,5	59,6	1.900.749	31.299	141.396	70	27
Rio Grande do Sul	157.600	18,8	280.674,0	56,2	4.451.248	13.402	729.607	361	66
São Paulo	155.800	18,6	248.255,7	62,8	8.679.382	17.376	1.029.010	417	82
Paraná	131.300	15,6	199.323,9	65,9	5.663.522	8.992	271.619	326	47
Goiás	55.000	6,5	340.165,9	16,2	706.464	12.257	61.269	45	8
Minas Gerais	51.300	6,1	586.624,3	8,7	1.694.185	1.634	76.963	55	10
Santa Catarina	49.200	5,9	95.318,3	51,6	1.680.411	5.984	171.748	158	28
Mato Grosso	26.400	3,1	901.420,7	2,9	80.735	13.199	80.735	11	11
Área Total	839.800	100			24.856.696	104.143	2.562.347	1.443	279

Fonte: Elaborado a partir de Borghetti, Borghetti e Rosa Filho<sup>[4]</sup> (p. 138)

A Tabela 1, elaborada a partir de Araújo et al. <sup>[1]</sup>, ANA <sup>[1]</sup>, INDEC <sup>[12]</sup>, DGEEC <sup>[7]</sup>, INE <sup>[13]</sup>, IBGE <sup>[10]</sup> apud Borghetti, Borghetti e Rosa Filho <sup>[4]</sup> (p. 130), representa numericamente a magnitude

da área e volume do aquífero. O Brasil, considerando sua área total de 8.511.965 Km<sup>2</sup>, tem, aproximadamente, 9,9 % de sua área com a ocorrência do Aquífero Guarani .

A Tabela 2 elaborada a partir de Araújo et al.<sup>[1]</sup>, ANA<sup>[1]</sup>, IBGE<sup>[10]</sup> apud Borghetti, Borghetti e Rosa Filho<sup>[4]</sup> (p. 138) representa numericamente a distribuição do Aquífero Guarani nos oito estados brasileiros de sua ocorrência e onde vive uma população de 24,9 milhões de habitantes, equivalente a 14,6% da população total do país no ano 2000.

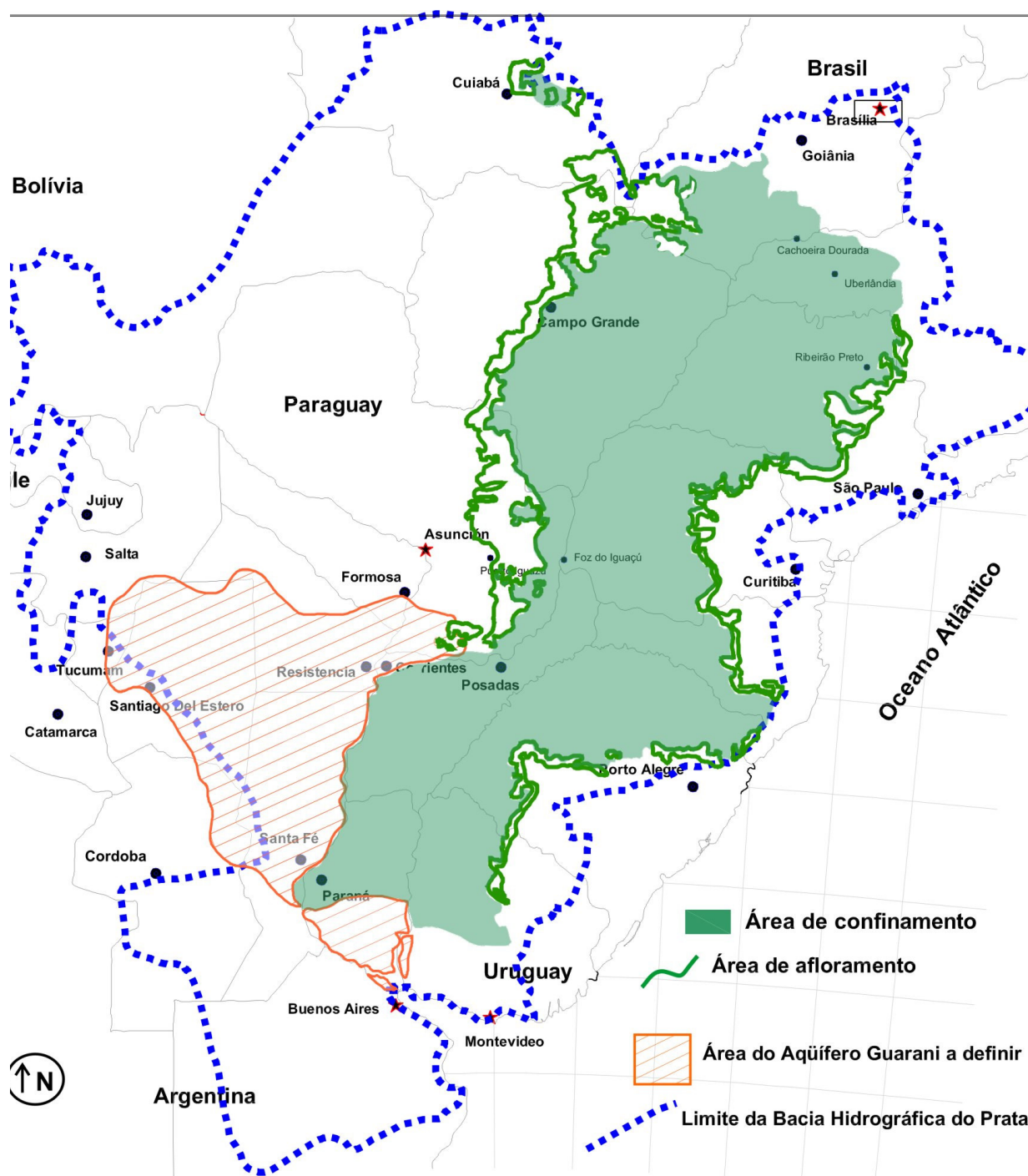


Figura 1 Representação esquemática do Aquífero Guarani

Fonte: Modificado de Borghetti, Borghetti e Rosa Filho[4] (p. 133)

## 2.2 Hidrogeologia

Devido ao fato de suas formações geológicas estarem localizadas sob os territórios de quatro países sul-americanos o aquífero é considerado transfronteiriço, esse manancial subterrâneo já foi designado de Aquífero Gigante do Mercosul por ocorrer nos países participantes do referido acordo comercial.

A indicação do termo Guaraní ao aquífero, sugerida pelo geólogo Danilo Antón da *Universidad de la República de Uruguay*, foi aprovada em Curitiba, Paraná, em 1996, pelos quatro países da sua área de abrangência: Brasil, Paraguai, Argentina e Uruguai. A intenção era unificar a nomenclatura das formações geológicas formadoras do aquífero, e que recebem nomes diferentes nos países de origem e também homenagear os índios guaranis que habitavam a área, na época do descobrimento da América (BORGHETTI; BORGHETTI; ROSA FILHO<sup>[4]</sup>, p. 127-128).

Sistema Aquífero Guaraní - SGA teria sido a melhor titulação para o Aquífero Guaraní “já se trata de um **conjunto heterogêneo** de unidades hidroestratigráficas” (MACHADO<sup>[14]</sup>, grifo nosso). Este sistema hidroestratigráfico Mesozóico é formado por depósitos de origem flúvio-lacustre/eólicos do Triássico (Formação Pirambóia e Rosário do Sul no Brasil, Buena Vista no Uruguai) e por depósitos de origem eólica do Jurássico (Formações Botucatu no Brasil, Misiones no Paraguai e Tacuarembó no Uruguai e Argentina) (REBOUÇAS; BRAGA; TUNDISI<sup>[16]</sup>, p. 137, grifo nosso).

Constitui a unidade hidrogeológica da Bacia Sedimentar do Paraná e Chaco-Paraná formada pelos arenitos eólicos de idade Jurássica e os depósitos flúvio-lacustres de idade Triássica que ocorrem sob os derrames de rochas vulcânicas de idade Jurássico Superior e Cretáceo Inferior (REBOUÇAS; AMORE<sup>[17]</sup>).

Os arenitos reservatórios deste sistema são confinados pelos basaltos da Formação Serra Geral (Cretáceo) e por sedimentos permo-triássicos de baixa permeabilidade (REBOUÇAS; BRAGA; TUNDISI<sup>[16]</sup>, p. 137).

Machado<sup>[15]</sup> (p. 8) conclui em artigo publicado no II Simpósio de Hidrogeologia do Sudeste que o Aquífero Guaraní é na realidade um agrupamento de unidades hidroestratigráficas não havendo necessariamente conexão hidráulica entre essas e não apresentando condições típicas de fluxo transfronteiriço e com heterogeneidade hidroquímicas, com extensas áreas de péssima qualidade, de salobra a salgada.

Após essas considerações, ocorre uma desmitificação sobre o Aquífero Guaraní principalmente no que se diz respeito ao fato de ser o maior reservatório subterrâneo de água doce do mundo, conforme divulgado nos meios de comunicação.

### 2.3 Uso da água, potencial geotérmico e hidrotermalismo

De acordo com Calgano<sup>[5]</sup> (p. 7) o uso principal do Aquífero Guarani no Brasil é o abastecimento às populações, seguido de uso industrial e por fim irrigações e hidrotermalismo, como ilustrado na Figura 2.

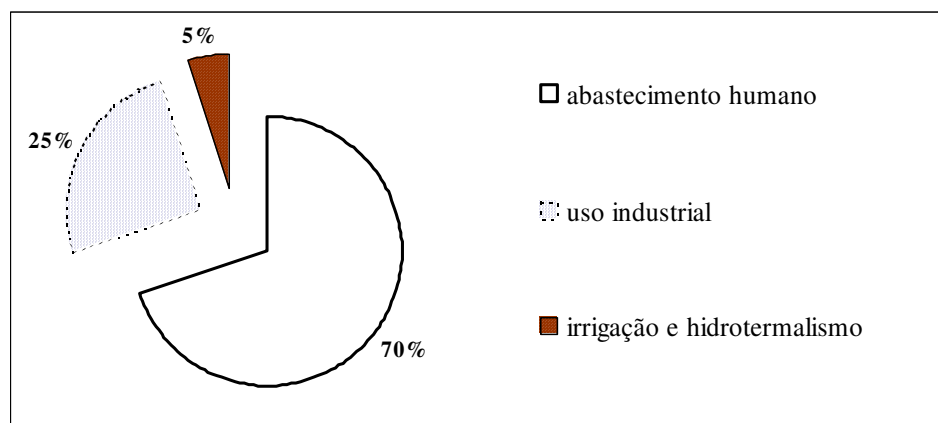


Figura 2 Uso das águas do Aquífero Guarani no Brasil

Fonte: Elaborado a partir de Calgano<sup>[5]</sup> (p. 7)

Embora em algumas regiões a água apresente salobra ou salgada o manancial não deve ser classificado como de “péssima qualidade”, pois estas características podem direcionar para o interesse no turismo aproveitando os possíveis efeitos medicinais e terapêuticos.

Nos últimos anos estruturas de recreação e lazer estão sendo implantadas para aproveitar a temperatura da água e sua limpidez. Segundo Rocha<sup>[18]</sup> (p. 203) “Exemplos recentes são os de Araçatuba-SP (969 m, 49 °C); Francisco Beltrão-PR 91.470 m, 49/C° e Salto-Uruguay (1.295 m, 48°)”.

O geotermalismo, calor interno do globo terrestre, manifesta-se na Bacia Sedimentar do Paraná por essa ser possuidora de rochas permeáveis em grande profundidade e serem sotopostas por uma cobertura impermeável que impede a perda de calor por convecção de fluidos para a superfície, portanto a ocorrência de água quente não se deve à existência de câmaras magmáticas (BORGHETTI; BORGHETTI; ROSA FILHO<sup>[4]</sup>).

A ocorrência de água termal no Aquífero Guarani se deve em função do gradiente geotérmico. Grau geotérmico ou gradiente geotérmico é definido como a profundidade, em metros, necessária para que a temperatura aumente um (1) grau Celsius. O aumento da temperatura em função da profundidade tem valor médio terrestre de 1 °C/34 m (29 °C/Km), ou seja, a temperatura da água aumenta 1°C a cada 34 metros de profundidade.

Localmente, observam-se áreas com anomalias positivas e negativas, na região de Cachoeira Dourada, MG, o grau geotérmico atinge 55 °C/Km (1 °C/18m)

De acordo com os estudos de Teissedre e Barner (apud Borghetti, Borghetti e Rosa Filho<sup>[4]</sup> (p. 153) a relação da temperatura da água em função da profundidade é expressa pela expressão:  $T(^{\circ}C) = 0,0282 * P(m) + 22$  onde P é a profundidade do topo do aquífero e T temperatura na boca do poço e 22 é a temperatura correspondente à temperatura média anual da região. Na Figura 3 estão as isotermas do Aquífero Guarani.

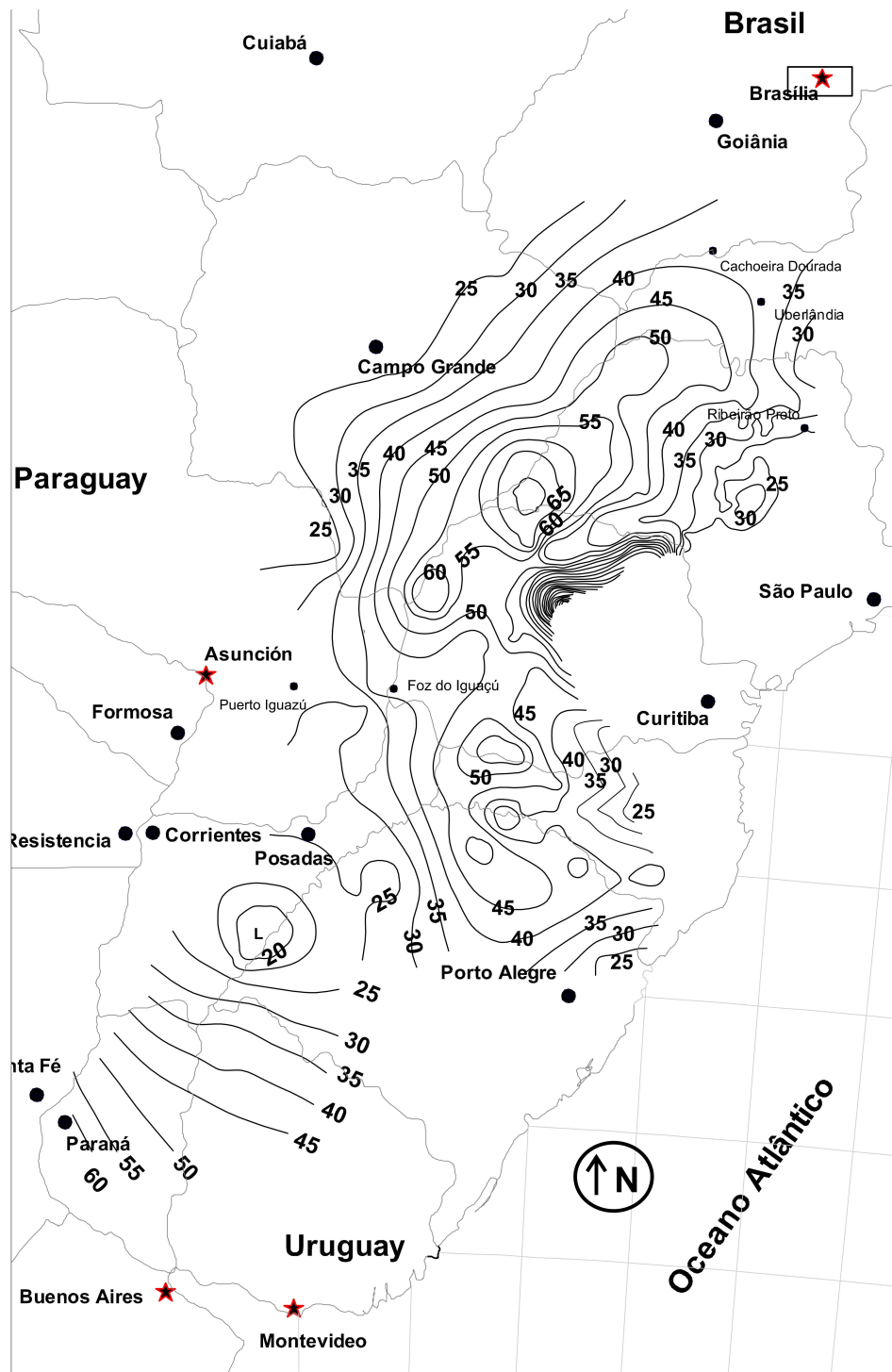


Figura 3 Isotermas do Aquífero Guarani

Fonte: Modificado de Forlin e Rosa Filho[8] apud Borghetti, Borghetti e Rosa Filho[4] (p. 155)

Segundo Borghetti, Borghetti e Rosa Filho<sup>[4]</sup> (p. 154) “as águas do Aquífero Guarani podem atingir temperaturas relativamente elevadas, em geral entre 30 °C e 68 °C, sendo que temperatura média é de 25 °C a 30 °C”.

No Projeto de Proteção Ambiental e Desenvolvimento Sustentável do Sistema Aquífero Guarani, que teve o Banco Mundial como agência implementadora dos recursos e a Organização dos Estados Americanos (OEA) como agência executora internacional, Chang<sup>[6]</sup> (p. 21) relatou que a energia geotérmica do SAG representa um potencial de aproveitamento significativo estimado em 280 MW ano/Km<sup>2</sup>. Classifica também o SAG como de baixa entalpia em função da variação da temperatura de 30 °C a 70 °C, e com a estimativa da área com potencial de produção de águas termais superiores a 38 °C atinge aproximadamente 380.000Km<sup>2</sup> aproximadamente 45 % da sua área em território brasileiro, ou seja, 4,5 % da área total do país

### **3 ESTUDO DE CASO: CACHOEIRA DOURADA – MG**

É feita a seguir uma simulação do pré-aquecimento da água utilizada para consumo a partir da água quente extraída do Aquífero Guarani na localidade de Cachoeira Dourada, MG, considerando o uso de um trocador de calor do tipo casco e tubo, com número de passes múltiplo de dois, nos tubos.

O objetivo desse trabalho não é discutir o projeto do equipamento trocador de calor e sim a analisar as temperaturas de saída da água pré-aquecida e conseqüente ganho de energia térmica com a utilização do equipamento.

A água termal explotada do Aquífero Guarani provém de um poço tubular profundo e abastece um empreendimento turístico para fins balneários na cidade de Cachoeira Dourada, Minas Gerais. Os dados utilizados foram fornecidos pela Mineração Sal Nascente Ltda. responsável pela perfuração e portadora do Alvará de Pesquisa liberado pelo Departamento Nacional de Produção Mineral - DNPM.

A água quente subterrânea aflora com uma temperatura de 38 °C, porém, devido à alta salinidade, é indesejada para o consumo direto. A abundância de mananciais superficiais na região os torna, após tratamento adequado, mais interessante para o consumo humano. A pré-fixação de um valor máximo para o diferencial térmico garante o conforto balneário e não compromete o uso do hidrotermalismo no empreendimento turístico.

A água fria superficial utilizada vem da rede pública e tem temperatura média de 20 °C.

Os parâmetros envolvidos são as temperaturas, medidas no trocador, de entrada e de saída da água utilizada para o consumo humano e as temperaturas de entrada e de saída da água proveniente



do aquífero. A redução da temperatura da água quente ao passar pelo trocador de calor é fixada em  $\Delta T_q = 3^\circ \text{C}$  para não prejudicar o uso balneário.

O trocador de calor é um equipamento que pode ser adquirido pronto em vários modelos disponíveis no comércio ou fabricado sob encomenda. O fluxo de energia aqui analisado é devido a apenas à transferência de calor entre a água proveniente do aquífero e a potável, disponível para o consumo.

O fluxo no trocador de calor casco e tubo de correntes cruzadas e contrárias, onde os fluidos entram por extremidades opostas, escoam em sentidos opostos e saem por extremidades opostas, é representado esquematicamente na Figura 4.

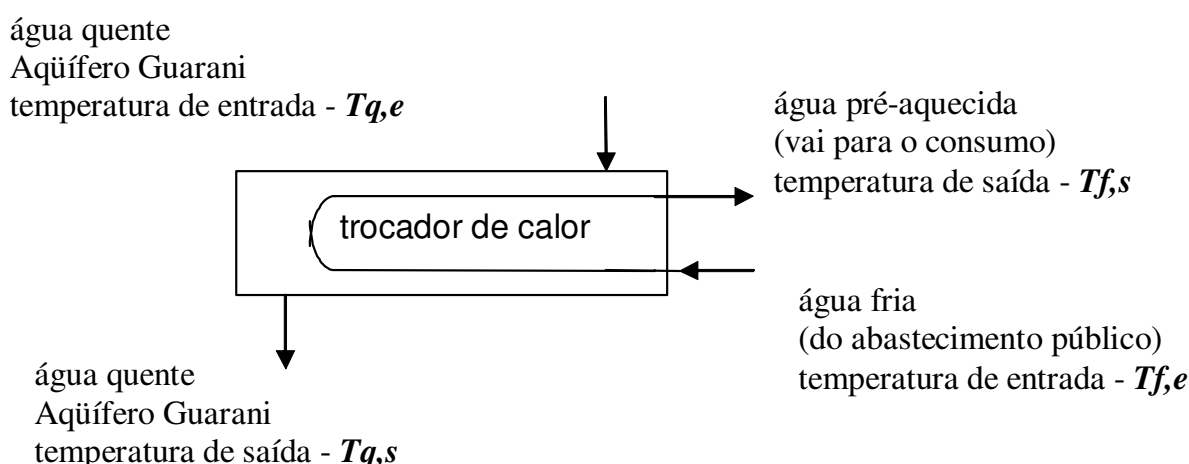


Figura 4 Esquema do fluxo no trocador de calor casco e tubo com um passe no casco e um número par de passes nos tubos.

Para os balanços de energia e análises subseqüentes serão consideradas as seguintes hipóteses:

- O trocador de calor é isolado de sua vizinhança, a troca de calor é apenas entre os fluidos quente e frio;
- As propriedades dos fluidos são constantes;
- São desprezíveis as variações de energias potencial e cinética, resistência térmica da parede do tubo e efeitos de incrustações.

A aplicação da equação de energia em escoamento estacionário oferece a taxa total de transferência de calor  $q$  entre o fluido quente e frio (INCROPERA; DEWITT<sup>[11]</sup>, p. 456).

$$\dot{q} = \dot{m}_q c_{p,q} (T_{q,e} - T_{q,s}) \quad (3.1)$$

$$\dot{q} = \dot{m}_f c_{p,f} (T_{f,s} - T_{f,e}) \quad (3.2)$$

A equação 3.3 relaciona a taxa total de transferência de calor  $q$  com as diferenças de temperaturas em um trocador de calor com correntes contrárias:

$$q = U \cdot A \cdot \Delta T_{lm} \quad (3.3)$$

Onde  $\Delta T_{lm}$  é chamada, segundo Incropera e Dewitt<sup>[11]</sup> (p. 458-459) de “média logarítmica da diferença de temperatura”. Esta temperatura é a diferença média entre as temperaturas de entrada e saída dos fluidos, dada pela equação (3.4) e representada na Figura 5:

$$\Delta T_{lm} = \frac{\Delta T_2 - \Delta T_1}{\ln\left(\frac{\Delta T_2}{\Delta T_1}\right)} \quad (3.4)$$

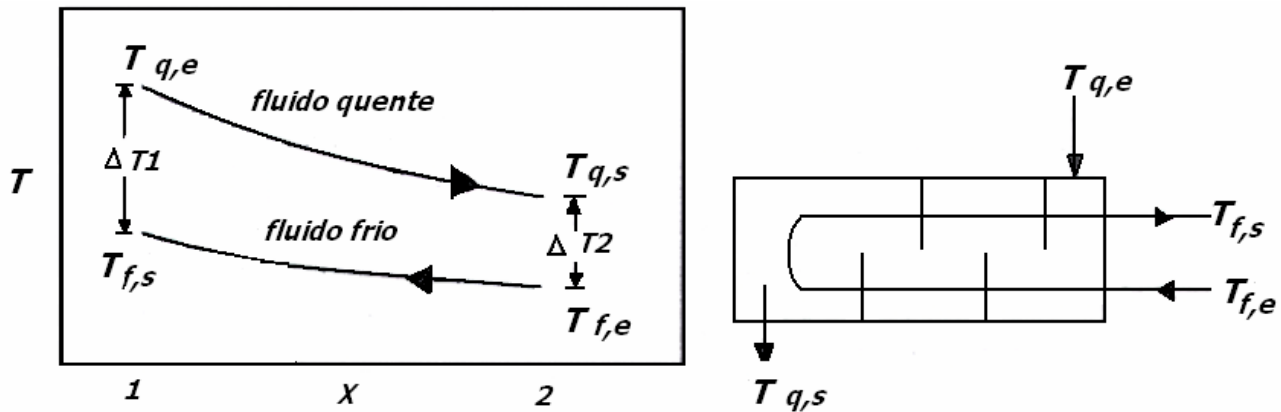


Figura 5 Distribuições de temperatura para um trocador de correntes contrárias (INCROPERA; DEWITT<sup>[11]</sup>, p. 458)

Em trocadores de calor com escoamento cruzado e com passes múltiplos a equação (3.4) pode ser utilizada desde que sujeita à seguinte correção:

$$\Delta T_{lm} = F \cdot \frac{\Delta T_2 - \Delta T_1}{\ln\left(\frac{\Delta T_2}{\Delta T_1}\right)} \quad (3.5)$$

Onde  $F$  é o fator de correção obtido no gráfico da Figura 6, em função das variáveis  $P$  e  $Q$  definidas pelas equações (3.8) e (3.9) (INCROPERA; DEWITT<sup>[11]</sup>, p. 459).

$$\left[ \begin{array}{l} \Delta T_1 \equiv T_{q,1} - T_{f,1} = T_{q,e} - T_{f,s} \\ \Delta T_2 \equiv T_{q,2} - T_{f,2} = T_{q,s} - T_{f,e} \end{array} \right] \quad (3.6)$$

$$\Delta T_{lm} = F \cdot \frac{(T_{q,s} - T_{f,e}) - (T_{q,e} - T_{f,s})}{\ln\left(\frac{T_{q,s} - T_{f,e}}{T_{q,e} - T_{f,s}}\right)} \quad (3.7)$$

$$R = \frac{T_{q,e} - T_{q,s}}{T_{f,s} - T_{f,e}} \quad (3.8)$$

$$P = \frac{T_{f,s} - T_{f,e}}{T_{q,e} - T_{f,e}} \quad (3.9)$$

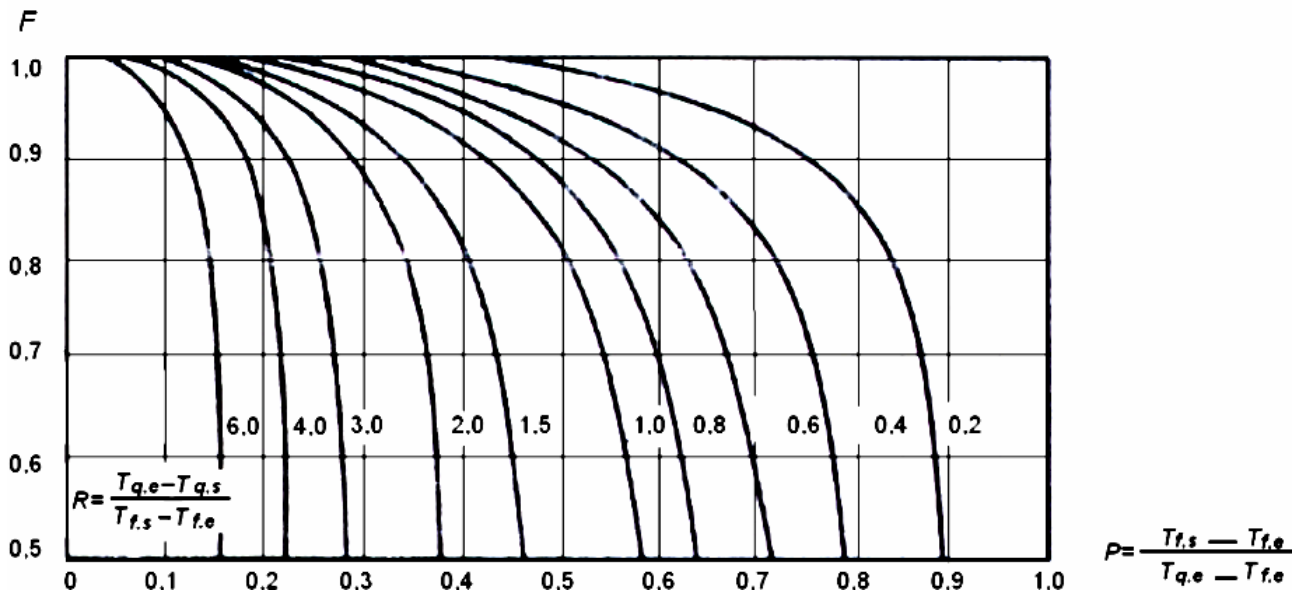


Figura 6 Fator de correção para um trocador de calor casco e tubo com um casco e um número de passes, múltiplo de dois, nos tubos (dois, quatro etc. passes por tubo).

Para a vazão de água fria adotada considerou-se a vazão de projeto de 0,2 L/s para cada aparelho chuveiro, de acordo com a Associação Brasileira de Normas Técnicas<sup>[3]</sup>. No acaso de balneário estes aparelhos podem funcionar simultaneamente, portanto, a vazão máxima provável é a soma de todas as vazões, ou seja 2 L/s.

- Vazão de água quente: 20 m<sup>3</sup>/h ou 0,0056 m<sup>3</sup>/s (referente à vazão do poço explotado).
- Vazão de água fria: 0,002 m<sup>3</sup>/s (balneário ou edifício com uso de 10 chuveiros simultâneos)

A massa específica do fluido quente foi obtida em laboratório, com amostra coletada *in loco*, e ensaio realizado com a água na temperatura de 38 °C.

A massa de específica do fluido frio, o calor específico do fluido quente e frio foram obtidos em Holman<sup>[9]</sup> (p. 618). A seguir, estão relacionados os valores as variáveis envolvidas.

$T_{f,e} =$	20	°C
$T_{q,e} =$	38	°C
$T_{q,s} =$	35	°C
$T_{f,s} =$	?	°C
$cp_{,q} =$	4174	J/ kg . K à 38 °C
$cp_{,f} =$	4180	J/ kg . K à 21 °C
$\rho f =$	998	kg/m <sup>3</sup> à 20 °C
$\rho q =$	1001	kg/m <sup>3</sup> à 38 °C

$\dot{m}_q =$	5,566	kg/s	$\dot{m}_q =$	$\rho q \cdot$ vazão água quente	kg/s
$m_f =$	1,996	kg/s	$m_f =$	$\rho f \cdot$ vazão água fria	kg/s
$Cq =$	$\dot{m}_q \cdot cp_{,q} =$	23231	W/K		

$$Cf = \dot{m}_f \cdot cp_f = 8343 \text{ W/K}$$

Substituindo os dados acima na equação (3.1) obtém-se:

$$q = 69692 \text{ W}$$

Obtém-se  $T_{f,s}$  igualando as equações (3.1) e (3.2):

$$T_{f,s} = 28,35 \text{ °C}$$

$$T_{f,s} - T_{f,e} = 8,35 \text{ °C}$$

$$T_{q,e} - T_{q,s} = 3 \text{ °C}$$

Obtém-se  $\Delta T_{ml}$  através da equação 3.4:

$$\Delta T_1 = 9,65 \text{ °C}$$

$$\Delta T_2 = 15 \text{ °C}$$

$$\Delta T_{ml} = 12,13 \text{ °C}$$

Cálculo de  $F$  para corrigir  $\Delta T_{ml}$  utilizando as equações 3.8 e 3.9:

$$R = 0,36$$

$$P = 0,46$$

Do gráfico da Figura 6 obtém-se:

$$F = 0,98$$

Valor corrigido de  $\Delta T_{ml}$ :

$$\Delta T_{ml} = 0,98 \cdot 12,13 = 11,89 \text{ °C}$$

Da equação (3.3) obtém-se:

$$U.A = 5864 \text{ W/°C}$$

O coeficiente global de transferência de calor por unidade de área obtido acima permite o dimensionamento ou a escolha do modelo comercial do trocador de calor.

A economia que representa este ganho de calor devido a um aquecimento de aproximadamente 8 °C depende do sistema de aquecimento a ser comparado. Por exemplo, se for considerado 38 °C a temperatura da água consumida em um chuveiro elétrico ou que em um sistema central coletivo a temperatura de armazenamento da água é de 50 °C, o ganho térmico no trocador de calor representa:

a) em relação ao chuveiro elétrico:  $\frac{8 \text{ °C}}{(38 - 20) \text{ °C}} \cdot 100 = 44,4\%$  da energia necessária;

b) em relação a um sistema central coletivo:  $\frac{8 \text{ °C}}{(50 - 20) \text{ °C}} \cdot 100 = 26,7\%$  da energia necessária.

Estes são os ganhos energéticos para um sistema de pré-aquecimento de passagem nas condições acima. À medida que a vazão de abastecimento aumenta a temperatura de pré-

aquecimento diminui para um mesmo poço, isto é, para uma mesma vazão de 20.000 L/hora, como mostrado nas Figuras 7, 8 e 9.

Pode ser observado nas figuras abaixo que quando a vazão é muito baixa a temperatura de saída da água de abastecimento coincide com a temperatura de entrada da água quente. Isto ocorre devido às hipóteses admitidas anteriormente. Esta condição de equilíbrio, obtendo o máximo aproveitamento térmico, tende a acontecer se o trocador de calor for de acumulação, após grandes intervalos de tempo sem consumo e se as perdas para o meio ambiente forem desprezíveis.

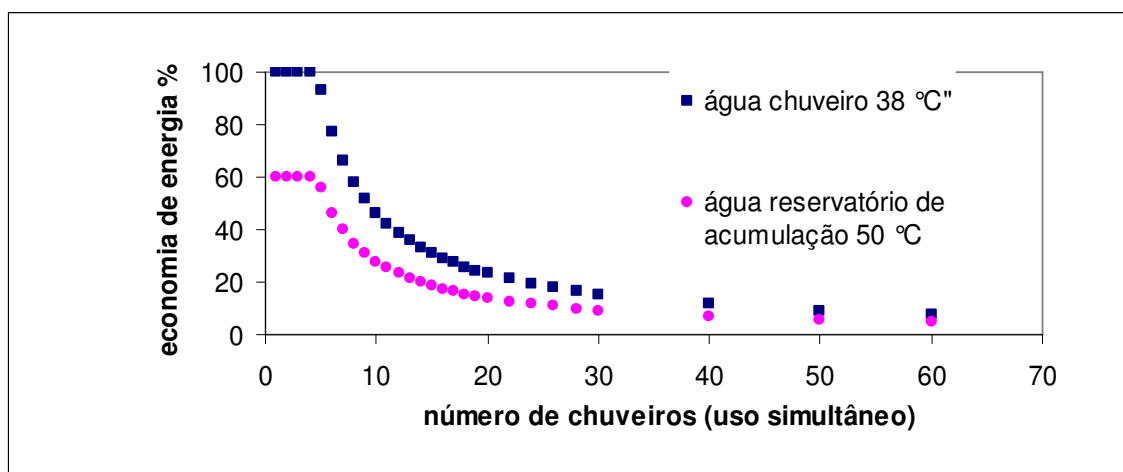


Figura 7 Economia de energia obtida com a água explotada de um poço em função do número de aparelhos abastecidos.

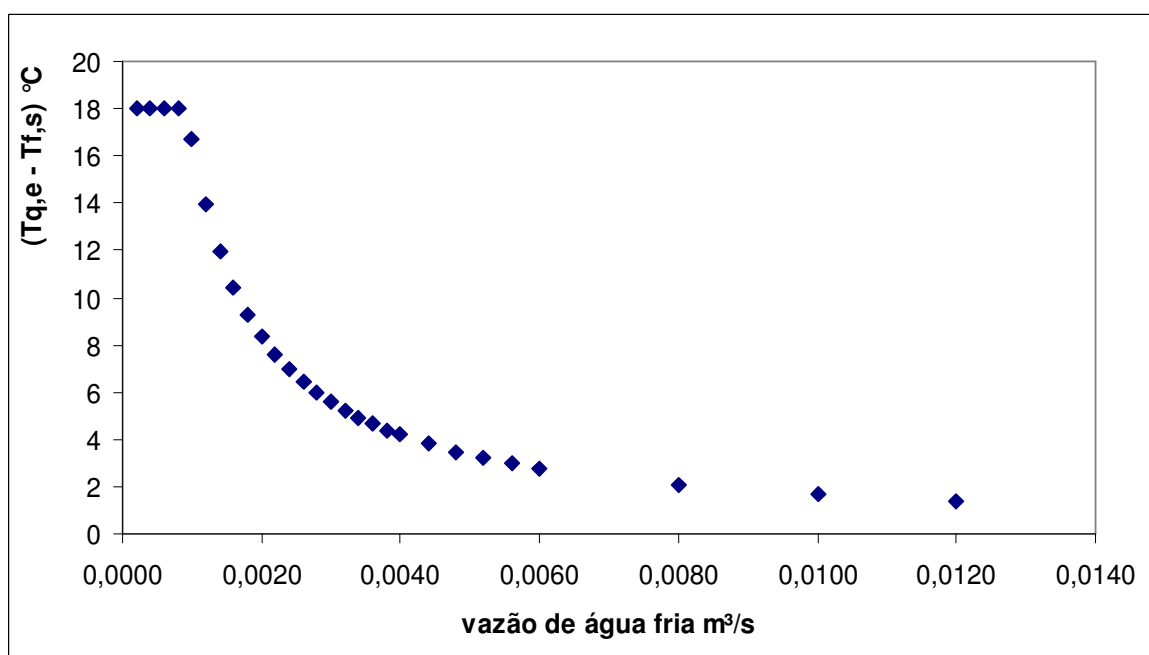


Figura 8 Diferencial térmico entre a temperatura da água do poço na entrada do aquecedor e a temperatura da água que sai para consumo

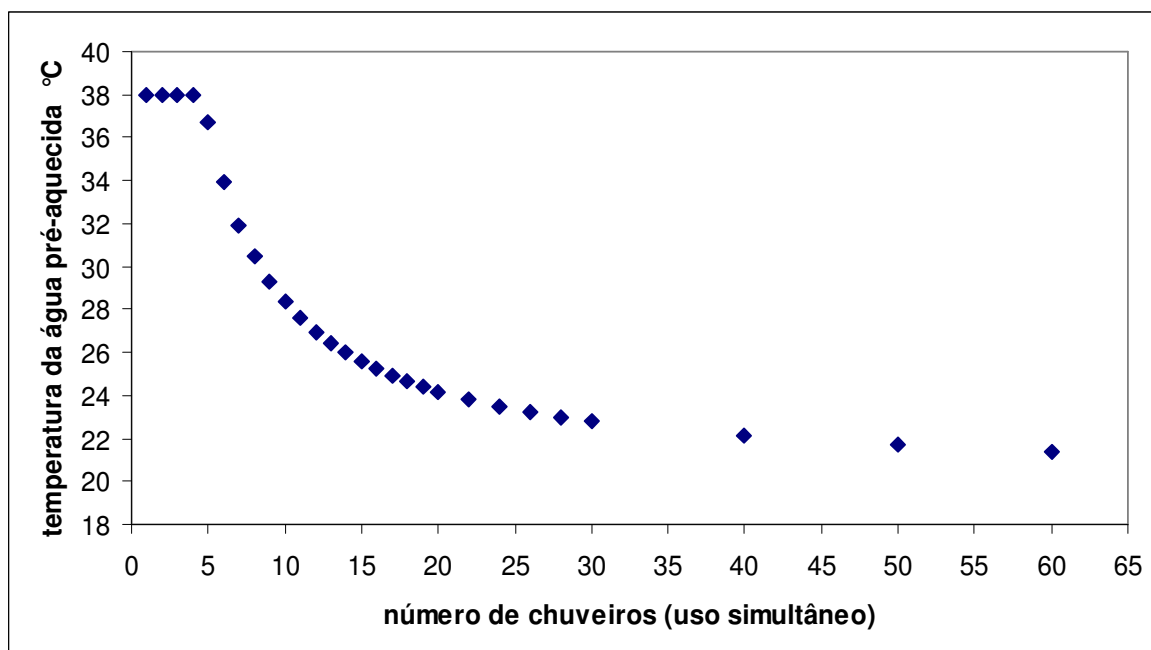


Figura 9 Temperatura da água pré-aquecida em relação ao número de chuveiros com funcionamento simultâneos.

Tabela 3 Símbolos

<b>Simbologia adotada</b>		
$A$	área da superfície de transferência de calor no trocador de calor	$m^2$
$C_f$	taxa de capacidade de calor para o fluido frio	$J/K$
$C_q$	taxa de capacidade de calor para o fluido quente	$J/K$
$c_{p,f}$	calor específico do fluido frio	$J/(kg.K)$
$c_{p,q}$	calor específico do fluido quente	$J/(kg.K)$
$C_q$	taxa de capacidade de calor para o fluido quente	$J/K$
$C_q$	taxa de capacidade de calor para o fluido quente	$W/K$
$q$	taxa de transferência de calor	$W$
$\dot{m}_q$	vazão em massa do fluido quente	$kg/s$
$\dot{m}_f$	vazão em massa do fluido frio	$kg/s$
$T_{f,e}$	temperatura de entrada do fluido frio	$K$
$T_{f,s}$	temperatura de saída do fluido frio	$K$
$T_{q,e}$	temperatura de entrada do fluido quente	$K$
$T_{q,s}$	temperatura de saída do fluido quente	$K$
$U$	coeficiente global de transferência de calor, energia interna	$W/(m^2.K), J$
$\Delta T_f$	diferença de temperatura do fluido frio	$K$
$\Delta T_q$	diferença de temperatura do fluido quente	$K$
$\rho_f$	massa específica do fluido frio	$kg/m^3$
$\rho_q$	massa específica do fluido quente	$kg/m^3$

## 4 CONSIDERAÇÕES FINAIS

As variações das propriedades hidroquímicas e hidrogeológicas das águas armazenadas no Aquífero Guarani podem determinar o uso e a classificação das águas em salobras ou salgadas têm restringindo as opções de utilização. Águas não adequadas ao consumo humano e a outros usos considerados nobres vêm ganhando destaque no turismo balneário, onde a salinidade pode ser um atrativo. A impossibilidade da utilização da água salobra e salgada diretamente para consumo humano não a inviabiliza tornar-se útil como fonte energética para pré-aquecimento de água potável através de um trocador de calor onde os fluidos não se misturam.

No presente trabalho demonstrou-se como um trocador de calor de passagem proporciona um ganho térmico significativo, sem comprometer o uso balneário da água termal, isto é, sem que a queda de temperatura da água do aquífero comprometa esta forma de uso. Se o trocador de calor considerado for um reservatório de acumulação, devidamente isolado do meio externo, o aproveitamento energético é ainda maior, pois em muitas horas do dia a vazão de abastecimento é nula enquanto o fluxo de água quente pode continuar ocorrendo, fato que faz com que a temperatura da água potável aumente ainda mais. Além disto, a acumulação de água pré-aquecida contribui para suprir a demanda em horários de maior vazão.

O uso do pré-aquecimento, ainda pouco explorado, pode ser implantado em combinação com outros sistemas de aquecimento, com economia de fontes convencionais de aquecimento, contribuindo para o aproveitamento sustentável do Aquífero Guarani.

Deve ser matéria de estudo futuro a questão da incrustação no trocador de calor devido à qualidade da água em questão.

## 5 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

[1] ANA (Agência Nacional das Águas). **Projeto Aquífero Guarani**, 2001. Disponível em: <<http://www.ana.gov.br/guarani>>. Acesso em: 22 fev. 2004.

[2] ARAÚJO, L. M. et al. **Aquífero Gigante do Mercosul no Brasil, Argentina, Paraguai e Uruguai**: mapas hidrogeológicos das formações Botucatu, Pirambóia, rosário do Sul, Buena Vista, Misiones e Tacuarembó. Curitiba: Universidade Federal do Paraná, Biblioteca de Ciências e Tecnologia e Petrobrás, 1995. 16p.

[3] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 5626**: instalação predial de água fria. Rio de Janeiro, 1998.

[4] BORGHETTI, N. R. B.; BORGHETTI, J. R.; ROSA FILHO, E. F. da. **Aquífero Guarani**: a verdadeira integração do Mercosul. 1. ed. Rio de Janeiro: Fundação Roberto Marinho, 2004. 214 p.

- [5] CALGANO, A. Identificación de áreas para la ejecución de programas y acciones piloto y definición de terminos de referencia: atividade 09. **Projeto Aquífero Guarani**. Brasil: Agência Nacional de Águas, 2001. Disponível em: <[http://www.ana.gov.br/guarani/gestao/gest\\_cbasico.htm](http://www.ana.gov.br/guarani/gestao/gest_cbasico.htm)>. Acesso em: 16 maio 2006.
- [6] CHANG, H. K. Uso atual e potencial do Sistema Aquífero Guarani: atividade 03. **Projeto Aquífero Guarani**. Brasil: Agência Nacional de Águas, 2001. Disponível em: <[http://www.ana.gov.br/guarani/gestao/gest\\_cbasico.htm](http://www.ana.gov.br/guarani/gestao/gest_cbasico.htm)>. Acesso em: 16 maio 2006.
- [7] DGEEC (Dirección General de Estadística, Encuestas y Censos), 2002. Disponível em: <<http://www.dgeec.gov.py/>>. Acesso em: 22 fev. 2004.
- [8] FORLIN, M; ROSA FILHO, E.F. **Mapa de isotermas do Sistema Aquífero Guarani**. Curitiba: UFPR, 2001. 1mapa. Escala 1:1.000.000.
- [9] HOLMAN, J.F. **Transferência de calor**. Tradução de Luiz Fernando Milanez. São Paulo: McGraw-Hill, 1983. 639 p.
- [10] IBGE (Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística). **Censo Demográfico 2000**. Anuário Estatístico do Brasil 2000 – resultados preliminares. Brasil. Disponível em: <http://ibge.gov.br>. Acesso em: 19 set. 2003.
- [11] INCROPERA, F. P.; DEWITT D. P. Transferência de calor e de massa. 5. ed. Rio de Janeiro: LTC-Livros Técnicos e Científicos Editora S.A. 2003. 698 p.
- [12] INDEC (Instituto Nacional de Estadística y Censos). **Censo Nacional de Población Hogares y Viviendas, 2001**. Argentina: Instituto Geográfico Militar, 2001. Disponível em: <[http://www.indec.mecon.ar/principal.asp?id\\_tema=50](http://www.indec.mecon.ar/principal.asp?id_tema=50)>. Acesso em: 22 fev. 2004.
- [13] INE (Instituto Nacional de Estadística República Oriental Del Uruguay). **Proyecciones de población: revisión 2000 al 30 jun. 2002**. Uruguay: Instituto Geográfico Militar, 2002. Disponível em: <<http://www.ine.gub.uy/biblioteca/anuario2003/datos/1.14.xls>>. Acesso em: 22 fev. 2004.
- [14] MACHADO, J. L. F. A redescoberta do Aquífero Guarani. **Scientific American**, Brasil. n. 47, p. 32-39, abr. 2006.
- [15] MACHADO, J. L. F. A verdadeira face do “Aquífero Guarani”: mitos e fatos. In: SIMPÓSIO DE HIDROGEOLOGIA DO SUDESTE, 2., 2005, Ribeirão Preto. **Anais...** Ribeirão Preto: Associação Brasileira de Águas Subterrâneas, 2005.
- [16] REBOUÇAS, A. C; BRAGA, B.; TUNDISI, J. G. **Águas doces do Brasil: capital ecológico, uso e conservação**. 2. ed. rev. e ampliada. São Paulo: Escrituras, 2002. 702 p.
- [17] REBOUÇAS, Aldo da Cunha; AMORE, Luiz. O Sistema Aquífero Guarani - SAG. **Revista Águas Subterrâneas**, Curitiba, n. 16, p. 135-143, maio, 2002. Associação Brasileira de Águas Subterrâneas.
- [18] ROCHA, G. A. O grande manancial do Cone Sul. In: SEMINÁRIO INTERNACIONAL AQUIFERO GIGANTE DO MERCOSUL, 1996, Curitiba. **Anais...** Curitiba: Universidade Federal do Paraná, 1996, p. 191-212. Disponível em < [http://www.scielo.br/scielo.php?pid=S0103-40141997000200013&script=sci\\_arttext&tlng=pt](http://www.scielo.br/scielo.php?pid=S0103-40141997000200013&script=sci_arttext&tlng=pt) >.