

DESENVOLVIMENTO DE UM NOVO MODELO DE COLETOR SOLAR PLANO DE BAIXO CUSTO

DANIELLY LETÍCIA REBELATO

UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ-UTFPR

JEAN CARLOS RAVANELLI APPEL

UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ-UTFPR

BRUNO ARANTES MOREIRA

CLEILA CRISTINA NAVARINI VALDAMERI

DESENVOLVIMENTO DE UM NOVO MODELO DE COLETOR SOLAR PLANO DE BAIXO CUSTO

1 INTRODUÇÃO

Os coletores solares planos de baixo custo (CSPBC) são caracterizados pelo seu custo reduzido na fabricação e pela utilização de materiais acessíveis. Tais coletores estão sendo extensivamente estudados nos últimos anos. Por este motivo, novos modelos de CSPBC tem sido propostos, impactando positivamente tanto o meio ambiente e a sociedade.

O Sol é considerado uma fonte de energia limpa e gratuita, além de ser uma fonte inesgotável. Sua incidência de radiação solar no Brasil tem uma variação de 5,2 a 5,9 KWh/m² (uma diferença de 13%) dependendo da região do país, variação considerada baixa, quando relacionada a variação de consumo de energia para chuveiros levantada pelo IDEC - Instituto Brasileiro de Defesa do Consumidor (2017), com variação acentuada nas regiões do Brasil variando de 2.400W a 7.900W (uma diferença de quase 230%).

Segundo dados do Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica – PROCEL (2010) 95% da energia gerada no país, é proveniente de hidroelétricas. Com a crescente demanda energética, são necessárias cada vez mais usinas, linhas de transmissão e redes de distribuição. Com a redução do consumo elétrico proveniente do uso de aquecedores solares, estes investimentos poderiam ser postergados ou evitados, bem como, áreas de vegetação não seriam alagadas e desmatadas, realidade recorrente no Norte do país (COURSES; SCHOOLS, 2015).

Silva (2015) menciona que os modelos de CSPBC atualmente são compostos por tubos em PVC (Policloreto de Vinila), conexões, aletas e isolamento com diferentes configurações. A grande quantidade de conexões, a montagem das aletas e seu isolamento tornam sua construção e manutenção mais difíceis, tendo em vista que grande parte de sua aplicação destina-se ao público com menor conhecimento técnico (SANCHES, 2008; ROBERTO et al., 2016).

Grande parte das falhas em tubulações hidráulicas em PVC, estão ligadas ao seu uso e instalação incorretos, como, torções nas tubulações, falta de proteção mecânica contra impactos, adaptações nas tubulações sem o uso correto das técnicas de instalação e o aquecimento dos tubos. Além disso, em sua maioria, apresenta vários problemas nas conexões, ficando evidente que as conexões são um ponto crítico (SANCHES, 2008; ROBERTO et al., 2016).

Em um contexto sócio espacial, verificou-se através de dados do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística - IBGE (2011) que 10,3% das pessoas não tem acesso à energia elétrica nas áreas rurais brasileiras e observa-se que na Região Norte, esse número aumenta para 38,5% (ROBERTO et al., 2016).

Assim, se faz necessário um estudo mais amplo de soluções que reduzam os pontos de falha no atual sistema dos CSPBC, que visem uma montagem mais simples, com o mínimo de conexões, montando uma nova composição que torna esta tecnologia mais confiável, durável e difundida.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Neste tópico serão introduzidos assuntos relevantes para compreensão do funcionamento do captador solar para a elaboração de um sistema passivo de captação térmica.

2.1 A Energia Solar

Um dos principais fatores na radiação solar, é a inclinação que a Terra tem 23,5° em relação do seu eixo de rotação que durante o movimento de translação expõem mais um hemisfério que outro.

À medida que o planeta vai rotacionando em torno de si e caminhando em torno do Sol, o hemisfério inclinado para este último, recebe os raios solares de forma mais direta, com isso, a quantidade de energia chegando para um e para o outro, serão diferentes. Podendo assim, haver grande alterações na quantidade de energia, especificadamente, sendo de 2572 W/m² no inverno e 6626W/m² no verão (RADIATION, 2013). Stensmann (2002), cita que essa energia é equivalente a produção elétrica de 10 bilhões de usinas hidroelétricas como a Itaipu, energia a qual vem sofrendo grandes aumentos na demanda.

Segundo Lamberts et al. (2010), no Brasil, a partir do ano de 2005 houve um consumo residencial de cerca de 22,2% por edificação e estas, por sua vez, tem sua demanda composta por equipamentos que incluem sistemas de iluminação, refrigeração e aquecimento, eletrodomésticos e outros dispositivos.

Percebe-se, que os maiores responsáveis pela demanda elétrica residencial são o chuveiro com 24%, a geladeira com 22%, seguidos pelo ar-condicionado com 20%, compondo 2/3 de toda a demanda residencial.

Segundo o IDEC - Instituto Brasileiro de Defesa do Consumidor (2018) a radiação solar tem uma pequena variação no território brasileiro, de cerca de 5,5KWh/m² na região Norte e de 5,2 KWh/m² na região Sul. Enquanto a potência recomendada para chuveiros no Norte é de 2.400w à 4.600w, no Sul esta recomendação é de 6.800w a 7.900w ou maior.

Se comparado o alto consumo de energia pelos chuveiros, enquanto a radiação solar com pouca variação no território do Brasil, fica evidente o grande potencial do uso de aquecedores solares de água na região Sul do país.

2.2 Coletores e Concentradores Solares

Segundo Bainbridge (1983), os primeiros relatos de uso de aquecedores existem desde 1.800, no estado de Utah, onde fazendeiros estavam utilizando latas pintadas de preto que ficavam no sol, até que as mesmas ficassem aquecidas.

Herschel em 1830, construiu uma “caixa quente” para cozinhar, durante uma expedição ao Cabo da Boa Esperança na África do Sul, conseguindo temperaturas até 240° F. (GEVORKIAN, 2008)

Kemp em 1891, obteve a primeira patente para um coletor solar, o Clímax, que possuía vários tanques cilíndricos de aço galvanizado, pintados de preto. Conseguiu-se um aumento no rendimento ao isolar esses tanques com papel de feltro e colocá-los em uma caixa de madeira com cobertura de vidro, além de conseguir, assim, conservar a água quente. (NIEMEYER, 2006)

Em 1902, já haviam relatos de aquecedores passivos como relatados por Bainbridge (1983), onde evidencia-se em fotos históricas o uso de aquecedores em Los Angeles. O autor ainda verifica anúncios e informativos apresentando o passo a passo da montagem e usos deste sistema.

Reddy (1995) publicou um estudo de comparação econômica entre os sistemas elétrico e solar de aquecimento de água, que levou a conclusão de que o aquecedor solar de água é a melhor proposta para os consumidores. Isso porque, além da viabilidade econômica, trata-se de uma fonte de natureza renovável e que promove qualidade ambiental.

Há duas formas de captação, através de captadores solares concentradores e coletores solares planos. Nos do tipo concentradores, os modelos mais utilizados são os coletores do

tipo bacia parabólica, calha parabólica, torre e lentes Fresnel e tem como característica principal direcionar os raios solares em uma área de concentração, a qual retém ou converte o calor em energia.

Em um contexto geral, os sistemas concentradores são de difícil execução, tendo custo de construção médio a alto, precisão de manutenção constante. As lentes concentradoras ou espelhos concentradores requerem limpeza constante para que funcionem plenamente, requer bombeamento do fluido e muitos dos sistemas concentradores só se tornam viáveis com ajustes de posição ao longo das estações e em alguns modelos, os ajustes são feitos várias vezes durante o dia.

Quanto aos coletores solares planos, atualmente são um dos sistemas com menor custo de produção e implantação. É composto de uma superfície plana, responsável pela absorção da radiação solar, geralmente tendo um fluido, o qual é responsável pela transferência e armazenamento do calor. Após a captação solar, o fluido é aquecido no coletor e feito o transporte do mesmo até o reservatório, para o armazenamento. O transporte pode ocorrer através de bombeamento ou de forma passiva, através do fenômeno chamado termossifão (SPRENGER, 2007).

Um dos modelos de coletores solares planos encontrados no mercado é o coletor solar espiral. Na Figura 03, pode-se observar o sistema apresentado por Gonçalves et al. (2012), ele é composto por dois coletores formados por tubos de polietileno, totalizando 100 metros lineares, que formam dois espirais contínuos, servindo de coletores sem sistema de isolamento ou aletas, a geometria do sistema não permite a ação do termossifão, sendo necessário o bombeamento da água. Este sistema é frequentemente usado para o aquecimento de água de piscinas.

FIGURA 01 - COLETOR SOLAR ESPIRAL



FONTE: Gonçalves, Mendes & Silveira, 2012.

2.3 Caracterização de Pontos Passíveis de Manutenção em Coletores Solares de Baixo Custo

Ao fazer cinco estudos de caso em edificações que usam sistemas de aquecimento solar, os autores Mendon e Polit (2009) verificaram que há uma alta taxa de vazamentos nos sistemas, decorrentes de vários fatores, tais como: falta de manutenção, movimentação estrutural, sistemas de tubulação obsoletos, corrosão, bem como, problemas nas conexões entre as tubulações e o reservatório.

Os modelos de coletores solares de baixo custo atualmente são compostos por tubos de PVC, conexões, aletas e isolamento com diferentes configurações. A grande parte das falhas em tubulações hidráulicas em PVC estão ligadas a grande quantidade de conexões e instalação incorretas, tais como, torções nas tubulações, falta de proteção mecânica contra impactos, adaptações nas tubulações sem o uso correto das técnicas de instalação e o aquecimento dos tubos. Assim, fica evidente que as conexões são um ponto crítico de projetos hidráulicos (SANCHES, 2008).

3 METODOLOGIA

O presente estudo é caracterizado por ser de natureza experimental e qualitativa e objetiva criar um protótipo e testá-lo, verificando se o mesmo satisfaz os objetivos deste estudo ou se aproximem o máximo deles.

Foram obtidos dados da temperatura do interior do reservatório aquecido, no ponto de saída da água para o consumo e a temperatura d'água na saída do reservatório para o coletor, aliados aos dados meteorológicos fornecidos pela estação climática instalada no campus da UTFPR (Universidade Tecnológica Federal do Paraná) de Francisco Beltrão, que contempla temperatura ambiente diária, velocidade dos ventos, entre outros dados.

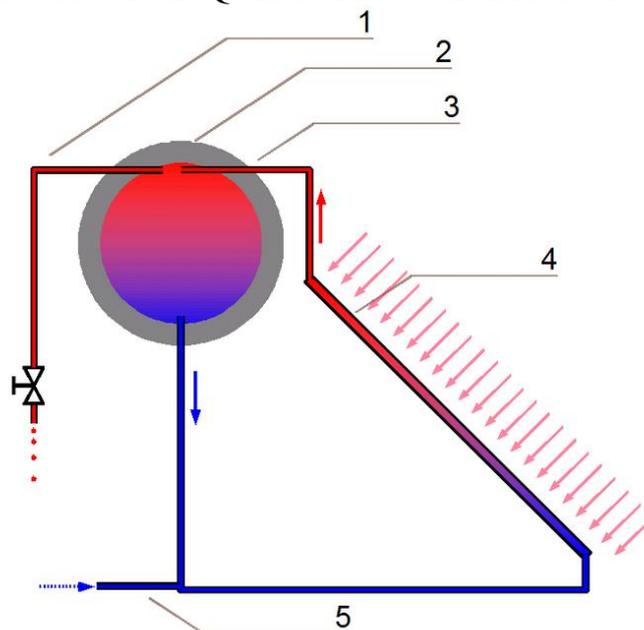
Os dados de radiação solar em plano horizontal utilizados para os cálculos, foram fornecidos pelo site INMET - Instituto Nacional de Meteorologia (2018), os quais são registrados em estação meteorológica, situada a aproximadamente cinco quilômetros do local dos experimentos. Tais dados permitem analisar a eficiência do coletor.

Para uma melhor compreensão sobre as configurações das unidades experimentais, é necessário o conhecimento de algumas definições:

Regime Batelada: o reservatório do sistema é abastecido e não há entrada nem saída de água no sistema durante o ensaio. Esta água circula pelo reservatório e o coletor, criando um sistema fechado de circulação, sem que o usuário utilize a água do reservatório e este seja reabastecido com água fria.

Sistema passivo: segundo Liu et al. (2012), o sistema de termossifão tem sido amplamente usado em sistemas de aquecimento domésticos. Vários estudos têm sido conduzidos sobre esse fenômeno, que funciona com a adição de energia solar através de coletor, que absorve esta energia que aquece o fluido. Desta forma, cria-se uma diferença de densidade entre o fluido aquecido e o fluido no reservatório, ocasionando uma circulação natural (efeito termossifão), onde a água aquecida sobe forçando a água fria a circular pelo coletor. Para que o efeito termossifão ocorra, é necessário que a geometria do sistema permita um fluxo contínuo ascendente de água e que o reservatório esteja situado acima do coletor, como demonstrado na Figura 02.

FIGURA 02 - ESQUEMA DE SISTEMA PASSIVO

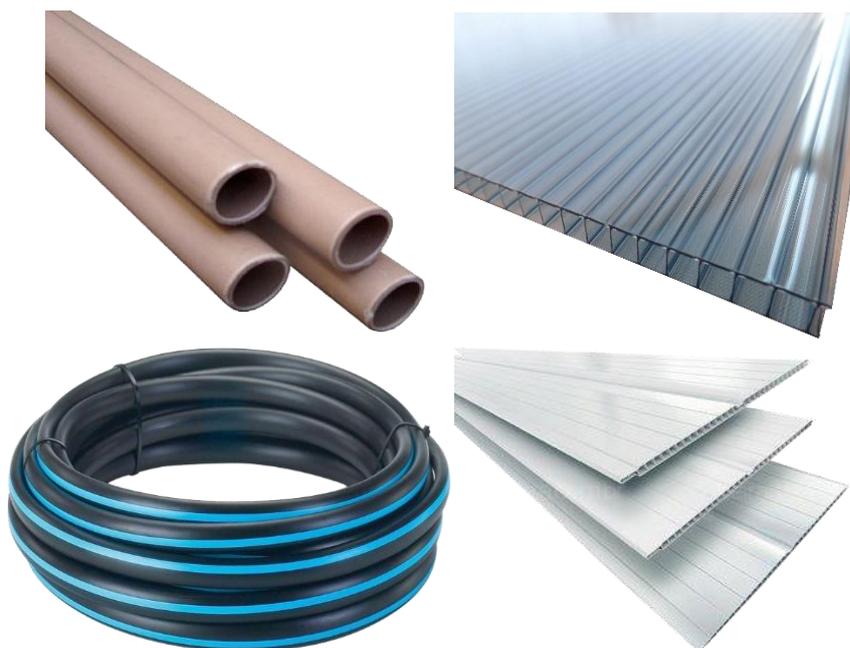


FONTE: LIU et al. 2012.

Ensaio passivo em regime batelada: neste sistema o reservatório é preenchido com água à temperatura ambiente no início do dia e antes da incidência do sol nos captadores, assim que há incidência solar nas placas, inicia-se a circulação natural de água.

Em uma análise de custo, foram sugeridas outras alternativas, visando redução nos custos na produção do sistema, sendo que este é destinado a famílias de baixa renda. Para comparação, foram estudados quatro produtos: tubos de PVC (sistema mais usual), chapa de policarbonato alveolar, mangueira de jardinagem e forro de PVC.

FIGURA 03 - MATERIAIS ANALISADOS

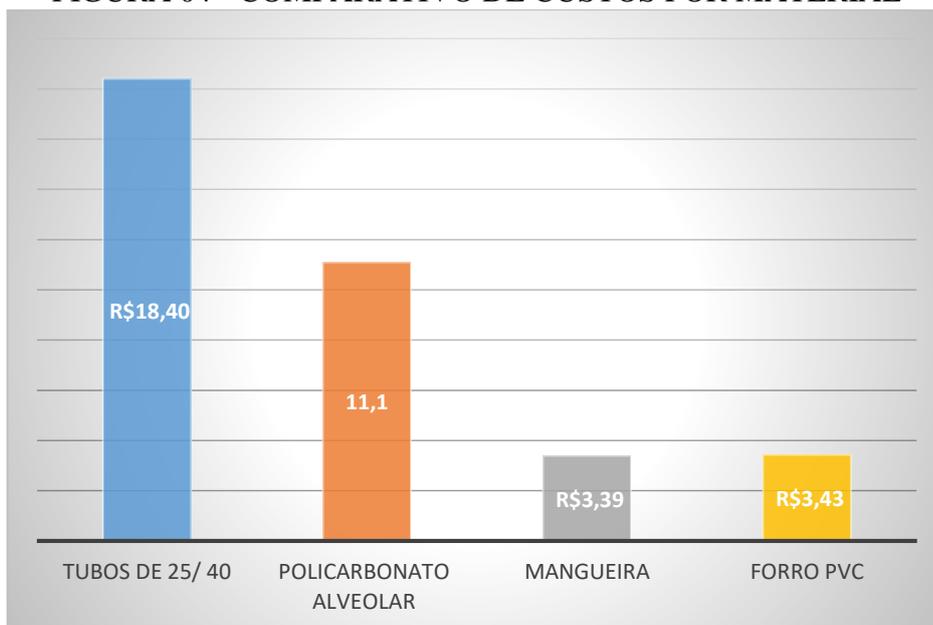


FONTE: Os autores, 2018.

Foi analisada a capacidade de armazenamento interna de cada sistema e levantado qual o custo por litro de água de cada material e posteriormente calculou-se o custo de um sistema que supra um reservatório de 250 litros, prevendo o uso de coletores com cerca de 14 litros de capacidade.

Totalizando R\$ 257,00 (duzentos e cinquenta e sete reais) para o sistema de captação com canos em PVC, contra R\$ 48,02 (quarenta e oito reais e dois centavos) do sistema com forro em PVC e R\$ 47,46 (quarenta e sete reais e quarenta e seis centavos) do sistema com mangueiras.

FIGURA 04 - COMPARATIVO DE CUSTOS POR MATERIAL



FONTE: Os autores, 2018.

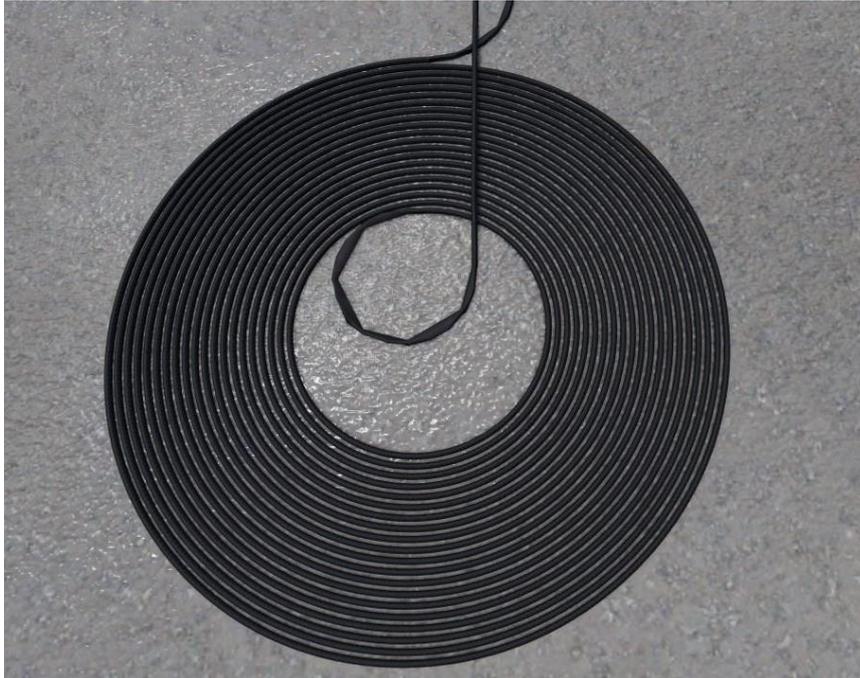
Na análise inicial foram descartados o forro de PVC e a chapa de policarbonato, por usarem sistemas de conexão precários e dificuldade de execução como verificado pelo Instituto Federal Sul Rio Grandense (2009). Quanto a utilização dos forros de 6mm, pode-se concluir que não há um nível aceitável de confiabilidade no sistema e suas conexões, podendo assim criar o efeito inverso ao desejado, onde através dos vazamentos há um gasto maior com consumo de água, invés de haver a redução do consumo de energia elétrica. Assim sendo, este material descartado.

3.1 Protótipo

Sua construção foi baseada no sistema de aquecimento de piscinas, o qual é composto de uma espiral feita com mangueiras de irrigação com apenas uma entrada e uma saída de água. Este modelo necessita bombeamento, para que o fluido circule no captador, como pode ser verificado na Figura 05.

Para redução de custos, foram feitas alterações, assim seu funcionamento ocorre sem a necessidade de bombeamento. O sistema espiral foi mantido, por se tratar de um captador de grande facilidade de montagem, porém, com a adição de um pequeno aclave, criando assim, um sistema parabólico, o qual mostrou-se eficiente na circulação de fluido por termossifão.

FIGURA 05 – CAPTADOR ESPIRAL



FONTE: Os autores, 2018.

Sua estrutura inicial foi composta por quatro hastes de ferro, com espessura de $\varnothing 5\text{mm}$, os quais mantêm a espiral no formato parabólico e fixado com arame recozido.

Posteriormente, foi utilizado apenas braçadeiras de náilon para fixar, a aproximadamente cada 20° , com essa configuração não se fez necessário o uso de hastes, como pode ser observado na Figura 06.

FIGURA 06 - CAPTADOR PARABÓLICO



FONTE: Os autores, 2017.

Logo após a definição do sistema de montagem simplificada, o protótipo foi instalado sobre um contêiner, com o intuito de criar condições similares as condições de uma cobertura residencial. Foi instalado um pequeno reservatório de cinco litros, o qual foi

protegido da incidência solar para que o mesmo não obtivesse ganho térmico pela exposição ao sol, conforme pode ser observado na figura 07:

FIGURA 07 – SISTEMA COM CAPTADOR PARABÓLICO



FONTE: Os autores, 2017.

Foram coletados dados de temperatura do reservatório a partir das 11:00 horas da manhã, do dia 08 de agosto de 2017, até as 17:00 horas, sendo medida a temperatura do reservatório duas vezes na primeira hora. As demais medições, foram obtidas com intervalo de uma hora, com o termômetro digital da marca Mastech, modelo MS6514, com dois termopares tipo k, com precisão de 0,1°C e faixa de captação de -200°C a 1372°C e os mesmos foram comparados com os dados da estação meteorológica instalada no compus da UTFPR-FB.

4 APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DOS RESULTADOS

Os resultados de temperatura do reservatório e do ambiente, ao longo do dia, estão dispostos na Tabela 1.

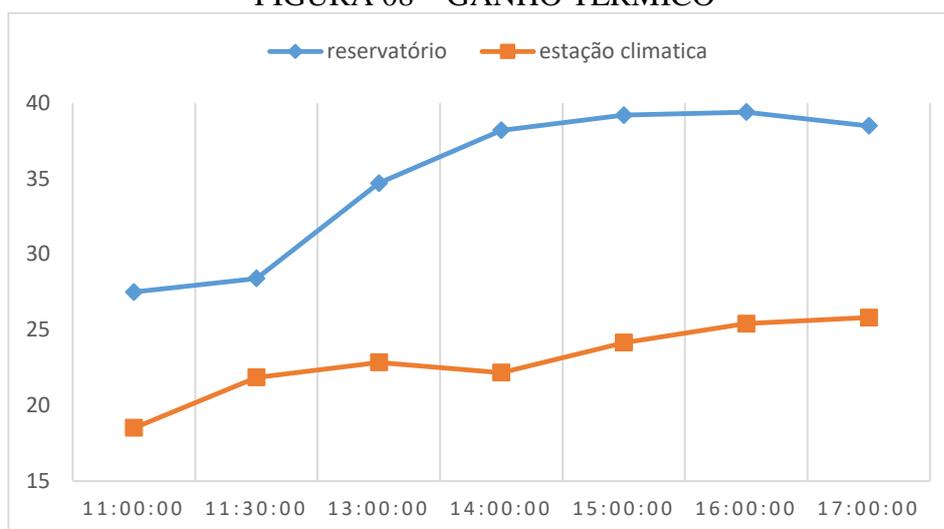
TABELA 01 – DADOS DO EXPERIMENTO 01

hora	11:00:00	11:30:00	13:00:00	14:00:00	15:00:00	16:00:00	17:00:00
reservatório	27,5	28,4	34,7	38,2	39,2	39,4	38,5
estação climatica	18,51	21,85	22,84	22,17	24,15	25,41	25,81
ceu	limpo	limpo	limpo	limpo	limpo	nublado	nublado

FONTE: Os autores, 2018.

Para avaliar melhor os resultados, a Figura 08 apresenta os dados da Tabela 1 plotados em formato gráfico.

FIGURA 08 – GANHO TÉRMICO

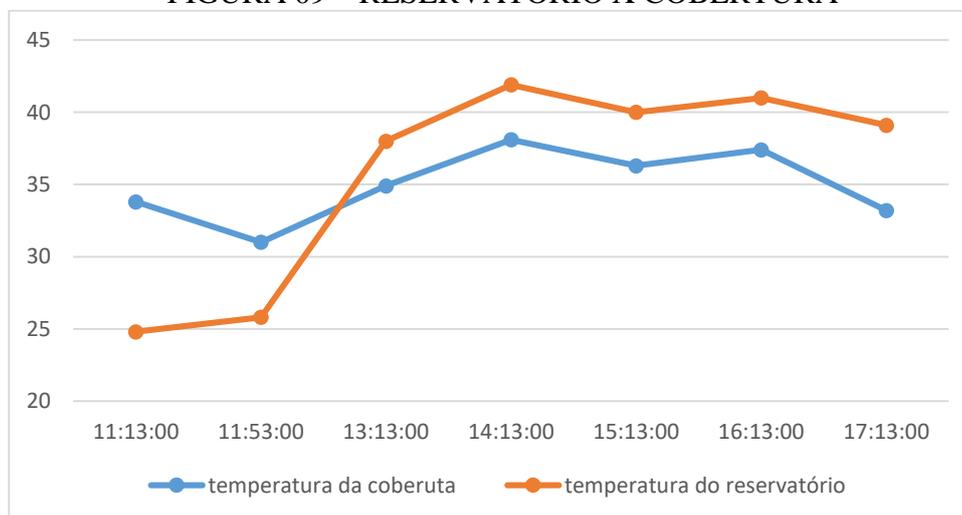


FONTE: Os autores, 2018.

Foram coletados dados das 11:00 as 17:00 horas através de termômetro com termopar colocado dentro do reservatório e as temperaturas ambientes registradas através da estação climática da UTFPR do campus de Francisco Beltrão PR

Pode ser observado na Figura 09, a segunda coleta, qual foi medido a temperatura da água dentro do reservatório e a temperatura da superfície da cobertura, das 11:13 as 17:13 horas.

FIGURA 09 – RESERVATÓRIO X COBERTURA



FONTE: Os autores, 2018.

Notou-se que a temperatura da cobertura sempre se manteve acima da temperatura ambiente e no momento o qual o captador foi posicionado sobre a cobertura, esta teve uma queda de temperatura, criando mais um fator a ser analisado em trabalhos futuros.

5 CONCLUSÃO

Tendo em vista o objetivo deste trabalho, o protótipo se mostrou totalmente viável, por cumprir os quesitos básicos de baixa complexidade técnica na instalação e implementação.

No protótipo exibido, foram utilizadas apenas duas conexões, reduzindo assim os pontos passíveis de falha no projeto, também foram constatadas reduções de temperatura nas faces da cobertura onde os captadores foram montados, havendo necessidade de se realizar estudos futuros sobre esta redução, esta, podendo trazer benefícios térmicos à edificação.

Conclui-se que o sistema de captação obteve o fluxo passivo do fluido, através do efeito termossifão, bem como, sua instalação pode ser efetuada em coberturas planas sem comprometer sua circulação passiva. Demonstrou ganhos de temperatura significativos com baixo custo por litro, além de ter a montagem simplificada em relação a captadores solares montados com tubos PVC.

Com um ganho de temperatura de 15°C evidenciou -se o potencial do captador, gerando a necessidade de estudos mais amplos com reservatório dimensionado, para atender o uso residencial. Há também a necessidade de se dimensionar um sistema maior e mais robusto, que atenda para um reservatório residencial.

REFERÊNCIAS

BAINBRIDGE, D. A. **The Integral passive solar water heater book**. 1983.

BORGES, Flávio Hasenclever; DALCOL, Paulo Roberto Tavares. **Indústrias de processo: comparações e caracterizações**. XXII Encontro Nacional de Engenharia de Produção - ENEGEP 2002 de 23 a 25 de outubro de 2002. Curitiba – PR. 2002.

COURSES, B. E.; SCHOOLS, H. **Construção de um aquecedor solar de água sustentável na Amazônia: usando a metodologia pbl para interação entre cursos de engenharia e escola de ensino médio**. Revista Produção e Desenvolvimento, v. 1, n. 3, p. 131–139, 2015.

GEVORKIAN, P. **Solar Power in Building Design** – The engineer’s complete design resource. New York: Mc Graw Hill. 2008.

GONÇALVES, Joel Nogueira; MENDES, José Ubiragi de Lima; SILVEIRA, Fabíola Fernandes da; CAVALCANTI, Synara Lucien de Lima. **Análise de um aquecedor solar de água tipo espiral para uso em piscinas residenciais**. IV Congresso Nacional de Engenharia Mecânica – CONEM 2012. São Luis – Maranhão – Brasil. 2012.

IBGE – INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. Home Page. 2011. Disponível em <<https://ww2.ibge.gov.br/home/estatistica/populacao/censo2010/default.shtm>> acesso em 2018.

IDEC – INSTITUTO BRASILEIRO DE DEFESA DO CONSUMIDOR. Home Page. **Chuveiro, o vilão do banheiro**. 2013. Disponível em <<https://idec.org.br/em-acao/revista/falsos-magros/materia/chuveiro-o-vilo-do-banheiro>, acesso em 02 de setembro de 2017> acesso em 02 de setembro de 2017.

IDEC – INSTITUTO BRASILEIRO DE DEFESA DO CONSUMIDOR. Home Page. **Saiba quais são os vilões de consumo de energia no inverno**. Disponível em <<https://idec.org.br/consultas/dicas-e-direitos/saiba-quais-so-os-viloes-de-consumo-de-energia-no-inverno>> acesso em setembro de 2017.

INMET - Instituto Nacional de Meteorologia. Disponível em <www.inmet.gov.br/> acesso em 2018.

INSTITUTO FEDERAL SUL – RIO – GRANDENSE. Campus de Pelotas. **Livro de Resumos**. P. 1-58. 2009.

LAMBERTS, R. et al. **Casa Eficiente: consumo e geração de energia**. [s.l: s.n.]. v. 2. 2010.

LIU, Yi Mei; CHUNG, Kung Ming; CHANG, Keh Chin; LEE, Tsong Sheng. **Performance of thermosyphon solar water heaters in series**. Article Energy Research Center, National Cheng Kung University, 2500 Section 1, Chung-Cheng South Road, Guiren, Tainan 711, Taiwan. 2012.

MENDON, B. V. D. E.; POLIT, E. **Estudo da problemática da aplicação de coletores solares para aquecimento de água, no segmento residencial de alto padrão, com base em escalas de projeto arquitetônico e dimensões de planejamento**. Dissertação de Mestrado. Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. São Paulo. 2009.

NIEMEYER, R. C. **Construção de um coletor solar inflável**. Trabalho de Conclusão de Curso – Departamento de Engenharia Mecânica, UNB, Brasília, DF, 2006.

PROCEL – PROGRAMA NACIONAL DE CONSERVAÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA. Home Page. 2010. Disponível em <<http://www.procelinfo.com.br/main.asp?View=%7BD3C90184-7BCF-454B-A22E-31B8F2E1EE3C%7D&Team=¶ms=itemID=%7BC28C2387-3172-4D9F-B769-EB386F0961E5%7D;LumsAdmin=1;&UIPartUID=%7BD90F22DB-05D4-4644-A8F2-FAD4803C8898%7D>> acesso em 2018.

RADIATION, S. **Solar Radiation**. [s.l: s.n.]. 2013.

REDDY, Sudhakara B. **Electrical vs solar water heater: a case study**. Energy Convers Manag;36:1097–106. 1995.

ROBERTO, L. et al. **Avaliação do conforto térmico de aquecedores solares modelos de regressão polinomial**. v. 31, p. 273–281, 2016.

SANCHES, G. **Eliminação de vazamentos em redes externas no contexto de programas de uso racional da água** – Estudo de caso: Universidade de São Paulo. Ambiente Construído, v. 8, n. 2, p. 41–51, 2008.

SILVA, R. M. da. **Energia solar no Brasil: dos incentivos aos desafios**. p. 46, 2015.

SPRENGER, R.L. **Aplicação do Sistema Fechado no Aquecimento Solar de Água de Baixo Custo para Reservatórios e Residenciais Isolados Termicamente: Concepção e Comissionamento de um Sistema Piloto de Testes**. Curitiba, 105p. Dissertação de Mestrado – Setor de Tecnologia da Universidade Federal do Paraná. 2007.

STENSMANN, Berenice Helena Wiener. **Energia Emitida pelo Sol**. Mestrado Profissionalizante em Ensino de Física. Universidade Federal do Rio Grande do Sul. 2002. Disponível em <http://www.if.ufrgs.br/mpef/mef008/mef008_02/Berenice/aula4.html> acesso em Maio de 2018.