

## **SISTEMA DE AQUECIMENTO SOLAR DE ÁGUA COM MANGUEIRA DE POLIETILENO: ESTUDO DE VIABILIDADE TÉCNICA E ECONÔMICA PARA UM PRESÍDIO**

**J. A. S. de Queiroz<sup>1</sup>, J. F. Escobedo<sup>2</sup>, A. S. Marques<sup>3</sup>, E. T. Teramoto<sup>4</sup>**

<sup>1</sup>Departamento de Engenharia – UNILINS – Lins/SP/Brasil

<sup>2</sup>Departamento de Engenharia Rural – FCA/UNESP – Botucatu/SP/Brasil

<sup>3</sup>Instituto Federal de São Paulo - IFSP – Birigui/SP/Brasil

<sup>4</sup>UNESP Campus Experimental de Registro/SP/Brasil

Tel. + 5514991850498 e-mail: [jqueiroz@unilins.edu.br](mailto:jqueiroz@unilins.edu.br)

Tel. + 55143811-7162 e-mail: [escobedo@fca.unesp.br](mailto:escobedo@fca.unesp.br)

Tel. + 551499895-2481 e-mail: [adriano.marques@ifsp.edu.br](mailto:adriano.marques@ifsp.edu.br)

Tel. + 551338283041 e-mail: [ericoengineer@fca.unesp.br](mailto:ericoengineer@fca.unesp.br)

*Recibido 08/08/16 aceptado 10/10/16*

**RESUMO:** Pretende-se neste trabalho apresentar com bases em resultados experimentais, um sistema de aquecimento solar de baixo custo, constituído de mangueira de polietileno, que permitiu com eficiência e economia, atender a demanda de água aquecida para o banho de 220 internos de uma unidade prisional de Lins/SP/Brasil. O sistema foi analisado atuando em fluxo contínuo e fluxo intermitente, ambos objetivando aquecer a água de banho a temperaturas apropriadas, que no inverno deve ser a partir de 37 °C. Leva-se em conta a viabilidade técnica do projeto apenas em localidades com altos índices de transmissividade atmosférica ( $K_T$ ). A proposta atendeu as expectativas deste estudo, coletando com baixo custo de implantação grandes volumes de água a temperaturas médias acima de 42 °C. O sistema pode ser adotado pelo poder público em qualquer seguimento que demande grandes quantidades de água aquecida com objetivo de reduzir custos e contribuir com o sistema energético, além de oferecer condições adequadas à higiene dos internos.

**Palavras-chave:** Aquecedores solares de água. Energia solar térmica. Energia – fontes alternativas. Transmissividade atmosférica.

### **INTRODUÇÃO**

O Brasil é um país que chama a atenção por seu enorme potencial energético solar, o que viabiliza sua utilização como fonte de energia renovável.

Na matriz energética Brasileira há a predominância da geração de energia elétrica por usinas hidroelétricas, em detrimento à utilização de formas de energia alternativa. Dentre as diversas fontes de energia alternativa possíveis, destaca-se a energia solar em duas formas: conversão em energia elétrica e conversão em energia térmica. É importante refletir que um melhor aproveitamento do potencial energético solar no Brasil promove, além de mais segurança energética para o país, uma atenuação nas mudanças climáticas promovidas por outras fontes de geração de energia não sustentáveis.

Devido ao alto custo, os sistemas de aquecimento solar comerciais são pouco utilizados em residências, indústrias, órgãos públicos e privados como alternativa para redução do consumo de energia elétrica. Uma solução apresentada são os CSBC - Coletores Solar de Baixo Custo que se apresentam como uma alternativa economicamente viável para o aquecimento de água em uma unidade do sistema prisional, visando além de minimizar as condições insalubres das unidades prisionais, permitir ao detento o direito, previsto na Lei de Execução Penal (BRASIL, 1984), à

assistência educacional, uma vez que todo o processo de confecção, instalação e manutenção do sistema de aquecimento, foi desenvolvido em conjunto com os detentos.

Como base para justificar a necessidade deste sistema, Pereira (apud DPE/SP, 2013, p. 1), professora da Unicamp e Presidente da Sociedade Paulista de Pneumologia e Tisiologia, afirma que as doenças cardíacas e respiratórias podem ser agravadas devido à falta de instalações adequadas para banho quente evidenciadas nas unidades prisionais. Também cita-se a falta do fornecimento de água quente em unidades prisionais também infringe o art. 13 das Regras Mínimas para Tratamento de Reclusos da ONU (1955, p. 1): “as instalações de banho e ducha devem ser suficientes para que todos os reclusos possam, quando desejem ou lhes seja exigido, tomar banho ou ducha a uma temperatura adequada ao clima”, a Resolução nº 14/94 do Conselho Nacional de Política Criminal e Penitenciária (BRASIL, 1994) e o art. 143 da Constituição do Estado de São Paulo (São Paulo, 1989, p. 122): “A legislação penitenciária estadual assegurará o respeito às regras mínimas da Organização das Nações Unidas para o tratamento de reclusos, a defesa técnica nas infrações disciplinares e definirá a composição e competência do Conselho Estadual de Política Penitenciária”.

Ao se propor o desenvolvimento um sistema de aquecimento de água para banho, utilizando CSBC - Coletores Solares de Baixo Custo do tipo serpentina, considerou-se também a não existência de água aquecida para o banho dos detentos na unidade pesquisada e que tal condição é exigida por lei em unidades prisionais conforme citado. Também se considerou a possibilidade de aprimoramento desse sistema em aplicações que exija o aquecimento de um volume considerável de água.

Para análise da viabilidade econômica realizou-se um comparativo do consumo médio de gás entre o período em que a unidade prisional ofertou água aquecida por caldeiras a gás (2002 a 2006), e o período desse estudo (2014 e 2015) com o aquecimento da água por energia solar.

O sistema de aquecimento de baixo custo foi quantificado a partir da comparação com valores de um sistema convencional encontrado no mercado para atender a mesma necessidade, além do comparativo com um sistema de aquecimento de água a gás em operação em local com as mesmas características do estudo.

A eficiência de um sistema solar de aquecimento de água está diretamente ligada à radiação solar que incide sobre a superfície absorvedora. Assim, para analisar a viabilidade de um sistema de aquecimento solar é necessário estudar a climatologia do local onde se deseja implantá-lo. Uma variável fundamental a ser analisada é o índice de claridade do local ou índice de transmissividade, também conhecido como índice  $K_T$  (Beckmann et al., 2006).

Na análise da média mensal do índice de claridade  $K_T$  deve-se estimar os períodos onde o sistema apresentará as melhores médias de desempenho decorrentes da maior incidência de céu claro. Neste caso, a intensidade de radiação será maior sobre a superfície em estudo obtendo-se assim o melhor desempenho, e apresentará o pior desempenho em decorrência de céu nebuloso ou totalmente coberto por nuvens (Beckmann et al., 2006; Dal Pai, 2014).

Esses conhecimentos são úteis não só para projetos de aquecimento ou geração de energia por radiação solar, mas, por qualquer projeto que dependa de energia solar ou seja influenciado por ela. Como exemplos tem-se estudos voltados à agricultura, ao planejamento e ao desenvolvimento do turismo, na aplicação de produtos agrícolas, na secagem grãos, entre outros (Pattanasethanon et al., 2007).

Conhecer a dinâmica da variação dos níveis de intensidade de radiação que podem incidir sobre a superfície absorvedora e os intervalos de ocorrência, pode servir como modelos estatísticos. No caso de sistemas para aquecimento de água para banho, é importante que nos intervalos em que o sistema se faz mais necessário, ou seja, no inverno, onde se tem menor média de temperatura, o céu apresenta maior índice de claridade (Dal Pai, 2014).

Ao estudar a climatologia do local onde se pretende instalar um sistema de aquecimento solar de água e os índices de transmissividade atmosférica ( $K_T$ ), deve-se atentar aos valores que classificam a região

por longos períodos de nebulosidade, o que não é favorável ao sistema. Desta forma, determina-se como principal objetivo do estudo, otimizar com bases em resultados experimentais, a eficiência e viabilidade econômica de um sistema de aquecimento solar de baixo custo para aquecer a água utilizada para banho em uma unidade do sistema prisional com capacidade para 220 detentos.

Os objetivos específicos são: apresentar os resultados obtidos no sistema de aquecimento solar de baixo custo implantado na unidade prisional para aquecer água para banho; minimizar as condições insalubres de sobrevivência da população carcerária durante o cumprimento da pena privativa de liberdade; propiciar integração social dos internos promovendo conhecimentos que poderão ser utilizados após o cumprimento da sentença para o aproveitamento próprio ou geração de renda; estimular o consumo consciente de água e energia elétrica.

## MATERIAIS E MÉTODOS

### *Área de estudo e informações climáticas*

O projeto foi instalado em uma unidade do sistema prisional com capacidade para 220 detentos localizado na cidade de Lins, na região Centro-Oeste do Estado de São Paulo, com uma Latitude 21°40'43" sul e a uma Longitude 49°44'33" oeste que se encontra a uma altitude de 437 metros em relação ao nível do mar.

De acordo com o CEPAGRI - Centro de Pesquisas Meteorológicas e Climáticas Aplicadas a Agricultura, o clima de Lins é classificado como Cwa de acordo com os critérios de classificação Köppen (Kottek et al., 2006), com predominância de temperaturas elevadas. O calor é forte durante o verão e o inverno é seco e frio, no entanto com registros de altas temperaturas. As Figuras 1A e 1B ilustram as séries climáticas médias da temperatura e da umidade relativa do ar, e as precipitações acumuladas, para a cidade de Lins, de acordo com dados do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET, 2016), registrados no período de 1961 a 1990 e que compõem a Normal Climatológica de Lins.

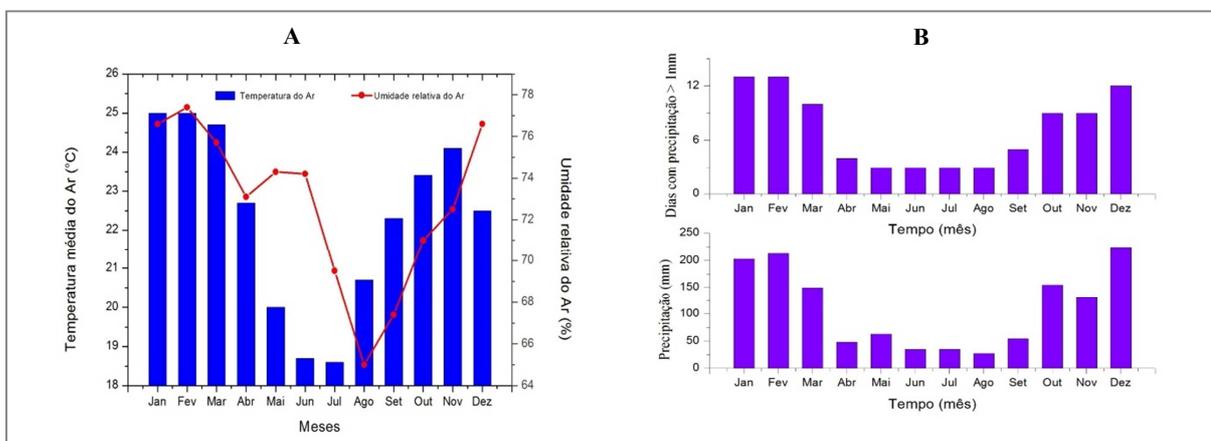


Figura 1: A - Evolução anual da temperatura do ar e umidade relativa do ar, médias mensais de 1961 a 1990, em Lins (SP) e B - Média mensal da precipitação e dos dias com precipitação da Normal Climatológica de Lins 1961 a 1990. Adaptado de INMET (2016)

A Figura 1A indica que os meses mais quentes são janeiro e fevereiro e os mais frios junho e julho. Entre 1961 a 1990, janeiro, fevereiro, março, outubro, novembro e dezembro foram os meses com maior acúmulo de precipitação e o mês mais seco foi agosto com umidade relativa de 65%. Já a Figura 1B evidencia que em junho, julho e agosto (no inverno) a incidência de chuva é muito baixa e a média de dias com precipitação maior que 1 mm não ultrapassa a 3.

As Figuras 2A e 2B, descrevem os índices de transmissividade atmosféricas da cidade de Lins (Latitude -21,64°) e a frequência mensal de cada tipo de céu, obtido por meio da média dos valores da radiação global dos anos de 2007 e 2008 registrados pelo INMET.

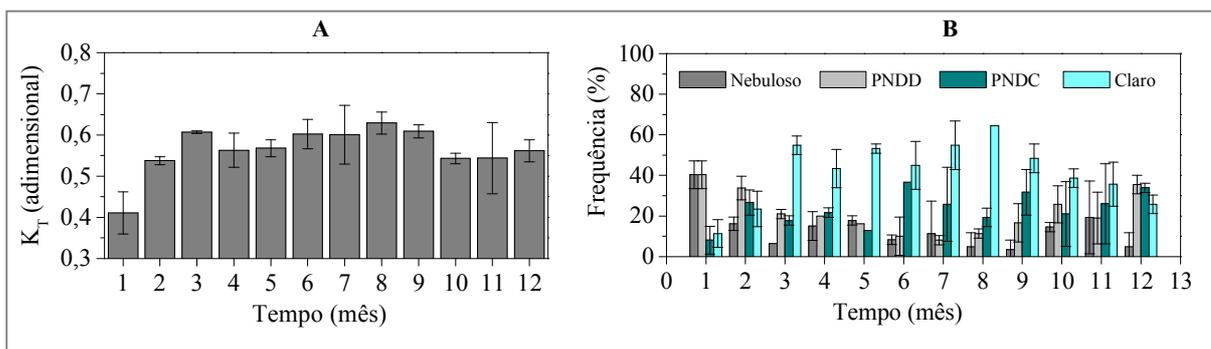


Figura 2: A - Média mensal do índice de transmissividade atmosférica ( $K_T$ ) dos anos de 2007 e 2008 e B - Frequência do tipo de céu por mês para Lins

De acordo com a Figura 2A e 2B, pode-se afirmar que Lins está localizada em uma latitude favorável à instalação de sistemas de aquecimento de água com coletores solares térmicos, o que viabiliza tecnicamente a realização deste estudo em razão dos índices de transmissividade serem maiores que 0,4. A média anual de transmissividade atmosférica foi de 0,59, indicando um ano de céu PNDC - Parcialmente Nebuloso com Dominância para o Claro.

Os índices apresentados indicam que os meses de inverno, que são os que mais necessitam de água aquecida, estavam entre os meses com maior incidência de Radiação Global, sendo que a maior média foi em agosto com  $K_T = 0,65$ . Os menores valores foram registrados nos meses de janeiro, fevereiro, março, outubro, novembro e dezembro.

Destaca-se que os meses com menor índice de transmissividade correspondem aos meses com maior ocorrência de precipitação, conforme Figura 1B. O mês de janeiro indicou o menor índice de transmissividade,  $K_T = 0,42$ , mesmo assim favorável ao sistema.

Vale ressaltar, que para cidades com razão de transmissividade atmosférica menores que 0,35 podem não apresentar a mesma eficiência indicada neste estudo.

Observa-se que a predominância para a maioria dos meses é céu PNDC - Parcialmente Nebuloso Dominância para Claro e dias de céu claro. O mês mais crítico é janeiro com predominância de céu nebuloso e de céu PNDD – Parcialmente Nebuloso Dominância para Difuso.

No cenário da pesquisa, observou-se que durante o período de 2001 a 2005 a água utilizada para banho era aquecida por meio de um sistema de caldeira a gás. Após este período as caldeiras foram gradualmente desativadas e o fornecimento de água aquecida para banho foi interrompido.

A unidade é dividida em 3 alas com limite máximo para 70 internos cada, possui ainda um alojamento para 10 internos idosos ou com a saúde debilitada, totalizando uma capacidade de 220 internos.

A água utilizada para banho é proveniente de um poço artesiano que abastece um reservatório de aproximadamente 30 metros exercendo uma pressão de 24 mca (metros de coluna d'água) sobre os pontos de trabalho.

De posse das informações oferecidas pela administração da unidade, considerou-se que a implantação deste sistema seria viável para estudo. Ficou acordado que o processo de produção dos aquecedores, assim como toda sua implantação e manutenção seria realizada com participação dos internos, pois desta forma, os internos envolvidos poderiam fazer uso deste conhecimento como fonte de geração de renda dentro do processo de reinserção na sociedade (Figura 3).



Figura 3: Unidades coletoras sendo confeccionados por detentos

Após um curso sobre energia solar e sistemas de aquecimento alternativos oferecido pelo Centro Universitário de Lins (UNILINS), foi instalado em agosto de 2012 o primeiro conjunto de coletores na unidade, dos quais seriam obtidos os primeiros dados do experimento. Este sistema ainda se encontra em funcionamento e aquece água para assepsia de utensílios na cozinha.

*Influência da nebulosidade sobre a radiação solar - métodos para análise do índice da transmissividade atmosférica ( $K_T$ )*

Para muitas literaturas indicar o índice  $K_T$  significa expressar a condição em que se encontra o céu em determinados períodos. Por meio deste índice classifica-se o céu como nebuloso para baixos valores de  $K_T$ , sinalizando baixa relação solar global em relação à extraterrestre, céu limpo ou com pouca nebulosidade para altos valores de  $K_T$ . O  $K_T$  é adimensional e seus valores variam entre 0 e 1 (Dal Pai e Escobedo, 2001; Terramoto e Escobedo, 2012).

Escobedo et al. (2009) utilizaram o  $K_T$  para expressar quatro condições distintas de cobertura de céu: completamente nublado ou céu nebuloso (de 0 a 0,35); Parcialmente Nebuloso com Dominância para Difuso - PNDD (de 0,35 até 0,55); Parcialmente Nebuloso com Dominância para o Claro - PNDC (de 0,55 a 0,65); e céu claro (acima de 0,65).

De acordo com Iqbal (1983), o valor do  $K_T$  é obtido por meio do quociente apresentado na Equação (1).

$$K_T = \frac{H_G}{H_0} \dots\dots\dots (1)$$

Onde:

$H_G$  = Radiação Global na horizontal diária,  $MJ\ m^{-2}\ d^{-1}$

$H_0$  = radiação solar no topo da atmosfera diária,  $MJ\ m^{-2}\ d^{-1}$

Para o cálculo da radiação extraterrestre ( $H_0$ ), que é determinada em função da hora, do dia do ano em calendário Juliano, e da latitude do local, utiliza-se a Equação (2).

$$H_0 = 1367 \left(\frac{24}{\pi}\right) E_0 \left[\left(\frac{\pi}{180}\right) \omega_s \text{sen}(\varphi) \text{sen}(\delta) + \cos(\varphi) \cos(\delta) \text{sen}(\omega_s)\right] \dots\dots (2)$$

Sendo:

$E_0$  = fator de correção da excentricidade da órbita terrestre

$\omega_s$  = ângulo horário solar, °

$\varphi$  = latitude local, °

$\delta$  = declinação solar, °

O fator de correção da excentricidade da órbita terrestre, a declinação solar e o ângulo solar foram calculados, respectivamente, a partir das equações (3), (4), (5), conforme Iqbal (1983):

$$E_0 = 1,000 + 0,034 \cos(\Gamma) + 0,0013 \operatorname{sen}(\Gamma) + 0,000719 \cos(2\Gamma) + 0,000077 \cos(2\Gamma) \dots \dots \dots (3)$$

$$\delta = 23,45 \sin \left[ \left( \frac{360}{365} \right) (Dj + 284) \right] \dots \dots \dots (4)$$

$$\omega_s = \arcsin [-\operatorname{tg}(\phi) \operatorname{tg}(\delta)] \dots \dots \dots (5)$$

Onde:

DJ = dia Juliano

$\Gamma = 2\pi(DJ - 1)/366$

### *Instrumentação e medidas*

Os dados foram coletados por meio de um Datalogger da marca Campbell® modelo 21X operando na frequência de 1 Hz, armazenando médias instantâneas de 5 minutos ou 300 leituras, em um módulo de memória SM192 também da marca Campbell, utilizado para transferir os dados para um computador por meio de uma interface SC532 operando com o software PC 208W da Campbell.

Em cada sistema de absorção as temperaturas de entrada e saída das unidades coletoras foram monitoradas. O sensor utilizado no estudo foi o termopar de Ferro-Constantan (tipo K), sendo o Ferro (Fe 99,5%) termoelemento positivo e Constantan (Cu 55% Ni 45%) o termoelemento negativo. A faixa de operação de temperatura deste sensor é entre -210 °C a 760 °C.

A Radiação Solar Global foi medida com um Piranômetro EPPLEY® PSP, instalado no mesmo plano do sistema absorvedor. O Piranômetro utilizado possui fator de calibração 8,49  $\mu\text{V}/\text{Wm}^2$ , intervalo espectral de 295-2800nm, tempo de resposta 1s, linearidade  $\pm 0,5\%$  (de 0 a 2800  $\text{W}/\text{m}^2$ ), impedância aproximada de 350  $\Omega$ , e resposta a temperatura de  $\pm 1,5\%$  (-20 °C a 40 °C).

O medidor de vazão utilizado foi do tipo Efeito Hall, modelo FY S201 e sua funcionalidade é dada por um rotor acoplado a uma turbina, que envia um pulso de 5 volts para o Datalogger cada vez que o fluido passa por ela e completa um ciclo. Este medidor atua com temperaturas entre 0 °C e 80 °C, contabiliza 450 pulsos por litro, pode ser aplicado em sistemas com vazão máxima de 30 l/min com exatidão de 10%.

## **RESULTADOS E DISCUSSÃO**

### *Caracterização e funcionamento do sistema de aquecimento*

O objetivo do sistema de aquecimento proposto neste trabalho foi o de aquecer água para banho a temperaturas mínimas de 32 °C no verão e 37 °C no inverno, considerando o consumo médio de 50 litros por pessoa conforme NBR-7198 (ABNT, 1993).

O sistema de aquecimento proposto neste trabalho, para atender a demanda de água aquecida a ser utilizada no presídio, foi desenvolvido por Silva (1992), como se observa na Figura 4.

O estudo de Silva (1992) analisou a eficiência de um coletor solar de baixo custo constituído por tubos de polietileno extrudados, dispostos em forma de espiral. Cada unidade coletora era composta por 50 metros de tubo de polietileno, de cor preta fosca, com diâmetro de 17 mm e espessura de 2 mm. Como resultado constatou que o sistema apresentava ganhos de temperaturas quando as unidades coletoras (serpentina) eram dispostas em séries e que estes ganhos eram inversamente proporcionais à vazão ao qual cada conjunto de coletores em série eram submetidas.

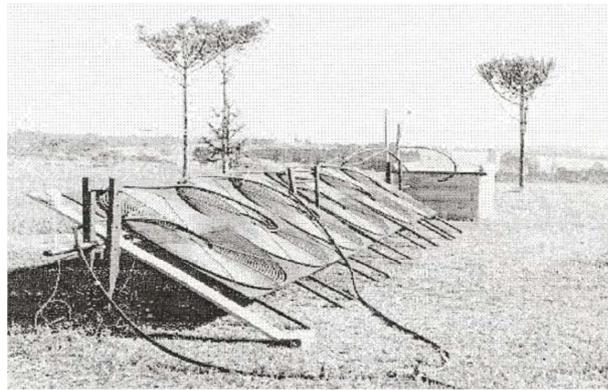


Figura 4: Coletor solar de polietileno. Silva (1992, p. 12)

No estudo presente estudo, para garantir a demanda do volume de água aquecida para uma ala, foram analisados dois arranjos de coletores, sendo um para aplicação em fluxo contínuo e outro para fluxo intermitente. Estes arranjos foram instalados ao sistema de aquecimento conforme ilustrado na Figura 5.

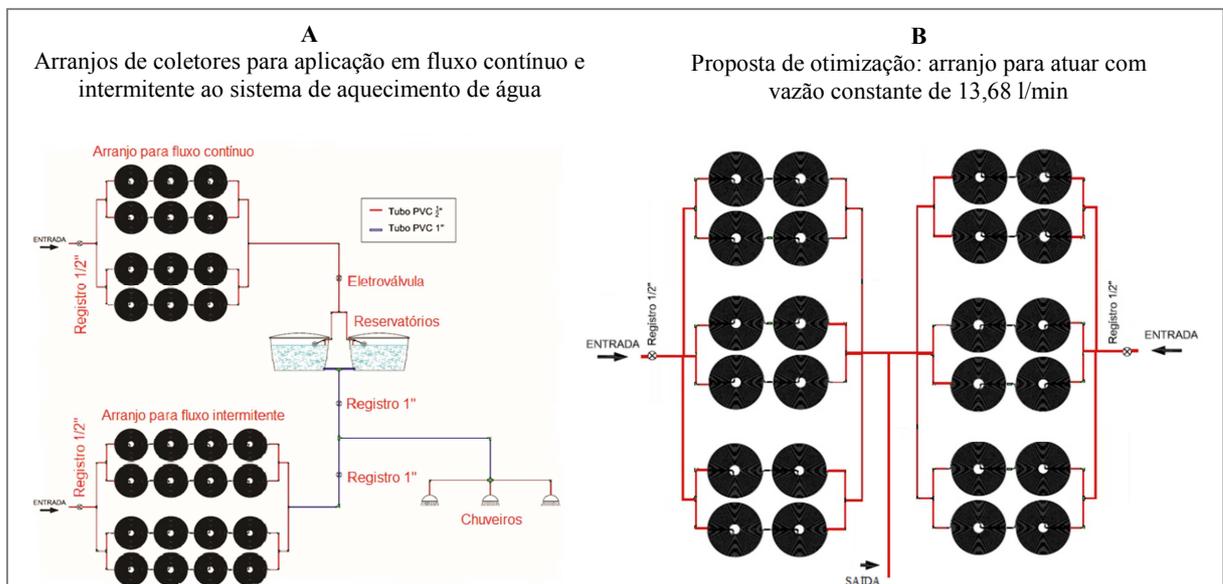


Figura 5. Configuração do sistema analisado e proposta de otimização

No arranjo para fluxo contínuo o fluido escoava nos dutos com velocidade constante e foi armazenado em dois reservatórios de polietileno com capacidade total de 2.000 litros para consumo no período da noite.

Este sistema foi composto por 12 unidades coletoras que resultaram em uma área de absorção de 10,8 m<sup>2</sup>. Optou-se por três unidades coletoras em série em razão do desempenho alcançado por Silva (1992) em seus estudos. Na oportunidade (19/5/1991) a performance do sistema coletor chegou a 55,5 °C às 13h50min para uma vazão de 630 (ml/min).

O segundo arranjo teve como proposta avaliar o fluxo intermitente, decorrente da vazão que era requisitada cada vez que os registros dos chuveiros forem ligados. Como a vazão neste sistema é variável optou-se por instalar 4 unidades coletoras em série para aumentar o ganho de temperatura quando submetido a altas vazões. A área de absorção deste arranjo foi de 14,4 m<sup>2</sup>.

Após análise do comportamento das temperaturas de entrada e saída das unidades coletoras do arranjo de fluxo contínuo, observou-se que as temperaturas desejadas para banho (37 °C no inverno) encontravam-se quase sempre nos intervalos de 10h às 17h (Figura 6).

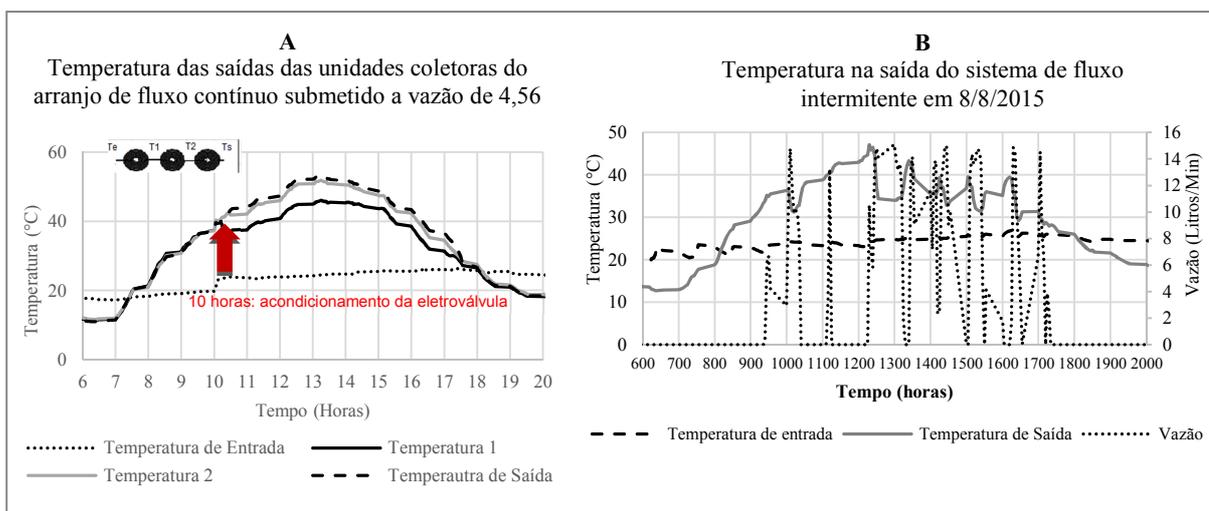


Figura 6: Comportamento das temperaturas de entrada e saída das unidades coletoras do arranjo dos fluxos contínuo e intermitente

Como se pretendia coletar no experimento um volume de 2.000 litros de água aquecida, ao se dividir este volume pelo intervalo de tempo chegou-se à conclusão que a vazão deveria ser de 4,56 l/min. Para controlar o horário de liberação da água deste arranjo foi instalado uma eletroválvula controlada por um Timer, conforme demonstra esquematicamente a Figura 5.

Na análise realizada no dia 8 de agosto de 2015 (inverno brasileiro), o sistema de fluxo contínuo, resultou em um volume de 1.933,77 litros de água aquecida com temperatura média de 43,11 °C, registrando a última vazão com temperatura acima de 37 °C às 17h.

O arranjo de fluxo contínuo estudado possui 3 unidades coletoras (serpentina) em série, conforme ilustrado no gráfico da Figura 6. Quando comparadas às temperaturas de saída da segunda (T2) e terceira (Ts) unidades coletoras do sistema de fluxo contínuo, percebe-se que ambas apresentaram temperaturas acima de 37 °C durante todo o intervalo em que o sistema está ativo (entre 10h e 17h10min.).

Analisando a temperatura da saída da segunda unidade coletora (T2) do mesmo sistema e mesmo dia, observa-se os seguintes dados: a primeira temperatura desejada foi 37,13 °C e ocorreu às 10h5min., a temperatura limiar foi 37,09 °C às 17h10min., a temperatura média para o intervalo entre 10h10min. e 17h10min. foi de 42,7 °C. A Radiação Global e a temperatura ambiente do local em estudo estão representados nos gráficos da Figura 7A e B.

O comportamento do sistema de fluxo intermitente pode ser visualizado na Figura 6B, destaca-se que nesta configuração a temperatura na saída do sistema apresentou grandes quedas para vazões acima de 10 l/min. Com base nestas informações, propõem-se o sistema descrito na Figura 5B, atuando em fluxo intermitente. Observa-se que nesta configuração foi retirada a terceira serpentina, pois a mesma não apresentava ganhos consideráveis de temperatura na vazão de 4,56 l/min. Com esta alteração a área de absorção de energia passaria de 10,8 m<sup>2</sup> para 21,6 m<sup>2</sup>, e quando solicitado (abertura dos chuveiros) o sistema pode fornecer uma vazão de 13,68 l/min. com temperatura média de 42,7 °C.

O volume resultante deste sistema poderá chegar a 5.801 litros, o que possibilitaria aproximadamente 116 banhos de 50 litros cada. Para ajudar no balanço hidráulico, o sistema passaria a ter 2 entradas de água fria e a vazão nas serpentinas seriam controladas por registros. Para atender a demanda total do sistema propõe-se, portanto, instalar um sistema para cada Ala, desta forma o volume total coletado de água aquecida pode atingir 17.403 litros se utilizado em fluxo contínuo, assim pode se assegurar o banho dos internos atendendo as normas vigentes.

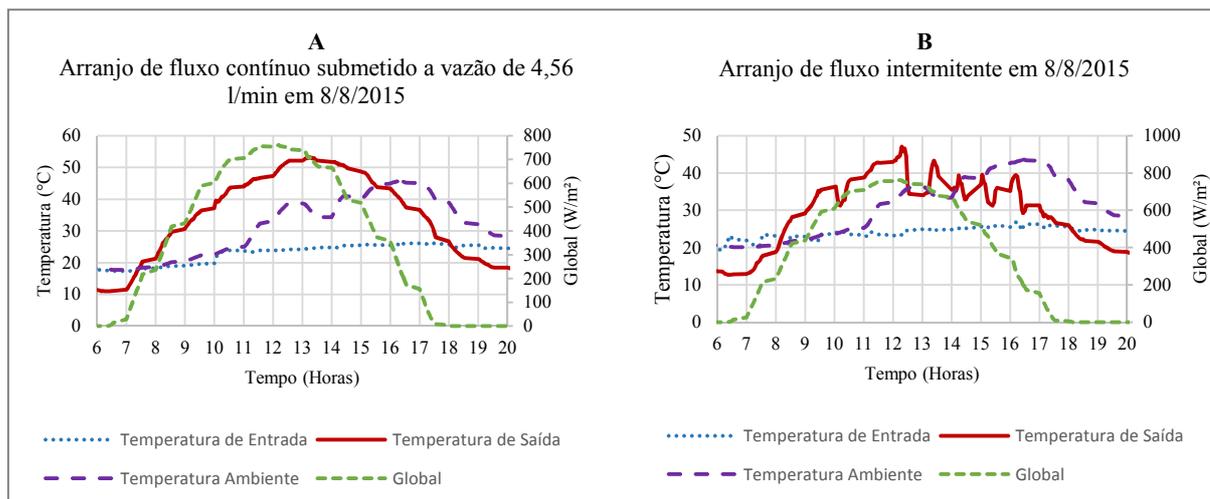


Figura 7: Comportamento das temperaturas de entrada e saída dos sistemas (fluxo contínuo e intermitente) em função da Radiação Global e temperatura ambiente.

*Viabilidade do sistema de aquecimento de tubo de polietileno no Centro de Ressocialização*

*Custo do sistema de aquecimento por caldeiras na unidade em estudo*

A unidade em estudo contou com um sistema de caldeira a gás, para aquecimento de água para banho dos internos, no período de 2001 a 2005. Neste período não havia controle da quantidade nem do tempo destinado aos banhos. A quantidade de banho e o tempo passaram a ser controlados no ano de 2014, em decorrência da solicitação feita pelo Governo do Estado de São Paulo.

Na Tabela 10 foram lançados os consumos de gás desses anos, referente a banho e a cozinha. Deve-se observar o consumo elevado em julho de 2003 - 4901 Kg, agosto de 2004 - 4175 Kg e julho de 2005 - 5391 Kg, notadamente meses de inverno.

Mês	2002	2003	2004	2005	Média	2014
janeiro	1.755	2.121	1.900	928	1676	535
fevereiro	2.629	2.297	2.457	1.596	2.244,75	564
março	2.359	2.072	4.688	1.446	2.641,25	723
abril	4.863	2.171	2.580	2.101	2.928,75	1.306
maio	2.702	2.052	3.080	2.243	2.519,25	880
junho	2.006	2.345	2.597	2.709	2.414,25	714
julho	2.607	4.901	2.354	5391	3.813,25	905
agosto	2.469	2.559	4.175	2.584	2.946,75	751
setembro	2.547	2.387	1.729	2.948	2.402,75	633
outubro	2.677	2.719	1.431	2.644	2.367,75	1.605
novembro	1.936	2.351	3.453	3.734	2.868,5	714
dezembro	2.404	2.534	1.647	1.921	2.126,5	1.045
<b>Médio do ano</b>	<b>2.579,5</b>	<b>2.542,4</b>	<b>2.674</b>	<b>2.520,4</b>	<b>2.579,01</b>	<b>865</b>
<b>Consumo anual</b>	<b>30.954</b>	<b>30.509</b>	<b>32.091</b>	<b>30.245</b>	<b>30.949,8</b>	<b>10.375</b>

Tabela 1 Consumo de gás (Kg) no Centro de Ressocialização

A média mensal de consumo destes quatro anos foi de 2.579,01 Kg de gás. O sistema de caldeiras para banho foi desativado em 2005. Destaca-se que houve consumo elevado em julho de 2003 - 4901 Kg, agosto de 2004 - 4175 Kg e julho de 2005 - 5391 Kg, notadamente meses de inverno brasileiro.

Atualmente, o consumo de gás destina-se apenas à cozinha para o preparo de alimentos com consumo médio de 865 kg em 2014. Assim, fazendo a diferença desse consumo pela média (2.579,01 Kg) conclui-se que o consumo de gás com as caldeiras que aqueciam água para banhos foi de 1.679,01 Kg por mês.

Em 2015 o valor contratado pela administradora do sistema penitenciário foi R\$ 4,55 o quilo de gás. Portanto, o Estado gastaria em 2015 para o mesmo consumo médio para banho o valor de R\$ 7.639,50 por mês ou R\$ 91.674,00 por ano.

#### *Custo do sistema de aquecimento por caldeiras na unidade em unidade similar*

Em outra análise realizada para demonstrar quanto custaria em 2015 o banho dos internos, comparou-se o consumo de gás de outro sistema penitenciário com a mesma capacidade carcerária e as mesmas características. Esse presídio oferta água aquecida para banho, nos meses de julho e agosto. De acordo com os agentes administrativos deste presídio, o consumo para os meses em que não ofertam banho quente é de 640 Kg de gás em média, e 1.260 Kg nos meses referentes ao inverno para atender banho e cozinha.

A diferença resulta em 620 Kg mês de gás necessários para aquecer a água utilizada para banho. O custo referente ao banho neste presídio por meio de caldeira a gás foi de R\$ 5.642,00 para os dois meses. Se fossem ofertados banhos quentes durante os doze meses o custo seria de R\$ 33.852,00.

Analisando o consumo comparativo de gás destes dois presídios, observou-se que os valores referentes ao presídio em estudo são praticamente três vezes maiores que o consumo do presídio comparado. Sabendo que a média de internos foi de 220 desde 2001, conclui-se que os internos tomavam mais de um banho quente por dia, e/ou que o tempo destinado por banho foi maior.

#### *Análise econômica das unidades coletoras*

Para implantação do sistema de aquecimento no presídio foi necessário manufaturar as unidades coletoras. Estas foram confeccionadas pelos internos do presídio após aplicação de um curso sobre aquecedores solar, resultando no custo final das unidades coletoras em R\$ 67,34 referentes aos materiais utilizados para sua confecção (Data base 16/08/2015).

O custo de implantação do sistema otimizado em uma ala de 70 internos, considerando 24 unidades coletoras e os materiais para sua instalação e na mesma data base seria de R\$ 1.763,56. Para instalar o sistema nas 3 alas o custo seria de R\$ 5.290,68.

Para análise comparativa, foram orçados os valores das unidades coletoras de espiral industrializado utilizadas em aquecimento de água para piscinas a R\$ 300,00, o que resultaria se aplicado, o valor do sistema em R\$ 10.737,60. Assim, para aplicação nas 3 alas, adquirindo as unidades coletoras industrializadas o custo final seria de R\$ 32.212,80.

Também foram obtidos orçamentos de um sistema de placa plana que atenderia 70 pessoas com um banho de 50 litros cada. O fabricante indicou um sistema composto por 20 placas de 2 m<sup>2</sup> cada (40m<sup>2</sup>) a um custo de R\$ 18.000,00. O sistema custaria para atender as 3 alas com placas planas comerciais R\$ 54.000,00.

## **CONCLUSÃO**

De acordo com o objetivo do estudo foi possível analisar a viabilidade técnica e econômica de um sistema de aquecimento de água construído com mangueiras de polietileno em um conjunto de

serpentinhas. Este sistema já é recorrente nos meios acadêmicos, conhecido como Sistemas de Aquecimento Solar de Baixo Custo.

O experimento realizado em um Centro de Ressocialização permitiu a proposição de otimização com a adoção de uma melhor configuração para o sistema de fluxo intermitente que comprovadamente aumentaria sua eficiência. Propôs-se também a instalação de um sistema em cada Ala do presídio para a coleta de um volume total de 17.403 litros que utilizado em fluxo contínuo asseguraria o banho dos detentos a uma temperatura superior a 37 °C no inverno.

A questão econômica foi realizada comparando-se o sistema proposto com o aquecimento a gás utilizado em outro Centro de Ressocialização com as mesmas características. Desta comparação chegou-se à conclusão de que o custo mensal para banho no sistema a gás é de R\$ 2.821,00 enquanto que o sistema apresentado teria custo zero, pois trata-se de energia renovável. A TIR - Taxa de Investimento de Retorno seria de dois meses, já que a sua instalação total custaria R\$ 5.278,68.

Ressalta-se também que o sistema proposto permitiria banho quente a todos os detentos em todos os dias do ano em cumprimento as normativas nacionais e internacionais resultando na diminuição dos gastos do Estado com a saúde dos mesmos. Além disso, o sistema constitui-se em uma alternativa para geração de renda aos detentos que participaram da montagem e manutenção do sistema. Outros dados relevantes para a implantação do sistema proposto são:

- a) o custo para atender toda a demanda do Centro de Ressocialização seria 3 vezes o valor de um sistema (R\$ 1.763,56), ou seja, R\$ 5.290,68;
- b) o custo para atender toda a demanda do Centro de Ressocialização seria 3 vezes o valor de um sistema (R\$ 7.356,00), ou seja, R\$ 22.068,00 utilizando serpentinhas comerciais;
- c) o custo para atender toda a demanda do Centro de Ressocialização seria 3 vezes o valor de um sistema (R\$ 18.000,00), ou seja, R\$ 54.000,00 utilizando placas planas comerciais.

Os objetivos foram atingidos na medida em que o estudo permitiu apresentar os resultados da implantação do sistema de aquecimento solar de baixo custo em uma Unidade prisional, contribuindo para a melhoria da sua infraestrutura e minimização da insalubridade da população carcerária.

Destaca-se também a integração social dos detentos através dos conhecimentos adquiridos na implantação do sistema que poderão ser utilizados após o cumprimento da sentença para geração de renda além de serem multiplicadores da tecnologia em municípios da região e também da conscientização do consumo consciente de água e energia elétrica.

Após o levantamento destes dados observa-se que o sistema de aquecimento de água desenvolvido é viável tanto técnica quanto economicamente.

Estudos futuros poderão verificar a viabilidade do sistema em outras unidades públicas (creches, hospitais e outros) que demandem uma larga utilização de água quente para banho e procedimentos.

## REFERENCIAS

ABNT. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR-128 – Projeto e execução de instalações prediais de água quente. Rio de Janeiro, 30/09/1993.

Beckmann, M. Z. et al. Radiação solar em ambiente protegido cultivado com tomateiro nas estações verão-outono do Rio Grande do Sul. *Cienc. Rural*, v. 36, n. 1, p. 86-92, 2006.

Brasil. Lei nº 7.210, de 11 de julho de 1984. Institui a Lei de Execução Penal. **Diário Oficial da União**. Brasília (DF), 13/7/1984.

\_\_\_\_\_. Conselho Nacional de Política Criminal e Penitenciária. Resolução nº 14/94, de 11 de novembro de 1994. *Diário Oficial da União*. Brasília (DF), 12/11/1994.

Dal Pai, E. Modelos de estimativa da radiação atmosférica em função da temperatura, umidade e dos índices radiométricos Kt e Kd para Botucatu-SP. 2014. Tese (Doutorado em Agronomia (Energia na

Agricultura) - Faculdade de Ciências Agrônomicas da Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Botucatu.

Dal Pai, A. e Escobedo, J. F. Influência da massa ótica nos valores instantâneos da fração solar difusa. *Energia na Agricultura*, v. 16, n.3, p. 1-6, 2001.

DPE/SP. Defensoria Pública de SP obtém liminar que determina fornecimento de água aquecida para detentos no Estado. 5/11/2013. Disponível em: <<http://www.gecap.direitorp.usp.br/index.php/noticias/269-defensoria-publica-de-sp-obtem-liminar-que-determina-fornecimento-de-agua-aquecida-para-detentos-no-estado>>. Acesso em: 15 ago. 2015.

Escobedo, J. F. et al. Modeling hourly and daily fractions of UV, PAR and NIR to global solar radiation under various sky conditions at Botucatu, Brazil. *Applied Energy*, v. 86, p. 299-309, 2009.

INMET. INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA. Normais climatológicas do BRASIL 1961-1990. Disponível em: <<http://www.inmet.gov.br/portal/index.php?r=clima/normaisClimatologicas>>. Acesso em 15 ago. 2015.

Iqbal, M. An introduction to solar radiation. New York: Academic Press, 1983. 390p.

Kottek, M. et al. World Map of the Köppen-Geiger climate classification update. *Meteorologische Zeitschrift*, Berlin, v. 15, n. 3, p. 259-263, June 2006.

ONU. ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS. Regras Mínimas para o Tratamento dos Reclusos – 1955, adotadas pelo Primeiro Congresso das Nações Unidas sobre a Prevenção do Crime e o Tratamento dos Delinquentes, realizado em Genebra em 1955, e aprovadas pelo Conselho Econômico e Social das Nações Unidas através das suas resoluções 663 C (XXIV), de 31 de julho de 1957 e 2076 (LXII), de 13 de maio de 1977. Resolução 663 C (XXIV) do Conselho Econômico e Social. Genebra, 31/8/55.

Pattanasethanon, S. et al. All sky modeling daylight availability and illuminance/irradiance on horizontal plane for Mahasarakham, Thailand. *Energy Conversion & Management*, Belton, v. 48, pp. 1601-1614, 2007.

São Paulo. Constituição Estadual. Atualizada até a Emenda nº 39, de 28/1/2014. Diário Oficial do Estado de São Paulo. São Paulo, sala das Sessões, 5 out. 1989.

Silva, L. A. Coletor de polietileno: uma alternativa de aproveitamento de energia solar de baixo custo. 1992. 54 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia/Energia na Agricultura) - Faculdade de Ciências Agrônomicas, Universidade Estadual Paulista, Botucatu.

Teramoto, E. T. e Escobedo, J. F. Análise da frequência anual das condições de céu em Botucatu, São Paulo. *Revista Brasileira Engenharia Agrícola e Ambiental*, v. 16, n. 9, p.985–992, 2012.

## ABSTRACT

It is intended in this work present with bases on experimental results, a solar heating system low cost, consisting of polyethylene hose, which allowed efficiently and economically, meet the hot water demand for bathrooms 220 inmates in a prison in Lins / SP / Brazil. The system was analyzed operating in continuous flow and intermittent flow, both aiming warm in regions with high levels of atmospheric transmissivity (KT), water at appropriate temperatures for bathing, in the winter, should be above 37 ° C. The proposal has met expectations, collecting with low implementation cost, large volumes of water with average temperatures above 42 ° C. The system can be adopted by the government in any action that requires large amounts of water heated in order to reduce costs and contribute to the energy system.

**Keywords:** Solar water heaters. Solar thermal energy. Energy - alternative sources. atmospheric transmissivity.