

MÉTODO SIMPLIFICADO PARA O DIMENSIONAMENTO DO VOLUME DE ÁGUA QUENTE FOCANDO SISTEMAS DE AQUECIMENTO SOLAR DEDICADOS AO BANHO

I. A. G. Ríspoli¹, C. A. Mariotoni².

Grupo de Planejamento Energético e Sistemas Elétricos (GPESE)- DRH/FEC/UNICAMP - Universidade Estadual de Campinas - (FEC-Área de Recursos Hídricos, Energéticos e Ambientais) – Campinas-SP - Telefone: (19) 3251-2304
italogatica@yahoo.com.br - italoagr@fec.unicamp.br - cam@fec.unicamp.br

Resumo : A indústria brasileira de aquecedores solares para água tem atribuído aos postos de comercialização, encanadores autônomos e pequenas firmas prestadoras de serviços, treinamentos para nortear fundamentalmente as vendas com o menor número de problemas posteriores, reduzindo assim toda a rotina técnica, desde a concepção até a instalação dos sistemas de aquecimento solar residencial a um estreito circuito que opera no mercado de maneira endógena. Ainda muitos profissionais envolvidos com a rotina da construção civil e arquitetura deixam o dimensionamento, instalação e assessoramento a cargo da indústria, posto de revenda ou até mesmo sob o julgamento do instalador. Prestigiando algumas ferramentas computacionais livres, a bibliografia sobre o tema e dois experimentos realizados, este artigo coloca um método prático de dimensionamento do volume de água quente em função da vazão de banho com poucas variáveis, exemplificando uma variedade de situações comuns com o objetivo de segmentar mais o assunto na academia brasileira de engenharia, arquitetura e tecnologia das edificações.

Palavras chaves: Reservatório de água quente, vazão, irradiação solar, *software* livre, aquecedor solar por termossifão.

INTRODUÇÃO

Com relação ao armazenamento de água quente para fins de consumo residencial em 1968 se prescrevia uma reserva de 45 litros diários per capita numa unidade residencial pela então vigente norma brasileira NB128 (1968) da Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) e 60 litros para o caso de apartamentos. Após 14 anos referida norma foi substituída em 1982 pela norma brasileira NBR 7198/82 (1982) que manteve a mesma recomendação anterior por mais 10 anos até Setembro de 1993 onde se publica a norma brasileira NBR 7198/1992 (1993) vigente até hoje, que relata como estimativa de consumo de água quente junto ao item 5.2 da mesma: "Na elaboração dos projetos das instalações de água quente, as peculiaridades de cada instalação, as condições climáticas e as características de utilização do sistema são parâmetros a serem considerados no estabelecimento do consumo de água quente." Ficando claro pela última versão da norma brasileira que o encargo final do dimensionamento da reserva de água quente no caso particular de aquecedores por acumulação de calor, fica integralmente a cargo de quem decide tecnicamente, *a priori*, o projetista responsável que muitas vezes sofre forte influência econômica do proprietário da obra.

Em recentes edições de livros brasileiros sobre instalações hidráulicas prediais ainda se conservam as referências empíricas retiradas das normas fora de vigor ou em até de antigas normas estrangeiras, de outro lado abundam em grande quantidade, catálogos e dimensionamentos empíricos sugeridos por fabricantes e revendedores para sistemas de aquecimento solar residencial.

Segundo Ríspoli, (2004), em habitações unifamiliares de pequeno tamanho implantadas em meio lote de terreno, são maiores as dificuldades locais para conciliar todas as exigências físicas necessárias ao bom desempenho e funcionamento de um aquecedor solar pelo princípio do termossifão de manufatura convencional, lembrando que este princípio prevalece com devidos desníveis entre os coletores solares, reservatório de água quente e fria; Todavia devem-se orientar os coletores solares para o norte (em localidades do hemisfério sul) a uma inclinação recomendada pela norma brasileira NBR 12269 (1992) igual à latitude local e não inferior a 10° com relação ao plano horizontal. A maioria dos catálogos nacionais recomendam um ângulo de inclinação igual à latitude local acrescida de 10°. De fato é sabido que este ângulo fixo não é o melhor durante o ano inteiro ao se considerar Duffie (1991) quando descreve o movimento aparente do Sol em torno da Terra

¹ Msc., aluno regular do programa de doutorado em Engenharia Civil - FEC UNICAMP - Campinas SP - 2007

² Ph. D., professor titular - FEC/UNICAMP - Campinas SP - 2007

e a variação diária da altura do Sol com relação ao plano do horizonte em um ano contado entre 1 a 365 em função da declinação solar numa latitude qualquer.

Macyntire (1996) referindo-se ao aquecimento de um volume de água através de uma resistência elétrica, parte do princípio que se pode igualar a energia disponível ao calor requerido com devidos cuidados dimensionais. Igualmente, Creder (2006) sustentando o mesmo princípio, recomenda a igualdade entre o calor local exigido e a radiação incidente numa área coletora por um dia completo de exposição solar afetada por um rendimento menor que 1. Todavia segundo Orozco (apud Burbano, Restrepo, Sabogal, 2006, p. 86) deve-se incorporar na referida igualdade o calor perdido para não sub dimensionar um aquecedor solar de água proposto pelo princípio de termostato.

Existe variabilidade diária e média mensal da irradiação solar global incidente sobre um plano inclinado em ângulo predefinido, com ou sem desvio azimutal durante o ano. Dados locais de irradiação solar quando gerados em estações de medição são normalmente medidos sobre um plano horizontal exigindo uma bateria de cálculos trigonométricos, para concluir a quantidade global específica sobre um plano inclinado, além da consideração dos modelos de distribuição temporal e espacial da radiação solar em função da isotropia ou anisotropia da abóbada celeste (céu) com efeito numérico diferenciado na componente difusa e analogamente na global que é a soma das componentes direta, difusa e albedo. Liu, Jordam (1960) caracterizam o dia por uma luminosidade homogênea em toda a abóbada celeste dando a entender um modelo de céu isotrópico. Conforme Hay e Davies (apud Rosa, 2003, p. 50), existe um maior brilho na região circunsolar durante o dia, caracterizando uma anisotropia no céu. Temps, Coulson (1977) incorporaram ainda, um maior brilho junto ao horizonte em dias de limpos e claros. Baseado nos modelos de Hay- Davies e Temps - Coulson, Klucher (1979) desenvolveu funções moduladas de tal forma que para dias nublados a componente difusa se aproxima mais aos resultados do modelo isotrópico de Liu e Jordam, e em dias limpos e claros ao modelo de Temps e Coulson.

Na ausência de dados de irradiação solar sobre um plano inclinado se encontram na *internet* os *softwares* livres Radiac2/95 (Czajkowski, 2007), Radiasol (UFRGS, 2007) e Geosol (Hernández, 2003) entre outros. O Radiac2, escrito para o modelo de céu isotrópico, se constitui prático quando não se tem nenhuma informação local da irradiação solar global, bastando, por exemplo, julgar um índice de transparência atmosférica médio de 0,5 para estimativas médias ou 0,75 para estimativa de um dia muito claro e radiante conforme definido por Liu, Jordam (1960). O Radiasol é um banco de dados que suporta inserções e alterações diversas na fonte de dados com possibilidades de cálculos da componente difusa modelados com isotropia ou anisotropia do céu. O Geosol apresenta possibilidades de cálculos com modelos de céus isotrópicos e anisotrópicos para estimativa da irradiação solar sobre um plano inclinado, além de possibilitar a elaboração de uma carta solar com a trajetória do Sol em planta e em altura.

Segundo Duffie e Bekman (1991) ao se estimar a irradiação solar nos dias médios, estar-se-á projetando a irradiação solar média mensal, que pode constituir uma ferramenta de avaliação do desempenho mensal, para um sistema de aquecimento solar, assim como projetar a variabilidade do mesmo entre as estações da primavera, outono, verão e inverno com relativa exatidão. Referidos dias médios de janeiro a dezembro são analogamente: 17; 16; 16; 15; 15; 11; 17; 16; 15; 15; 14 e 10.

Um aquecedor solar de água, em material nobre de boa fabricação tem seu período de retorno do investimento inicial alongado quando não dimensionado, instalado ou fabricado corretamente. Com todo o exposto, acaba-se justificando, a pequena segmentação de mercado brasileiro neste setor específico, visto que a na maioria dos casos, a própria empresa fabricante projeta, comercializa, instala e garante a manutenção dos aquecedores solares de água (Tolmasquim, 2003).

MÉTODO PROPOSTO

Se descreve um processo simples de dimensionamento de uma reserva de água quente tomando a vazão do instrumento de banho e o de tempo médio de duração, seguido do dimensionamento e verificação da quantidade de coletores solares planos com auxílio de *software* livre.

Através do tratamento algébrico de duas equações lineares elementares, pode-se sintetizar uma pequena formulação prática reduzida a três equações finais que se desempenham para estimar os volumes necessários de água aquecida e natural com um mínimo de informação, idealizando-se uma rotina simples e prática para os aquecedores solares domiciliares.

Sejam as variáveis observadas para o consumo de água potável destinado ao banho humano:

Vaf = volume de água fria [l];

Vaq = volume de água quente [l];

O volume total de água consumida no banho é expresso pela equação (1).

$$V_t = V_{af} + V_{aq} \quad (1)$$

Pode-se escrever mais uma equação linear lembrando que uma pessoa no instante do banho precisa do equilíbrio térmico instantâneo entre a mistura de duas águas (fria e aquecida), considerando a temperatura final do resultado dessa mistura sendo igual à temperatura de banho desejada, conforme a equação (2).

$$V_{af} (T_b - T_n) + V_{aq} (T_b - T_{aq}) = 0 \quad (2)$$

Onde, "T_b" é a temperatura final de conforto regulada manualmente para o banho [°C]; "T_n" é a temperatura natural da água fria que chega no comando misturador em [°C]; "T_{aq}" é a temperatura da água armazenada previamente aquecida por qualquer vetor energético, preferencialmente solar [°C].

Aglutinando-se as duas equações numa escrita matricial obtém-se:

$$\begin{vmatrix} 1 & 1 \\ (T_b - T_n) & (T_b - T_{aq}) \end{vmatrix} \begin{vmatrix} V_{af} \\ V_{aq} \end{vmatrix} = \begin{vmatrix} V_t \\ 0 \end{vmatrix} \quad (3)$$

Ao se aplicar a regra de Cramer em (3) obtém-se o vetor desconhecido do primeiro membro dado por (4) e (5):

$$V_{af} = \frac{V_t (T_b - T_{aq})}{(T_n - T_{aq})} \quad (4)$$

$$V_{aq} = \frac{V_t (T_n - T_b)}{(T_n - T_{aq})} \quad (5)$$

Ao se considerar unicamente a água consumida para o banho verifica-se que o volume total de água utilizada nesta operação é igual à vazão média do instrumento a ser empregado para o banho multiplicada pelo tempo de duração do banho, conforme equação (6).

$$V_t = Q_b T_{db} \quad (6)$$

Onde, "Q_b" é a vazão do banho [l/s]; "T_{db}" é o tempo médio de duração do banho [s].

A consideração linear de afetar o volume total por um número de banhos ("N^o_b") maior ou igual a 1 e um número de habitantes por domicílio ("N^o_{hab}") também maior ou igual a 1, não descaracteriza as equações anteriores. Desta forma o volume total de água consumido para o banho por uma família se equaciona em (7).

$$V_t = Q_b T_{db} N^o_b N^o_{hab} \quad (7)$$

Cria-se a constante K dada por (8) para posterior simplificação das equações (4) e (5)

$$K = Q_b T_{db} N^o_b N^o_{hab} / (T_n - T_{aq}) \quad (8)$$

A simplificação máxima ocorre ao se substituir (8) em (4) e (5), dando origem a (9) e (10)

$$V_{af} = K (T_b - T_{aq}) \quad (9)$$

$$V_{aq} = K (T_n - T_b) \quad (10)$$

Estas três últimas equações se qualificam para o dimensionamento do volume de água fria e quente em sistemas de acumulação de calor, como por exemplo os aquecedores solares de uso domiciliar, com ênfase ao banho, considerando um regime permanente, desconsiderando a água parada na tubulação e as perdas de calor na trajetória até o ponto de consumo. Resumindo-se: "Q_b" é a vazão do instrumento de banho em [l/s]; "T_{db}" é o tempo médio de duração de um banho [s]; "N^o_b" é o número médio de banhos por habitantes por dia; "N^o_{hab}" é o número de habitantes por domicílio; "T_b" é a temperatura de conforto de banho ajustada manualmente através de comando misturador [°C]; "T_n" é a temperatura natural da água fria [°C]; "T_{aq}" é a temperatura da água quente armazenada em reservatório isolado termicamente [°C].

Segundo Orozco, citado por Burbano, Restrepo e Sabogal (2006, p 86) uma equação prática para o dimensionamento da área coletora solar de um sistema de aquecimento de água é dada pela equação (11)

$$A_c = \frac{Q + Q_T}{\eta H_T} \quad (11)$$

Onde, A_c = área da placa de absorção [m²]; Q = calor requerido na água em um dia, a se transformar de [kcal/dia] para [kWh/dia]; Q_T = calor perdido no tanque reservatório em um dia, a se transformar de [kcal/dia] para [kWh/dia]; η = eficiência da placa de absorção (adimensional com informação do fabricante ou arbitrado pelo bom senso); H_T = irradiação solar global média incidente num plano inclinado para um dia definido [kWh/m² dia].

Segundo Macyntire (1996) o calor requerido pode-se obter por (12)

$$Q = m c \Delta T \quad (12)$$

Onde: Q = calor requerido por dia, a se transformar de [kcal/dia] para [kWh/dia]; m = massa em kg, desprezando a variabilidade da densidade da água entre 15 °C a 60 °C, portanto simplificando-se 1 [l] = 1 [kg]; c = calor específico da

água em [kcal/kg °C], igual a 1, posto que para a variação de temperatura objeto deste estudo onde um litro de água é aproximadamente 1 kg; ΔT = diferença de temperatura entre a final e a inicial [°C].

Todavia seria necessário considerar que 1 kWh corresponde aproximadamente a 860 kcal, para transformar o calor na unidade compatível da radiação solar ao efetuar-se a divisão proposta pela equação (11).

O calor perdido no tanque (Q_T), depende de muitas variáveis, aqui se resumindo algumas, como a tecnologia empregada no isolamento, na manufatura, materiais utilizados, dimensões, densidades, formas e a variabilidade do calor interno no tanque de água quente em operação durante consumo com adução concomitante ao consumo definindo um complexo processo de resfriamento que não ocorre em regime estacionário. Por este motivo se recomenda um valor empírico baseado em algumas experiências, ou apenas o bom senso quando não se tem nenhuma informação como instrumento de dimensão tentando conciliar economia com conforto de uso.

Foi realizado um experimento durante três meses na estação quente do Estado de São Paulo (na cidade de Mogi Guaçu, Brasil) e dois meses na estação fria, num aquecedor solar por termosifão, sem consumo, com 1,22 m² de área coletora plana e volume de 101,47 litros de água potável abrigado por um reservatório de fibra de vidro com aplicação de 2cm de poliuretano expandido, onde foi registrado no seu interior, a cada cinco minutos, a temperatura em cinco pontos localizados simetricamente ao longo da altura da lâmina d'água como se ilustra na figura 1, mediante sensores apropriados conectados a um microcomputador operando ininterruptamente o *software* livre Sitrad® da Fullgauge. A temperatura interna média no reservatório de prova, se obteve através de uma média aritmética ponderada entre as cinco temperaturas registradas a cada cinco minutos, fazendo seus respectivos volumes de influência por sensor como pesos. Com o objetivo de avaliar a projeção da perda de calor após o poente solar, se deu ênfase à seleção de dados registrados das 18:00 h às 24:00 h (horário civil). Chegou-se à equação (13) que assimila uma média aproximada da temperatura média interna num processo natural de resfriamento entre as 18:00 h até as 24:00 h com projeção linear para as 6:00 h do dia subsequente, com 0,99 de coeficiente de correlação.

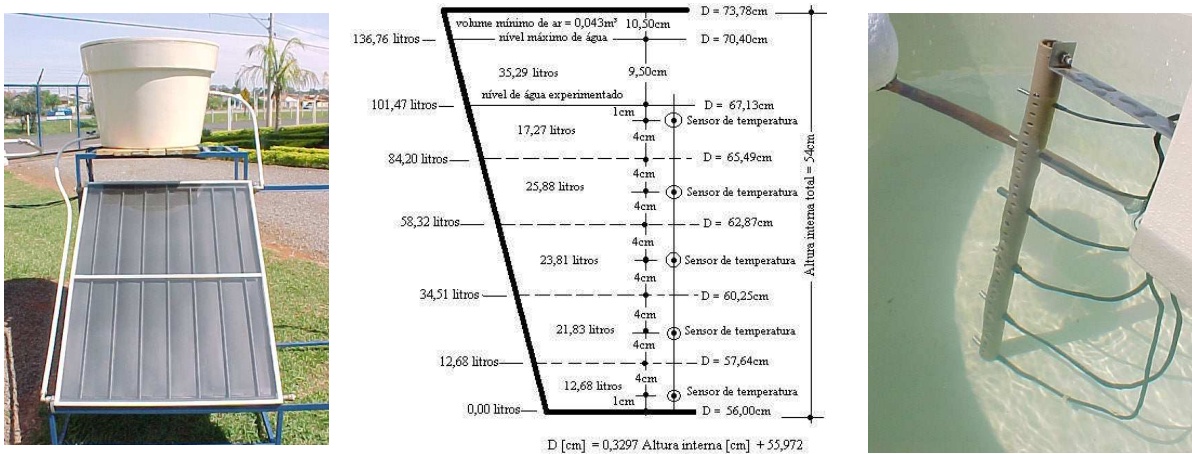


Figura 1: Experimento realizado para avaliar a perda do calor num reservatório de água quente após o poente solar.

$$T_{hi} = -0,5093 hi + 66,303 \quad (13)$$

Onde, " T_{hi} " é a temperatura interna média projetada no interior do reservatório de água quente experimentado para um horário " hi " compreendido entre as 18:00 h às 6:00 h do dia posterior; Onde " hi " é interpolado numa escala numérica de 18 a 30 (30 corresponde às 6:00 h do dia posterior).

Observado o processo de resfriamento, sem consumo de água quente, tomando como média os resultados da equação (13), chegou-se a uma conclusão que referido corpo de prova nas condições locais de experimentação perdia aproximadamente 10,5% do calor registrado entre as 18:00 h até as 6:00 h do dia seguinte (sem consumo). Fazer-se-á uso desta porcentagem para efeito de aplicação numérica no 3º exemplo numérico de aplicação.

Instrumentos comuns para banho de fabricação brasileira foram avaliados em baixa pressão e se mostram na tabela 1.

Tabela 1: Vazão de banho de alguns instrumentos de fabricação brasileira em baixa pressão de operação.

Tipo	Marca	Modelo	Pressão estática no local do teste (mca)	Diâmetro da tubulação	Diâmetro no engate	Vazão do teste [l/s]	Abertura do registro
Chuveiro elétrico	Lorenzetti	Tradição	3,30	25mm	1/2"	0,199	completa
Chuveiro elétrico	Sintex	econômico	3,30	25mm	1/2"	0,090	completa
Chuveiro elétrico	Sintex	econômico	0,95	25mm	1/2"	0,024	completa
Chuveiro elétrico	Fame	econômico	3,34	25mm	1/2"	0,107	completa
Ducha metálica	Deca	cromado	3,30	25mm	1/2"	0,279	completa
Ducha metálica	Deca	cromado	3,30	25mm	1/2"	0,142	metade

EXEMPLOS NUMÉRICOS DE APLICAÇÃO

1º Exemplo – Determinar a quantidade de água fria na temperatura a 20 °C e quente armazenada a uma temperatura de 45 °C que uma pessoa gasta em 10 minutos de banho, empregando um chuveiro elétrico de fabricação brasileira desligado da resistência elétrica, operando em baixa pressão de funcionamento a 1 [mca] com a vazão máxima de serviço de 0,05 [l/s], sendo que a pessoa regula manualmente a temperatura final de mistura instantânea a 37 °C.

Solução: Calcula-se o valor de K segundo a equação (8)

$$K = \frac{0,05 \times 600 \times 1 \times 1}{(45-20)} = -1,2$$

Calculam-se os volumes de água fria e quente necessários segundo as equações (9) e (10)

$$\begin{aligned} V_{af} &= -1,2 (37 - 45) = 9,6 \text{ litros de água fria a uma temperatura de } 20 \text{ }^\circ\text{C}; \\ V_{aq} &= -1,2 (20 - 37) = 20,4 \text{ litros de água previamente aquecida até uma temperatura de } 45 \text{ }^\circ\text{C} \end{aligned}$$

Tal pessoa gastaria ao todo 30 litros de água nas condições de vazão, sendo que desse volume 9,6 litros seriam de água fria a uma temperatura de 20 °C e 20,4 litros de água armazenada previamente aquecida até a temperatura de 45 °C por qualquer vetor tecnológico preferencialmente o solar se desempenhando para proporcionar um $\Delta T = (45-20) = 25 \text{ }^\circ\text{C}$.

--o--o--o--

2º Exemplo - Determinar a quantidade de água fria a uma temperatura de 15 °C e quente armazenada numa temperatura de 50 °C que uma família de 4 pessoas consomem no banho noturno, considerando o tempo de duração do banho é de 8 minutos por habitante, empregando uma ducha de fabricação brasileira sujeita a uma pressão de operação de 2mca com uma vazão máxima de 0,18 l/s, sendo que a temperatura média final da mistura regula-se para uma temperatura de 38 °C.

Solução: Calcula-se o valor de K segundo a equação (8)

$$K = \frac{0,18 \times 480 \times 1 \times 4}{(50-15)} = -9,8743$$

Calculam-se os volumes de água fria e quente necessários segundo as equações (9) e (10)

$$\begin{aligned} V_{af} &= -9,8743 (38 - 50) = 118,49 \text{ litros de água fria a } 15^\circ\text{C}; \\ V_{aq} &= -9,8743 (15 - 38) = 227,11 \text{ litros de água armazenada a uma temperatura de } 50 \text{ }^\circ\text{C}; \end{aligned}$$

Referida família gastaria ao todo 345,60 litros de água ao todo para um banho noturno per capita, sendo que desse volume 118,49 litros seriam de água fria a uma temperatura de 15 °C e 227,11 litros de água armazenada previamente aquecida até uma temperatura de 50 °C por qualquer vetor tecnológico, preferencialmente o solar se desempenhando para proporcionar um $\Delta T = (50 - 15) = 35 \text{ }^\circ\text{C}$.

--o--o--o--

3º Exemplo - Dimensionar um aquecedor solar por termostato para atender o banho de uma família constituída por 4 pessoas adultas na estação fria (Julho) do interior do Estado de São Paulo na cidade de Piracicaba sendo que referido sistema de aquecimento será disposto unicamente para o banho dos habitantes e ao seu funcionamento será conectado apenas um único ponto de consumo destinado ao banho com chuveiro desligado da resistência elétrica em baixa pressão de operação a 2 [mca] e a 0,07 [l/s] de vazão máxima, estimando-se que o tempo médio de banho seja igual a 8 minutos e que no inverno se cultua nessa residência um banho à noite por habitante, ainda são dados: latitude local 22,72° Sul, insolação norte para a área coletora solar que seria inclinada a 33° com relação ao plano horizontal, albedo de 0,2, modelo de céu isotrópico, temperatura de 13 [°C] para a água natural (fria), 38 [°C] para a temperatura de conforto ajustada ao banho com reserva de água previamente aquecida a uma temperatura de 55 °C e finalmente um rendimento certificado de 50% para os coletores solares segundo o fabricante.

Solução: Calcula-se o valor de K segundo a equação (8)

$$K = \frac{0,07 \times 480 \times 1 \times 4}{(13-55)} = -3,2$$

Calculam-se os volumes de água fria e quente necessários segundo as equações (9) e (10)

$$\begin{aligned} V_{af} &= -3,2 (38 - 55) = 54,4 \text{ litros de água fria a } 15^\circ\text{C}; \\ V_{aq} &= -3,2 (13 - 38) = 80 \text{ litros de água armazenada a uma temperatura de } 55 \text{ }^\circ\text{C}; \end{aligned}$$

Para englobar o calor perdido, aproveitando resultado experimental de 10,5% com base a um experimento realizado como foi detalhado anteriormente, seriam necessários reservar 88,4 litros a 55 [°C]. Por outro lado adotando-se o menor volume de

uma determinada linha comercial de 150 litros e forçando a temperatura de todo esse volume a 55 [°C] por conta do trabalho solar num dia completo na data exigida pelo problema se estaria dimensionando com segurança o sistema de aquecimento solar. Conforme o banco de dados livre do Laboratório de Energia Solar da Universidade Federal do Rio Grande do Sul - Radiasol (2007) para o dia médio de 17 de Julho, a uma inclinação de 33° da área coletora solar com relação ao plano inclinado e um albedo de 0,2 com a consideração do céu num modelo isotrópico, apresenta-se uma radiação solar global sobre o plano inclinado igual a 4764 [Wh/m²] dia que é igual a 4,764 [kWh/m²dia] sendo que referido banco de dados tem como informação para a data em questão um índice de transparência (K_t) de 0,59 para a localidade de Piracicaba SP Brasil. Colocando estes dados na equação (11) obtém-se a área coletora necessária para o calor requerido pela família mais as perdas aqui consideradas com segurança devido à escolha comercial de um volume de 150 [l].

$$A_c = \frac{150 \text{ [l/dia]} \times 1 \text{ [kcal/kg}^\circ\text{C]} \times 55 \text{ [}^\circ\text{C]} / 860}{0,5 \times 4,764 \text{ [kWh/m}^2\text{dia]}} = 4,03 \text{ m}^2$$

Se a linha comercial selecionada oferece unidades coletoras de 1,4 m², seriam necessários 3 coletores para atender ao cálculo realizado. Neste exemplo se pode observar que um apoio energético de uso acidental seria acionado somente nos dias de chuva ou claridade abaixo do previsto pela informação local do banco de dados que forneceu a irradiação solar global.

--o--o--o--

4º Exemplo - Considerando no exemplo anterior que por dificuldades econômicas adotaram-se na instalação apenas 2 coletores de 1,4 m² conservando as demais condições do problema, qual seria a temperatura interna média que se atingiria no interior do reservatório de água quente ao final de um dia de exposição solar na data especificada?

Solução: aplicando-se a equação (11)

$$2 \times 1,4 = \frac{150 \times 1 \times (T_f - 13) / 860}{0,5 \times 4,764}$$

Ao se isolar o valor da temperatura final T_f teriam-se 51,24 °C.

--o--o--o--

5º Exemplo - Dimensionar um aquecedor solar por termossifão para atender o banho de uma família constituída por 5 pessoas adultas na estação fria de Julho no interior do Estado de São Paulo na cidade de Americana SP Brasil sendo que referido sistema de aquecimento seria disposto unicamente para o banho dos habitantes e ao seu funcionamento seriam conectados dois pontos de consumo com duchas em baixa pressão de operação 3 [mca] a 0,15 [l/s] de vazão, estimando-se que o tempo médio de banho seja igual a 10 minutos por habitante e que no inverno nessa residência se habitua um banho noturno por habitante, ainda são dados: latitude local 22,76° Sul, insolação oeste para a área coletora solar que seria simplesmente apoiada sobre as telhas de barro, ou seja, inclinada a 17° com relação ao plano horizontal, a temperatura de 13 [°C] para a água natural (fria), 39 [°C] para a temperatura de conforto ajustada ao banho com reserva de água previamente aquecida a uma temperatura de 50 °C e finalmente um rendimento de 60% para os coletores solares segundo certificação. Não havendo informações locais disponíveis sobre radiação solar.

Solução: Ao se aplicar as equações (8), (9) e (10) encontrar-se-á K = - 12,16; V_t = 450 [l]; V_{af} = 133,8 [l] e um V_{aq} de 316,2 [l]. Adotando-se um reservatório de 400 litros de linha comercial ao tentar aplicar a equação (11) se requisitará a irradiação solar global, a qual não se tem informe, mas se pode estimar para o dia 17 de Julho (dia médio desse mês para efeito de cálculo) tendo em mãos o *software* livre RADIAC2 que solicita: um índice de transparência médio aqui julgado K_t = 0,5, um albedo, aqui julgado 0,2, um azimute do plano, aqui de 270° anti-horário medido do Sul, para caracterizar a insolação oeste, um ângulo de inclinação dos coletores aqui a 17°, latitude local aqui de -22,76° (negativo por conta do Sul) calculando-se pelo *software* um H_T = 3459 [Wh/m² dia] = 3,459 [kWh/m² dia]. Aplicando-se esta irradiação solar na equação (11) encontra-se uma área coletora necessária de 11,2 m² que é demasiadamente elevada devido ao grande desvio azimutal com relação ao norte (90°) e uma inclinação pequena dos coletores solares para a estação em estudo (17°), aqui justificando-se a fixação de uma área coletora, sugerindo-se o trabalho auxiliar de um outro vetor energético para completar o calor exigido. Ao se adotar 5 coletores de 1,4 m² cada, verifica-se pela mesma equação (11) com a irradiação solar de 3,459 [kWh/m² dia] que a temperatura máxima possível no interior do reservatório se calcularia em 44,2°C faltando 5,8 °C para completar 50 °C ou analogamente 2306,1 kcal de calor para complementar o calor exigido mediante um vetor auxiliar, como por exemplo a eletricidade, preferencialmente com a operação controlada por um temporizador digital ou analógico num horário pre definido associado a uma resistência elétrica de potência compreendida entre 1 a 6 kW e um termostato regulável ou queima de gás acoplado a um aquecedor de passagem num circuito também munido de automação.

--o--o--o--

6º Exemplo - Verificar com a equação (11) o incremento de temperatura (ΔT) em [°C] que ocorre no dia 17 de Julho no interior de um reservatório de água quente de 400 litros, devidamente isolado, na cidade de Campinas SP Brasil, associado a 4 coletores solares de 1,22 m² cada, sendo que foram certificados com 50% de rendimento e que o sistema opera por termossifão, com os coletores solares instalados a 17° de inclinação, simplesmente sobrepostos nas telhas da edificação e

orientados a 90° à esquerda do norte verdadeiro, ou seja, recebendo insolação oeste. Todavia, considerar *softwares* aqui citados, com um albedo de 0,25 em todos eles, para vários tipos de céus e modelos de cálculo da irradiação solar difusa.

Resultados com as ferramentas recomendadas apresentam-se na tabela 2:

Tabela 2: Resultados obtidos para o 6º Exemplo com as recomendações deste artigo

Software	Céu	Observação	H _T sobre Plano inclinado estimado pelo software	ΔT [°C] Calculado pela equação (11)
Radiasol	Anisotrópico Mod. Difusa / Klucher	K _t registrado de 0,64 no banco de dados	4246 [Wh/m ² dia]	22,3
Radiasol	Isotrópico	K _t registrado de 0,64 no banco de dados	4063 [Wh/m ² dia]	21,3
Radiac2 2.1/95	Isotrópico Mod. Dif/ Liu e Jordam	Sem informe local, julgando K _t = 0,50	3454 [Wh/m ² dia]	18,1
Radiac2 2.1/95	Isotrópico Mod. Dif/ Liu e Jordam	Sem informe local, julgando dia claro com K _t = 0,75	5207 [Wh/m ² dia]	27,3
Radiac2 2.1/95	Isotrópico Mod. Dif/ Liu e Jordam	julgando entre 0,5 e 0,75 K _t = 0,625	4328 [Wh/m ² dia]	22,7
Geosol	Anisotrópico Mod.Difusa/Page.	julgando dia claro - Hottel com clima Tropical	15,78 [MJh/m ² dia]	25,3

CONCLUSÕES

As equações (8), (9) e (10) mostram grande variabilidade nos resultados em conformidade à escolha do instrumento de banho por conta da grande variabilidade da vazão do instrumento entre ducha e chuveiro elétrico desligado. O sub dimensionamento do volume do reservatório de água quente associado a uma ducha de elevada vazão constitui um erro comum na desconexão entre o cálculo hidráulico, sistema de aquecimento, a escolha do instrumento de banho e o instrumento instalado de fato.

O atual e imperioso desabono ao chuveiro elétrico por conta do acionamento da resistência elétrica ao causar elevado custo operacional junto ao consumo de eletricidade com implicações consideráveis no horário de pico por volta das 19:00 h, onde se acionam simultaneamente milhares desses aparelhos, lhe valeu o título de "vilão do horário de pico" na carga elétrica residencial do Brasil, mas neste texto se lhe confere um abono, quando desligado e associado a um sistema de aquecimento solar por termossifão em baixa pressão por conta da grande economia de água e racionalização do sistema de aquecimento solar, levando em conta que por domicílio também é cobrado uma tarifa de água e esgotamento da mesma, não somenos os aspectos de infra estrutura, escassez da água e recursos hídricos.

As ferramentas computacionais livres apresentadas, correlacionadas aos exemplos específicos de dimensionamentos de sistemas de aquecimento solar por termossifão, possibilitam a construção de relatórios mensais para estimativas médias e máximas da energia solar térmica compreendida como um diferencial térmico agregado ao volume de água em várias situações de orientação espacial e volumes prescritos para qualquer coordenada geográfica.

REFERENCIAS

- Burbano, J. C., Restrepo, Á. H., Sabogal, O. J., (2006) Diseño y Construcción de un Calentador Solar de Água Operando por Termosifón, Scientia et Technica, Año XII, N° 31, Agosto de 2006, Univerdidad Tecnológica de Pereira, Colombia, ISSN 0122-1701.
- Creder, Hélio, (2006) Instalações Hidráulicas e Sanitárias, 6ª edição, Ltc livros técnicos e científicos editora, Rio de Janeiro.
- Czajkowski, Jorge, (2007) Radiac 2.1/95, RAD-OP 2.0, <http://www.arquinstal.com.ar/software.htm>, Acessado em Julho de 2007.
- Duffie J. A. y Beckman W. A. (1991). Solar Engineering of Thermal Processes, 2ª edición, pp. 54-59. Wiley Interscience, New York.
- Hernández, Alejandro I., (2003) Geosol: Una Herramienta Computacional para el Cálculo de Coordenadas Solares y la Estimación de Irradiación Solar Horária, Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente, ASADES, Vol. 7, N° 2, 2003, ISSN 0329-5184.
- Klucher, T. M., (1979) Evaluation of Models to Predict Insolation on Tilted Surfaces, Solar Energy 23, pp 111 - 114.
- Liu, B. Y. H., Jordam, (1960) R. C., The Interrelationship and Characteristic Distribution of Direct, Diffuse and Total Solar Radiation. Solar Energy, v.4, n. 3, p. 1-19.

- Macyntire, Archibald Joseph, (1996) Instalações Hidráulicas Prediais e Industriais, 3ª edição, Ltc livros técnicos e científicos editora, Rio de Janeiro.
- NB 128/1963, (1968) Instalações Prediais de Água Quente. Procedimento, Associação Brasileira de Normas Técnicas, Rio de Janeiro.
- NBR 7198/1982, (1982) Projeto e Execução de Instalações Prediais de Água Quente, Procedimento, Associação Brasileira de Normas Técnicas, Rio de Janeiro.
- NBR 7198/1992, (1992) Projeto e Execução de Instalações Prediais de Água Quente, Procedimento, Associação Brasileira de Normas Técnicas, Rio de Janeiro.
- NBR 12269/1992, Execução de Instalações de Sistemas de Energia Solar que Utilizam Coletores Solares Planos para Aquecimento de Água. Procedimento, Associação Brasileira de Normas Técnicas. Rio de Janeiro, 30 de Abril de 1992.
- Radiasol, (2007) Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS), Faculdade de Engenharia Mecânica. Brasil. Disponível em <http://www.solar.ufrgs.br/> Acessado em Julho de 2007.
- Rísoli, Ítalo Alberto Gatica, Mariotoni, Carlos Alberto, (2005), Encurtamento do Período de Retorno de um Investimento Focando a Aplicação da Energia Solar Passiva nas Edificações de Menor Poder Aquisitivo - III Workshop Internacional Brasil Japão - Implicações Regionais e Globais em Energia, Meio Ambiente e Desenvolvimento Sustentável, UNICAMP Campinas SP 2005.
- Rosa, Daniel Jordão de Magalhães, (2003), Caracterização da Radiação Solar: O Caso da Cidade Universitária/USP e da Ilha do Cardoso/Cananéia. Dissertação de Mestrado, aprovada em Julho de 2003, Universidade Politécnica de São Paulo Brasil USP.
- Sitrad®, (2007), software livre para gerenciamento remoto, Fullgauge, Brasil. <http://www.fullgauge.com.br/sitradform.htm> acessado em Julho de 2007.
- Temps, R. C., Coulson, K. L., (1977) Solar Radiation Incident Upon Slopes of Different Orientations, Solar Energy 19, pp 179 - 184.
- Tolmasquim, Maurício Tiomno, (203) Fontes Renováveis de Energia no Brasil, Editora Interciência, Rio de Janeiro.

ABSTRAC

The Brazilian industry of solar water heating systems, in general, has presented training courses mainly focused on sailing subjects to both the system sailors and plumbers, expecting to minimize the future maintenance problems. That reduces the technical discussions since the system conceptions to their installations, what has been restricted to few water solar heating systems designers. It is important to emphasize that many engineers and architects do not discuss or study the dimensioning or specification or technical consultancy, leaving those actions to either the heating system sailors or even to the plumbers what is a non desirable way. Therefore, this paper uses some free computational tools, technical literatures, as well as presents two experimental research works, in order to give a practical method of calculating the heat water reservoir volume as function of the residential bath water outflow, with few variables. There are presented many common real situations at residential solar water heating installations to feedback the studies of the building construction researchers.

Keywords : heat water reservoir, water outflow, solar irradiation, free softwares, thermo-sifon solar water heater.