

ANÁLISE DE SISTEMAS SOLARES DE AQUECIMENTO DE ÁGUA APLICÁVEIS A HOSPITAIS

Evandro Sérgio Camêlo Cavalcanti – camelo@cepel.br¹

Eduardo de Souza – edusouza@cepel.br

João Carlos Rodrigues Aguiar – jocarlos@cepel.br

Centro de Pesquisas de Energia Elétrica – CEPTEL/Departamento de Tecnologias Especiais – DTE

Alexandre Tocchetto – alexandret@ghc.com.br

Grupo Hospitalar Conceição – GHC

Maria Cristina Paschoal – mariapp@eletrobras.com

Eletrobrás/PROCEL

2.2 – Equipamentos e sistemas de aquecimento de água

Resumo. *O consumo de energia associado com o aquecimento de água em hospitais tem sido objeto de análise pela comunidade científica, que tem buscado alternativas de tecnologias que permitam a redução do custo de operação deste tipo de instalação. Apresenta-se neste trabalho a análise da possibilidade de atender em parte a carga térmica de aquecimento de água para banho com a energia solar a ser captada por coletores solares planos para aplicação em três hospitais localizados na cidade de Porto Alegre (RS). Para cada um dos hospitais, foram determinadas as demandas térmicas associadas ao consumo de água quente para banho de pacientes e funcionários. Com base nos resultados obtidos, pode-se estimar que o consumo de energia elétrica para aquecimento de água é da ordem de 6,7% do consumo anual de energia elétrica dos três hospitais. A avaliação do recurso solar e do desempenho do sistema solar com base anual foram realizadas através de simulação utilizando-se um módulo do programa RETScreen adequado para a simulação de sistemas de aquecimento solar de água. Apresenta-se, também, discussão sobre necessidade das curvas de eficiências de coletores planos necessárias para que se possa fazer as simulações dos sistemas com o programa RETScreen, uma vez que estas não são, na maioria das vezes, apresentadas pelos fabricantes de coletores solares brasileiros. Para cada uma das soluções propostas são apresentadas análises de viabilidade técnico-econômica.*

Palavras-chave: *Aquecimento de Água, Energia Solar, Coletor Solar, Programa RETScreen*

1. INTRODUÇÃO

O consumo de energia associado com o aquecimento de água em hospitais tem sido objeto de análise pela comunidade científica, que tem buscado alternativas de tecnologias que permitam a redução do custo de operação deste tipo de instalação. Diversas são as tecnologias que podem ser utilizadas para o aquecimento de água, como por exemplo, bombas de calor, células a combustível, sistemas de co-geração com motores ou turbinas a gás, coletores solares planos ou concentradores solares, entre outros (Bizzarri e Morini, 2006) (Ferguson e Ugursal, 2004) (Van Schijndel, 2002).

Apresenta-se neste trabalho a análise de estratégias para o projeto e operação de sistemas de aquecimento solar de água com coletores planos, para aplicação em três hospitais do Grupo Hospitalar Conceição (GHC) localizados na cidade de Porto Alegre (RS) (lat. = 30°3'24"; long. = 51°13'2").

¹ Endereço atual: PETROBRAS / MATERIAIS / CDBS / ATF – evandro.camelo@petrobras.com.br

O Hospital Cristo Redentor (HCR) possui 282 leitos, com taxa de ocupação de aproximadamente 80%; o Hospital Nossa Senhora da Conceição (HNSC) possui 833 leitos, com taxa de ocupação de 93% e o Hospital Criança Conceição (HCC) possui 257 leitos, com taxa de ocupação de 60%. O consumo médio anual de energia elétrica dos três hospitais no período de abril de 2005 a março de 2006 foi de aproximadamente 8.180 MWh para atender diversas cargas, entre elas o aquecimento de água. Atualmente, o aquecimento de água para banho nos três hospitais é feito majoritariamente através de chuveiros elétricos, com poucas exceções de chuveiros com misturador alimentado por sistema de distribuição de água quente servido por *boiler* a vapor.

Neste trabalho, para cada um dos três hospitais, apresenta-se a análise da possibilidade de atender em parte a carga térmica de aquecimento de água para banho com a energia solar a ser captada por coletores solares planos. Para as soluções propostas são apresentadas análises de viabilidade técnico-econômica. A avaliação do recurso solar e do desempenho do sistema solar com base anual foram realizadas através de simulação computacional. A estimativa do desempenho do sistema feita utilizando-se o programa RETScreen (2006), baseado na metodologia *f-Chart* adequada para sistemas com armazenamento (Beckman, *et al.* 1977) (Duffie e Beckman, 2006), o que permite calcular a fração solar, ou seja, a fração da energia utilizada no aquecimento da água que é fornecida pelo sistema de aquecimento solar. Apresenta-se, também, discussão sobre a necessidade das curvas de eficiências de coletores planos para que se possa fazer as simulações dos sistemas com o programa RETScreen (2006), uma vez que estas não são, na maioria das vezes, apresentadas pelos fabricantes de coletores solares brasileiros.

2. SISTEMA DE AQUECIMENTO SOLAR

Para o aquecimento de água em cada hospital propõe-se o uso de um sistema de captação de energia solar, com circulação forçada de água, composto de coletores solares planos com uma única cobertura de vidro e reservatório de acumulação térmica em água quente com volume igual ao volume de água quente consumido diariamente para banho (ver Tabela 1), que é aproximadamente o dobro do consumo médio diário de água quente a 60°C para cada hospital (ver Tabela 2), ou seja, 12.000 litros de armazenamento para o HCR, 40.000 litros para o HNSC e 8.000 litros para o HCC. Desta forma, cada sistema contará com uma reserva de água quente para atender o consumo de água quente durante um dia chuvoso.

Na Figura 1 apresenta-se a proposta para o arranjo físico típico da instalação do sistema de aquecimento solar com armazenamento a ser instalado, se possível, no telhado de cada hospital.

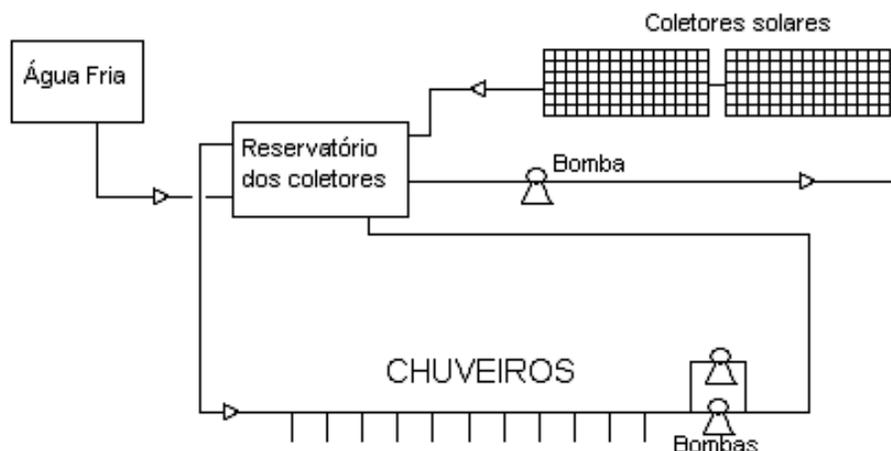


Figura 1 – Sistema de aquecimento solar proposto.

Deve-se destacar que o valor da área de coletores necessária para uma determinada aplicação de aproveitamento solar depende fortemente da carga térmica mensal de aquecimento de água e do critério de projeto adotado. Recomenda-se para o cálculo da área de captação da energia solar para

o sistema proposto para cada hospital, o critério de projeto segundo o qual esta deve ser 10% superior à área necessária para suprir 100% da carga térmica de aquecimento de água durante o verão.

2.1 Avaliação da Carga Térmica de Aquecimento de Água

De acordo com informações obtidas junto a esses hospitais, cada paciente toma em média um banho por dia. A fim de se estimar a energia necessária para o aquecimento de água para banho em cada hospital, considerou-se que cada banho típico dure cerca de dez minutos, e que o consumo de água seja de quatro litros por minuto, ou seja, quarenta litros por banho. Levando-se em conta o número de leitos e a taxa de ocupação de cada hospital, bem como a possibilidade dos médicos e funcionários tomarem banho, considerou-se razoável admitir como estimativa do número de banhos por dia e do consumo de água diário para cada hospital os valores indicados na Tabela 1.

Tabela 1 – Consumo diário de água para banho por hospital

Unidade Hospitalar	Nº de Leitos	Nº de Empregados	Taxa de Ocupação [%]	Estimativa de banhos	Consumo de água p/ banho [l/dia]
HCR	282	1.156	80%	300	12.000
HNSC	833	3.749	93%	1.000	40.000
HCC	257	857	60%	200	8.000

Para a avaliação do consumo de energia para aquecimento de água foram adotadas as seguintes hipóteses: a temperatura da água para banho confortável foi fixada como sendo igual a 38°C, a fim de garantir uma condição de conforto térmico; e a temperatura da água armazenada no reservatório do sistema de aquecimento como sendo fixa e igual a 60°C. Além dessas premissas, faz-se necessário também conhecer o valor da temperatura da água do manancial de abastecimento da rede pública da cidade de Porto Alegre, que varia ao longo do dia e também com as estações do ano.

Devido a indisponibilidade de dados de medições para a temperatura da água do manancial de abastecimento ao longo do ano para a cidade de Porto Alegre, neste trabalho esta temperatura foi estimada, segundo à recomendação de Kehl (2004), como sendo igual a três graus Celsius abaixo da temperatura de bulbo seco ambiente. Esta variação, tomada a partir de uma média mensal, permite calcular a carga térmica necessária para cada mês do ano. Na Tabela 2, estão relacionadas as temperaturas médias mensais de bulbo seco (BS) do ar ambiente para a cidade de Porto Alegre, as temperaturas estimadas para a água do manancial, o percentual de água a 60°C que deve ser utilizado por mês (para ser misturado à água fria, de modo a se obter água à temperatura de 38°C) e a energia necessária para promover o aquecimento desta quantidade de água, de acordo com a Eq. (1):

$$Q = \frac{m \cdot c_p \cdot (60 - T_{H_2O})}{3.600.000} \quad (1)$$

onde,

Q = quantidade de energia necessária para promover o aquecimento da água, em MWh;

m = massa de água consumida por mês, em kg;

c_p = calor específico da água, adotado como 4,2 kJ/kg.°C;

T_{H_2O} = temperatura da água do manancial da cidade, em °C.

Na Tabela 2 pode-se observar que a temperatura estimada para água do manancial da cidade de Porto Alegre variará entre 11,3 e 21,7°C durante o ano. Considerando-se que a temperatura do banho seja de 38°C e que a temperatura da água quente seja de 60°C, foi calculada a quantidade de água quente a ser misturada da com a água fria do manancial da cidade. Durante o ano, o consumo de água quente variará entre 42,56% e 54,83% do consumo total de água para banho nos três hospitais; o consumo anual de energia com aquecimento de água para banho, em cada um dos hospitais, é estimado como sendo igual a 110,34 MWh para o HCR, 367,79 MWh para o HNSC e

73,56 MWh para o HCC. Com base nos resultados obtidos, pode-se estimar que o consumo de energia elétrica para aquecimento de água é da ordem de 6,7% do consumo anual de energia elétrica dos três hospitais.

Tabela 2 – Consumo de energia médio mensal por hospital - banhos a 38°C

Período	Temp. média mensal (BS) [°C]	Temp. estimada da água do manancial [°C]	Percentual de água quente p/ mistura	Consumo de energia [MWh]		
				HCR	HNSC	HCC
janeiro	24,70	21,70	42,56%	7,07	23,58	4,72
fevereiro	24,30	21,30	43,15%	6,55	21,82	4,36
março	23,00	20,00	45,00%	7,81	26,04	5,21
abril	20,20	17,20	48,60%	8,74	29,12	5,82
maio	17,10	14,10	52,07%	10,37	34,58	6,92
junho	14,80	11,80	54,36%	11,00	36,68	7,34
julho	14,30	11,30	54,83%	11,59	38,63	7,73
agosto	15,10	12,10	54,07%	11,24	37,47	7,49
setembro	16,50	13,50	52,69%	10,29	34,30	6,86
outubro	18,60	15,60	50,45%	9,72	32,41	6,48
novembro	21,00	18,00	47,62%	8,40	28,00	5,60
dezembro	23,60	20,60	44,16%	7,55	25,17	5,03
Anual				110,34	367,79	73,56

2.2 Simulação do Sistema de Captação de Energia Solar e de Armazenamento Térmico

Uma alternativa para resolver o problema de determinar o valor técnico-econômico de um projeto de um sistema de aquecimento solar de água é usar simulações computacionais diretamente como ferramentas de projeto (Beckman, *et al.* 1977). Um programa comercial bastante conhecido que pode ser usado para este fim é o TRNSYS que foi desenvolvido no Laboratório de Energia Solar da Universidade de Wisconsin, no entanto seu uso não é tão amigável para todos os usuários. Por este motivo diversos programas mais simples comerciais ou livres surgiram no mercado nas últimas décadas que permitem simular sistemas solares de aquecimento de fluidos de maneira bastante simples. Dentre eles merecem destaque os programas livres de custo disponíveis na internet nos portais do RETScreen International (www.retscreen.net) e do Departamento de Engenharia Mecânica da UFRGS (<http://www.mecanica.ufrgs.br/>).

Neste trabalho, para calcular a disponibilidade de radiação solar e simular o funcionamento do sistema solar de aquecimento proposto para cada hospital, avaliando seu desempenho, utilizou-se o módulo de programa do RETScreen (2006) para simulação de sistemas de aquecimento solar de água, que permite avaliar diversos tipos de sistemas de aquecimento solar de água com armazenamento térmico.

A estimativa do desempenho térmico do sistema de aquecimento solar feita com o programa RETScreen (2006), doravante referido apenas como programa, é baseada na metodologia *f-Chart*, descrita em detalhes no capítulo 20 do livro do Duffie e Beckman (2006), que é um método proposto para se calcular a fração solar, ou seja, a fração da energia utilizada no aquecimento da água que é fornecida pelo sistema de aquecimento solar com armazenamento.

O programa é composto de seis planilhas de cálculo que permitem modelar sistemas de aquecimento solar de água doméstico, industrial e piscinas, para qualquer local no mundo, com base em dados climáticos do local de instalação, informações sobre o tipo de coletor solar utilizado, demanda de água quente, e características do armazenamento. O programa pode também ser utilizado para fazer avaliação econômica do projeto e para estimar as oportunidades de redução de emissões de gases que contribuem para o aumento do efeito estufa.

Destaca-se que para modelar o sistema solar de aquecimento e simular seu desempenho, é necessário o conhecimento da curva de eficiência do coletor a ser utilizado, expressa como uma função da temperatura de entrada do fluido no coletor, da temperatura ambiente e da radiação solar, na forma indicada na Eq. (2)

$$\eta = F_R(\tau\alpha)_{ef} - F_R U_L \left[\frac{T_e - T_a}{I_t} \right] \quad (2)$$

onde,

I_t = intensidade da radiação solar incidente no plano do coletor por unidade de área, em W/m^2 .

U_L = coeficiente global de perda de calor, em $W/m^2 \cdot ^\circ C$;

T_e = temperatura de entrada do fluido no coletor, em $^\circ C$;

T_a = temperatura ambiente, em $^\circ C$;

$(\tau\alpha)_{ef}$ = produto efetivo da transmissividade da cobertura vezes a absorptividade da placa, considerando as múltiplas reflexões entre a cobertura e a placa;

F_R = fator de remoção; este fator relaciona o ganho útil real de energia do coletor com o ganho útil de energia se a superfície absorvedora estivesse à temperatura de entrada do fluido.

As características térmicas de coletores solares planos podem ser avaliadas experimentalmente de acordo com a norma da ABNT NBR 10184 (1988). Para coletores planos com uma cobertura a curva de eficiência é praticamente uma função linear da relação $(T_e - T_a)/I_t$, apresentando rendimento máximo igual a $F_R(\tau\alpha)_{ef}$ quando a temperatura de entrada da água é inferior ou igual a T_a e inclinação da reta igual a $-F_R U_L$. Estes parâmetros característicos dos coletores solares podem ser determinados experimentalmente através de ensaios térmicos externos ou com simulador solar, o que permite a construção da sua curva de eficiência.

No entanto, o INMETRO disponibiliza dados sobre coletores nacionais onde a eficiência é dada em apenas um ponto, cujas condições de ensaio (temperatura de entrada da água no coletor, temperatura ambiente e nível de radiação solar) não são explicitadas, não estando em conformidade com a recomendação da norma ABNT NBR 10184 (1988). Esta eficiência fica em torno de 60% para os melhores modelos de coletores solares planos com uma cobertura, mas não representa informação suficiente para realização da simulação de um projeto de aquecimento, servindo apenas para comparações qualitativas entre os coletores. Este fato cria dificuldades para quem queira fazer simulações usando as informações que estão sendo disponibilizadas para na literatura aberta. Talvez os fabricantes de coletores tenham esta informação, mas também não a tornem pública.

Na falta de informações sobre a curva de eficiência para os coletores solares fabricados no Brasil, foi adotado neste trabalho a curva de eficiência do coletor solar apresentada por Kehl (2004) em seu trabalho (ver Figura 2), uma vez que pode-se considerá-la como uma curva típica de um coletor com boa qualidade térmica, pois tem fatores $F_R(\tau\alpha)_{ef}$ e $F_R U_L$, respectivamente, iguais a 0,71 e 8,77 $W/m^2 \cdot ^\circ C$.

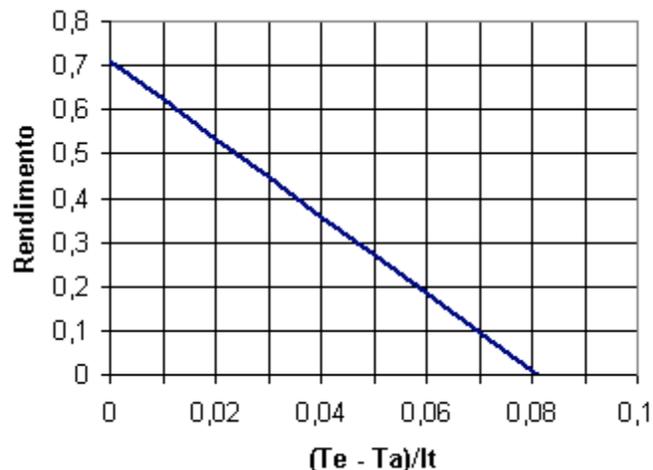


Figura 2 – Curva de rendimento de um coletor solar (Kehl, 2004).

3. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Apresenta-se na Tabela 3, a disponibilidade de energia solar em Porto Alegre, medida pelo laboratório de energia solar da UFRGS para um plano horizontal, e calculada através do programa para o plano do coletor, para diferentes ângulos de inclinação deste. Na Tabela 3, pode-se notar que o aumento da inclinação do coletor em relação à horizontal maximiza a captação nos meses de maio a agosto, enquanto que a média anual é máxima para inclinações menores.

A escolha da inclinação do coletor solar pode ser feita de modo a maximizar a captação durante o ano ou de modo a maximizar a captação durante o inverno, quando o consumo de energia é muito maior (ver Tabela 2) e a disponibilidade menor (ver Tabela 3), o que faz com que os sistemas simulados tenham mais dificuldade para atender a carga térmica durante este período. Para o critério de projeto de máxima captação durante o inverno, a inclinação de 45° (latitude local mais 15°) foi selecionada como melhor opção, tanto pelo resultado que pode ser observado na Tabela 3 quanto pelo sugerido pela literatura (Duffie e Beckman, 2006); já para a maximização da captação anual, a mesma literatura sugere que a inclinação dos coletores seja igual à latitude local, 30°.

Tabela 3 – Radiação solar em Porto Alegre (dados utilizados no programa, da Estação Meteorológica da UFRGS)

Período	Radiação sobre superfície horizontal (kWh/m ²)	Radiação sobre plano do coletor x inclinação (kWh/m ²)					
		25°	30°	35°	40°	45°	50°
janeiro	179,10	165,29	160,24	154,49	148,10	141,11	133,58
fevereiro	165,00	160,88	157,63	153,61	148,85	143,39	137,27
março	140,10	147,58	146,74	145,13	142,75	139,63	135,78
abril	115,80	135,60	137,37	138,37	138,60	138,04	136,70
maio	87,60	114,18	117,63	120,38	122,42	123,72	124,28
junho	72,60	98,72	102,35	105,37	107,77	109,51	110,60
julho	84,90	115,24	119,40	122,83	125,52	127,44	128,57
agosto	99,90	120,86	123,12	124,69	125,56	125,71	125,15
setembro	122,40	133,27	133,36	132,74	131,41	129,39	126,69
outubro	157,50	157,34	154,87	151,62	147,61	142,87	137,44
novembro	180,90	169,09	164,30	158,77	152,53	145,64	138,15
dezembro	195,00	176,78	170,72	163,93	156,47	148,41	139,81
Média anual	133,40	141,24	140,64	139,33	137,30	134,57	131,17
Média Mai-Ago	86,25	112,25	115,62	118,32	120,32	121,60	122,15

Conhecida a disponibilidade de energia solar para atender à carga térmica, pode-se selecionar a área de captação de modo a atender ao critério de projeto proposto, segundo o qual esta deve ser 10% superior à área necessária para suprir 100% da carga térmica de aquecimento de água durante o verão. Estas áreas foram calculadas e são apresentadas na Tabela 4, para cada posição de coletor solar. O cálculo foi feito tomando como referência um coletor solar com curva de eficiência igual à apresentada na Figura 2.

Tabela 4 – Projeto proposto para cada hospital

Unidade Hospitalar	Área de Captação (coletores a 45°)	Área de Captação (coletores a 30°)	Armazenamento [l]
	[m ²]	[m ²]	
HCR	268	257	12.000
HNSC	893	858	40.000
HCC	179	172	8.000

A fim de avaliar a adequação dos projetos propostos, foram realizadas simulações com auxílio do programa de modelagem de sistemas solares de aquecimento de água, para as situações de armazenamento e área de captação conforme as descritas na Tabela 4, visando determinar a fração solar da carga térmica atendida pelo sistema de aquecimento solar. Os resultados, apresentados na Tabela 5, correspondem à quantidade de energia que cada sistema disponibilizará ao aquecimento de água no período de um ano e a fração solar a que esta energia corresponde. Ressalta-se que a parcela de energia não disponibilizada pelo sistema solar deverá ser fornecida por um sistema auxiliar de aquecimento (*backup*), que poderá ser elétrico ou a vapor.

Tabela 5 – resultados - energia disponível

	Unidade Hospitalar	Área de Coletores instalados	Energia Entregue [MWh/ano]	fração solar
Coletores a 45°	HCR	268 m ²	88,62	80,3%
	HNSC	893 m ²	295,34	80,3%
	HCC	179 m ²	59,14	80,4%
Coletores a 30°	HCR	257 m ²	86,10	78,0%
	HNSC	858 m ²	287,26	78,1%
	HCC	172 m ²	57,52	78,2%

Pode-se observar na Tabela 5 que para os projetos de sistemas solares com inclinação dos coletores igual a 45°, a fração solar anual prevista fica em torno de 80,3%, enquanto que para os coletores a 30° de inclinação, a fração solar é da ordem de 78,1%. Simulando o período dos meses de maio a agosto, com as mesmas áreas de coletores instalados propostas na Tabela 4, a fração solar do período ficou em aproximadamente 65%, considerando os coletores instalados a 45°, e aproximadamente 60% considerando os coletores instalados a 30°, para os três hospitais.

Uma comparação mais precisa entre as duas alternativas de projeto pode ser feita através da avaliação do comportamento do fator solar em cada mês, para uma mesma área de coletores instalados. Apresenta-se na Figura 3, para o HCR, a fração solar calculada mês a mês para 268m² de coletores instalados, a 45° e a 30° de inclinação; a linha tracejada representa a fração solar para coletores a 30° de inclinação, e a linha contínua para coletores a 45° de inclinação.

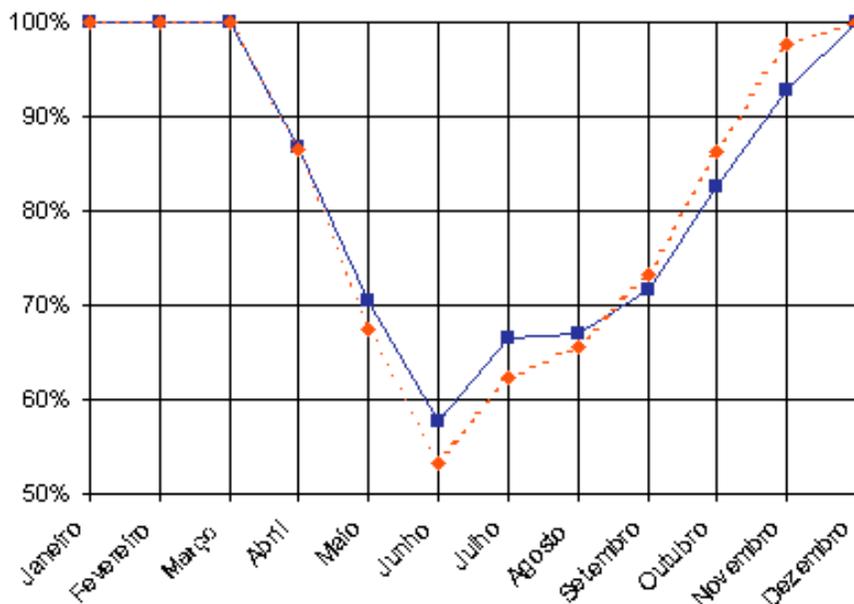


Figura 3 - Fração Solar Mensal – HCR

Os resultados apresentados na Figura 3 para o HCR são muito próximos aos obtidos para os demais hospitais. Com base nestas informações, optou-se pela alternativa de projeto na qual os coletores serão instalados a 45° de inclinação, pois esta inclinação possibilita que o sistema opere com maior fração solar durante o inverno. Como consequência, são propostas as áreas de captação apresentadas na Tabela 4 para a inclinação de 45°. Em resumo as propostas de projeto para os três hospitais são apresentadas na Tabela 6.

Tabela 6 – Projeto proposto para cada hospital.

Unidade Hospitalar	Área de Captação [m ²]	Inclinação dos coletores	Armazenamento [l]
HCR	268	45°	12.000
HNSC	893	45°	40.000
HCC	179	45°	8.000

A fim de se avaliar economicamente os projetos propostos, foram tomados por base os custos propostos pela PUC/RS (2005) em seu diagnóstico energético para o hospital HCR. Os custos relacionados diretamente à área de coletores somam ao projeto R\$ 340,00 por metro quadrado de coletor instalado; os custos com reservatório somam R\$ 3,00 por litro, e os demais custos somam R\$ 38.928,66, sendo este último considerado proporcional à área de cada hospital. Estes dados foram usados como referência para que se pudesse prever o investimento inicial de cada projeto proposto; foi considerado na avaliação de custos, além do explicitado, um acréscimo de 10% para contingências, considerando o custo com energia elétrica igual a R\$ 260,90 por MWh (tarifa média), sem considerações quanto à redução de demanda. Apresenta-se na Tabela 7 um resumo dos resultados da avaliação realizada, onde os indicadores utilizados são o *payback* simples e a Relação Benefício-Custo (RBC).

Tabela 7 – Avaliação econômica

U.H.	HCR	HNSC	HCC
Área de Coletores Instalados	268	893	179
Volume de Reservatório	12.000 l	40.000 l	8.000 l
Área do Hospital	18.835 m ²	43.030 m ²	4.615 m ²
Custo Fixo Estimado	R\$ 38.928,66	R\$ 88.935,51	R\$ 9.538,40
Contingências	10%	10%	10%
Investimento Total Estimado	R\$ 182.653,53	R\$ 563.811,06	R\$ 103.838,24
Energia Economizada (EC)	88,6 MWh	295,3 MWh	59,1 MWh
Economia Anual	R\$ 23.120,96	R\$ 77.054,21	R\$ 15.429,63
Taxa de Juros Considerada	12%	12%	12%
Investimento Anualizado	R\$ 24.453,43	R\$ 75.482,34	R\$ 13.901,74
RBC	0,95	1,02	1,11
Payback simples (anos)	7,90	7,32	6,73

4. CONCLUSÕES

Neste trabalho foi apresentada a análise da possibilidade de atender em parte a carga térmica de aquecimento de água para banho com a energia solar a ser captada por coletores solares planos, para aplicação em três hospitais do localizados na cidade de Porto Alegre (RS), baseados em simulações realizadas com módulo de simulação do programa RETScreen. Durante o ano, o consumo de água quente para banho variará nos três hospitais entre 42,56% e 54,83% do consumo total de água, o que corresponde a um consumo anual estimado da ordem de 552 MWh. Com base

nos resultados obtidos, pode-se estimar que o consumo de energia elétrica para aquecimento de água é da ordem de 6,7% do consumo anual de energia elétrica dos três hospitais.

O uso do módulo do programa RETScreen para fazer as simulações computacionais se mostrou uma ferramenta de projeto adequada à avaliação técnico-econômico de projeto de sistema de aquecimento solar de água. No entanto, destaca-se que é imprescindível que os fabricantes de coletores solares brasileiros sejam convencidos da necessidade de que as curvas de eficiência dos coletores solares como função das condições operacionais devem ser apresentadas, o que possibilitará a simulação e comparação do desempenho anual de sistemas de aquecimento de água com diferentes coletores solares, o que permitirá ao proprietário do sistema uma melhor tomada de decisão na realização do investimento, contribuindo com certeza para a redução do consumo de energia elétrica ou outros insumos com menores custos de investimento e operação.

A avaliação econômica dos projetos propostos, feita com base nos custos estimados na proposta da PUC/RS, não pode ser entendida como definitiva, já que se baseia nos custos levantados para outra proposta de projeto (PUC/RS, 2005). É necessário que se faça um levantamento de custos específico para o projeto, a fim de avaliar sua viabilidade. Considerando-se que os prédios são antigos, recomenda-se que se faça uma avaliação estrutural dos mesmos, em particular, nos locais aonde seriam instalados os coletores solares, que possivelmente necessitarão receber reforço em suas estruturas. Uma vez estimados corretamente os custos de cada projeto, estes poderiam sofrer alterações em seus parâmetros segundo critérios econômicos de otimização.

REFERÊNCIAS

- ABNT. 1988. Norma técnica NBR 10184. Coletores Solares Planos para Líquidos: Determinação do Rendimento Térmico (método de ensaio), 25p.
- Bizzarri, G. e Morini, G.L. 2006. New technologies for an effective energy retrofit of hospitals, Applied Thermal Engineering, vol. 26, n. 2-3, pp.161–169.
- Beckman, W.A., Klein, S.A., e Duffie, J.A. 1977. Solar Heating Design, John Wiley & Sons, xv+200p.
- Duffie, J. A. e Beckman, W. A. 2006. Solar Engineering of Thermal Processes, 3rd Edition, John Wiley & Sons, xix + 908p, 2006.
- Ferguson, A. e Ugursal V.I. 2004. Fuel cell modelling for building cogeneration applications, Journal of Power Sources, vol.137, n. 1, pp. 30–42.
- Kehl, F. 2004. Projeto de um sistema de aquecimento solar de água para a república de estudantes da UFRGS, Monografia de Graduação, UFRGS, Porto Alegre, 25p.
- PUC/RS. 2005. Diagnóstico Energético do Hospital Cristo Redentor, Tomo 9 : Sistema de Aquecimento de Água – Porto Alegre, Pontifícia Universidade Católica do Rio Grande do Sul, 11p.
- RETScreen® International. 2006. Solar Water Heating Project Model (disponível no portal <http://www.retscreen.net>) (última visita 11/09/2006).
- Van Schijndel, A.W.M. 2002. Optimal operation of a hospital power plant, Energy and Buildings, Vol. 34, n.10, pp. 1055–1065.

ANALYSIS OF SOLAR WATER HEATING SYSTEMS FOR HOSPITAL APPLICATIONS

Abstract. *The energy consumption associated with water heating in hospitals have been focused by the scientific community, which has looked for technological alternatives that could be used to reduce the operational cost of this type of installation. This paper presents the analysis of the possibility to supply in part the energy needs for water heating used for bath in three hospital located at Porto Alegre city using solar energy collected with plane solar collectors. For each hospital the thermal loads associated with the heated water used for bath by patients and personnel were estimated. Based on these results, one has estimated that the energy consumption for water heating is*

of the order of 6,7% of the total electric energy consumption for all hospitals. The solar energy resource and the solar system performance on annual base were simulated with a module of the RETScreen software specific for analysis of solar water heating systems. It is also presented a discussion about the necessity of more detailed technical information concerning the thermal performance curve of solar collectors needed to perform the simulation with the RETScreen software, because of this information in general is not presented by the Brazilian solar collector manufacturers. For each design proposed are presented the associated technical economic feasibility analysis.

Key words: *Water heating, Solar Energy, Solar Collector, RETScreen Software*