



## **F: ENERGIAS RENOVÁVEIS**

# **ANÁLISE DO DESEMPENHO TÉRMICO DE UM SISTEMA DE AQUECEDOR SOLAR CONVENCIONAL NA CIDADE DE VITÓRIA DA CONQUISTA**

**Jamille Teixeira Rocha** – [jamilleteixeira.rocha@gmail.com](mailto:jamilleteixeira.rocha@gmail.com)

Instituto Federal da Bahia

**Auerê Vasconcelos Veras** – [veras@auere.com.br](mailto:veras@auere.com.br)

Instituto Federal da Bahia

**Caroline Matos Pinheiro** – [carolmatos\\_@hotmail.com](mailto:carolmatos_@hotmail.com)

Instituto Federal da Bahia

## 1. RESUMO

O presente trabalho possui como objetivo avaliar o desempenho de um Sistema de Aquecedor Solar (SAS) convencional para fins residenciais instalado no Instituto Federal da Bahia (IFBA), *campus* de Vitória da Conquista. A proposta da pesquisa em questão é calcular a energia coletada pelo coletor, a eficiência do coletor e as perdas do sistema, a partir de dados de temperatura da água que circula pelo SAS e dados de radiação solar extraídos da estação meteorológica instalada no Instituto. A avaliação foi feita com os registros da primeira semana de Fevereiro de 2016 e da segunda semana de Maio de 2016. O objetivo do estudo é comprovar o desempenho energético do sistema instalado, incentivando a prática renovável.

**Palavras Chave:** Eficiência energética. Energia Solar. Sistema de Aquecedor Solar.

## 2. INTRODUÇÃO

As usinas hidrelétricas correspondem a 75% da potência instalada no país e geraram, em 2005, 93% da energia elétrica requerida no Sistema Interligado Nacional. De acordo o Centro de Referência para Energia Solar e Eólica, o Brasil possui média anual de energia incidente para geração de energia solar entre 4kwh/m<sup>2</sup>.dia e 5kwh/m<sup>2</sup>.dia (ATLAS, 2017b). Com a crise energética ocorrida no Brasil, foi de suma importância o investimento em outros tipos de energia com fontes renováveis, para compor o novo quadro da matriz energética do Brasil.

O Boletim Mensal de Monitoramento do Sistema Elétrico Brasileiro (2016) traz que, no mês de Janeiro de 2016, a capacidade instalada total de geração de energia elétrica do Brasil atingiu 141.684 MW, e desse total, 6MW foram provenientes de fonte solar.

Os sistemas termo-solares são capazes de suprir a eletricidade para o aquecimento de água, atuando como uma alternativa que causa menos danos ambientais e retorno financeiro, pela economia de energia elétrica. O Brasil tem uma ótima localização, entre a linha do Equador e o Trópico de Capricórnio, que recebe uma média

global de irradiação de 4200-6700 kWh/m<sup>2</sup> em seu território (ATLAS,2017a). Com isso, a energia solar para o aquecimento de água pode ser aproveitada de forma eficiente.

O chuveiro elétrico tem uma participação de 24% do consumo total de energia elétrica na classe residencial no Brasil e é considerado o equipamento que contribui, de forma acentuada, para o aumento da demanda de potência ao sistema elétrico no horário de ponta (ELETROBRÁS PROCEL, 2012). Nesse contexto, o correto aproveitamento dos recursos naturais, principalmente água e energia, se institui como uma ação fundamental para o desenvolvimento sustentável da sociedade.

O aquecimento gerado pelo Sistema de Aquecedor Solar (SAS) provoca o movimento convectivo natural, que consiste na transferência da água de um local para outro devido à diferença de densidades entre a água quente (mais leve) e água fria (mais pesada). Esse movimento ocorre até que a água existente no SAS, composto por boiler e coletor, atinja o equilíbrio térmico.

A proposta da pesquisa em questão é constatar a eficiência de um SAS convencional instalado na cidade de Vitória da Conquista/BA, cujo clima tropical é amenizado pela relativa altitude do lugar (cerca de 1000 m acima do nível do mar). A cidade registra as temperaturas mais frias da Bahia, chegando a marcar 6,2°C em 2006 (VITÓRIA DA CONQUISTA, 2017). A análise foi feita levando em conta os dados de uma semana de um mês considerado quente e os dados de uma semana de um mês considerado frio, no ano de 2016, e através desse resultado, incentivar a prática do uso de energias renováveis na cidade.

### **3. METODOLOGIA**

O presente trabalho irá averiguar o desempenho térmico de um SAS convencional instalado no Instituto Federal da Bahia (IFBA), *campus* de Vitória da Conquista. A primeira etapa do estudo constituiu de um levantamento de dados obtidos a partir do SAS, da marca Soletrol, e da estação meteorológica, da marca Davis Vantage

Pro2a, acomodada próximo ao sistema de aquecimento. Os dados colhidos foram armazenados em um Sistema de Aquisição de Dados (DAQ).

O DAQ registrava diariamente, de 10 em 10 minutos, informações como temperatura do ar e radiação solar, provenientes da estação meteorológica; e de 5 em 5 minutos temperaturas da água na entrada e saída do boiler e do coletor solar, provenientes de sensores de temperatura, do tipo DS18B20, instalados no SAS.

De posse dos dados efetivamente captados com o DAQ, foi delimitado um intervalo de tempo entre os meses de Fevereiro e Maio de 2016 para o estudo. A escolha desse intervalo deu-se pela posse mais completa de registros armazenados. Com essa base de dados de 4 meses, foi feita uma média aritmética mensal das temperaturas do ar registradas, objetivando determinar o mês de maior e menor temperatura dentro desse intervalo. O mês de Fevereiro foi o mais quente e Maio o mês mais frio.

A partir daí, escolheu-se os dados supracitados da semana do dia 02/02/16 até 08/02/16 e, da semana do dia 10/05/16 até 16/05/16, para a análise. Como os dados eram registrados com uma variação de 10 e 5 minutos, foi feita uma média aritmética para a determinação de um valor médio para as temperaturas da água na entrada e saída do boiler e do coletor, assim como para a determinação de um valor médio para a radiação solar, num intervalo de 1 hora. O período de tempo considerado para essa análise foi entre 7:30 hs e 15:30 hs. Por fim, foram calculados a energia coletada pelo coletor, a eficiência do coletor solar e o coeficiente global de perdas.

#### **4. RESULTADOS E DISCUSSÃO**

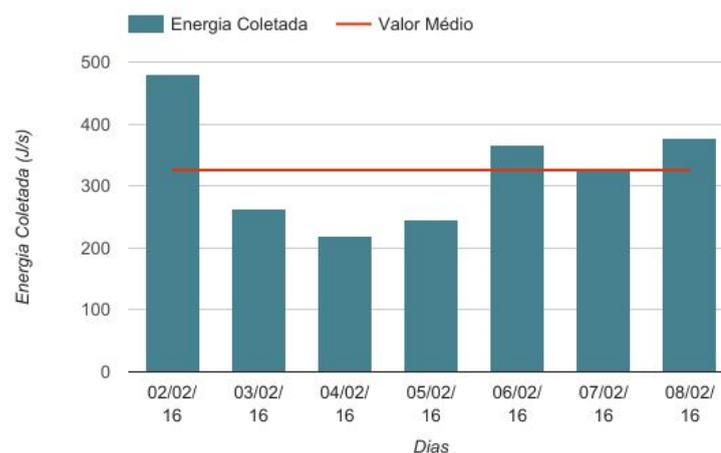
A área da placa solar utilizada é de 1,03 m<sup>2</sup>, e como o sistema é composto de duas placas, a área total resultou em 2,06 m<sup>2</sup>. A capacidade do boiler é de 200 litros. Nos cálculos, foram também utilizados dados coletados pela estação meteorológica e pelos sensores instalados no SAS. Os resultados apresentados foram obtidos através da análise do período de uma semana para os meses de Fevereiro e Maio do ano de 2016.

#### 4.1 ENERGIA ÚTIL RECOLHIDA PELO COLETOR

No SAS de água, a conversão da radiação solar em calor é feita por meio de coletores solares no qual, a água tem sua energia interna aumentada, refletindo no incremento da temperatura do fluido. Segundo Georgi (2015), o cálculo da energia coletada pelo coletor é dado de acordo a Equação (1), em que  $Q_c$  é o calor útil recolhido,  $m$  a massa do fluido,  $C_p$  o calor específico do fluido,  $T_{co}$  temperatura do coletor externa,  $T_{ci}$  a temperatura do coletor interna.

$$Q_c = m \cdot C_p \cdot T_{co} - T_{ci} \quad (1)$$

As figuras 1 e 2 mostram a energia útil recolhida pelo coletor diariamente nos meses de Fevereiro e Maio, respectivamente.

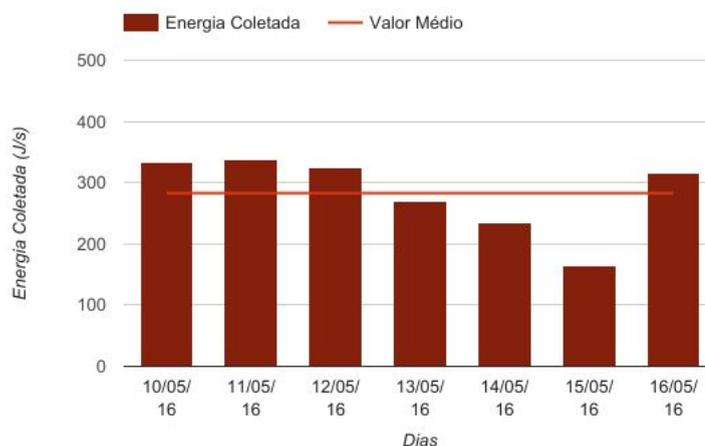


**Figura 1** – Energia recolhida pelo coletor no mês de Fevereiro

O mês de Fevereiro, conforme Figura 1, por ser o mês com representatividade maior nas temperaturas, possibilitou uma quantidade significativa de energia coletada pelo coletor. Seu maior valor foi de 479,24 J/s no 1º dia a ser realizado a coleta, isso se deve ao fato de que o dia 02 de Fevereiro teve a maior média de radiação solar da

semana, com um valor de 833,40 W/m<sup>2</sup>. A média semanal da energia coletada ficou em 345,45 J/s.

A Figura 2 mostra a energia coletada calculada no mês de Maio. Este mês possuía as temperaturas mais amenas dentro dos dados disponíveis. Verifica-se uma queda na energia coletada quando comparada ao mês de Fevereiro, devido à queda na temperatura e o menor índice de radiação solar ocorridos no mês de Maio.



**Figura 2** – Energia recolhida pelo coletor no mês de Maio

No mês de Maio, o maior valor de energia coletada foi de 338,21 J/s, correspondendo ao 2º dia da análise, com uma média de radiação de 503,65 W/m<sup>2</sup>. Já a média semanal deste mês ficou em torno de 282,84 J/s.

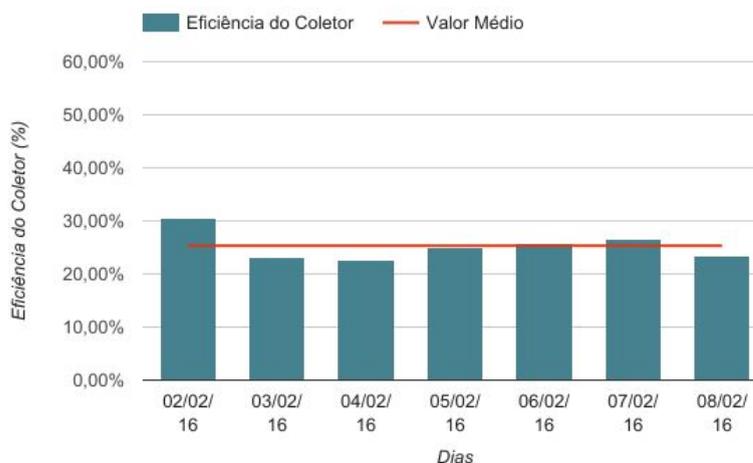
#### 4.2. EFICIÊNCIA DO COLETOR

A eficiência permite determinar a quantidade de energia que o sistema consegue reter. A eficiência do coletor pode ser adquirida através da Equação (2). Nela,  $\eta_c$  é eficiência do coletor solar,  $m$  a massa do fluido,  $C_p$  o calor específico do fluido,  $T_{co}$  temperatura do coletor externa,  $T_{ci}$  a temperatura do coletor interna,  $A_c$  a área do coletor e  $G$  radiação solar.

$$\eta_c = [m \cdot C_p \cdot (T_{co} - T_{ci})] / A_c \cdot G \quad (2)$$

Para o cálculo da eficiência do coletor utilizou-se a metodologia de Georgi (2015). Como o sistema possui dois coletores em série, a eficiência do coletor e sistema está proporcional ao número de coletores.

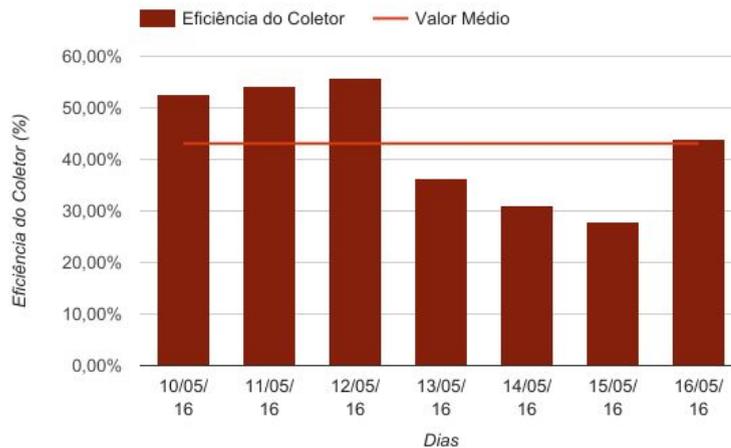
Na Figura 3, verifica-se que o dia 02 obteve a maior eficiência do coletor no mês de Fevereiro, com um valor de 30,66%. A água no interior do coletor sofreu a maior variação média de temperatura e uma alta incidência de radiação solar, em torno de 833,40W/m<sup>2</sup>. A média semanal deste mês foi de 25,32%. O menor valor de eficiência foi de 22,63%, obtido no dia 04, que pode ser justificado devido a uma baixa variação de temperatura média da água em conjunto com uma baixa incidência de radiação solar, cerca de 475,17 W/m<sup>2</sup>.



**Figura 3** – Eficiência do coletor no mês de Fevereiro

Na Figura 4, tem-se a eficiência do coletor no mês de Maio. O maior valor de eficiência foi 55,74%, no dia 12. A média semanal foi de 43,09% e, o menor valor de eficiência foi 27,82%, no dia 15. Na segunda semana de Maio, os dias 10, 11 e 12 tiveram a maior incidência de radiação, ocasionando uma maior variação de temperatura

média da água e conseqüentemente, elevação da eficiência do coletor nesses dias.



**Figura 4 - Eficiência do coletor no mês de Maio**

Apesar das temperaturas mais amenas terem acontecidos no mês de Maio, é aceitável essa variação na eficiência, pois houve a escolha de apenas uma semana dentro do mês, e nesta semana, houveram 3 dias com temperaturas distintas dos demais dias.

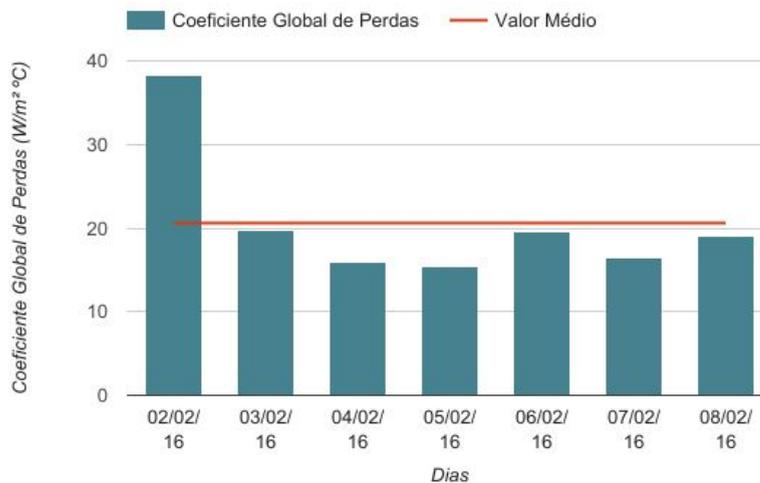
#### 4.3 COEFICIENTE GLOBAL DE PERDAS

O coletor solar sofre com a perdas técnicas, em que parte da energia captada pelo coletor é transferida para a atmosfera por meio da radiação, condução e convecção, devido à diferença de temperatura entre os meios. Lopo (2010 *apud* Guerra e Varella, 2014), afirma que o coeficiente global de perdas é o parâmetro capaz de relacionar todas as perdas de um sistema. De acordo a Equação (3),  $U_p$  corresponde ao coeficiente global de perdas,  $P_p$  a potência perdida pelo coletor,  $A_c$  é a área do coletor,  $T_p$  é a temperatura média da placa e  $T_A$  a temperatura ambiente.

$$U_p = \frac{P_p}{A_c \cdot (T_p - T_A)} \quad (3)$$

A Figura 5 traz a média do coeficiente global de perdas do coletor em

fevereiro. O maior valor para o coeficiente de perdas foi cerca de  $38,23 \text{ W/m}^2 \text{ }^\circ\text{C}$ , no dia 02. Já o menor valor foi de  $15,33 \text{ W/m}^2 \text{ }^\circ\text{C}$ , no dia 04. A média semanal foi de  $20,60 \text{ W/m}^2 \text{ }^\circ\text{C}$ .



**Figura 5** – Coeficiente global de perdas do mês de Fevereiro

O elevado valor do coeficiente global de perdas no 1º dia do experimento deve-se ao alto índice de radiação nesse dia, com cerca de  $833,40 \text{ W/m}^2$ . Como a potência absorvida pela placa é diretamente proporcional à radiação, houve uma elevada absorção de energia, como pode ser visualizada na Figura 1, porém o sistema não se mostrou eficiente em retê-la.

O coeficiente global de perdas do mês de Maio é representado na Figura 6. O valor mais elevado de perdas foi no dia 16 com  $13,27 \text{ W/m}^2 \text{ }^\circ\text{C}$ . O menor valor de perdas,  $-0,93 \text{ W/m}^2 \text{ }^\circ\text{C}$ , ocorreu no dia 15. De acordo a Figura 2, o dia 15 foi o que apresentou menor valor de energia coletada, além disso teve o índice mais baixo de radiação solar dessa semana,  $227,23 \text{ W/m}^2$ . Com a baixa absorção de energia pela placa e incidência de radiação no dia, o coeficiente de perdas foi mínimo, representado pelo valor negativo. A média semanal foi de  $9,54 \text{ W/m}^2 \text{ }^\circ\text{C}$ .



**Figura 6 -** Coeficiente global de perdas do mês de Maio

Com a análise dos resultados, percebeu-se que o mês de Fevereiro possuía elevado valor de coeficiente global de perdas. Isso resultou diretamente na eficiência do coletor, pois esta depende da energia útil recolhida pelo coletor e da incidência de radiação. O mês de Maio obteve menor energia útil recolhida, menor índice de radiação, menor coeficiente global de perdas e maior eficiência do coletor.

## 5. CONCLUSÕES

Devido a análise ter sido realizada em apenas uma semana dos meses de fevereiro e março, dentro de um intervalo de tempo e submetida a variações climáticas que não são controladas, pode-se considerar que os resultados estão dentro do esperado.

A partir dos resultados encontrados ficou notório que a eficiência do coletor depende diretamente da incidência de radiação solar, da energia útil absorvida, da variação da temperatura da água e do coeficiente global de perdas. O mês de Fevereiro foi o de maior absorção de energia, porém o que possui maior perda, influenciando na eficiência do coletor nesse determinado mês. Já Maio foi o mês de menor coeficiente global de perdas, isso mostra que o sistema conseguiu reter mais energia, influenciando na eficiência do coletor neste mês.

## 6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ATLAS brasileiro de energia solar. Disponível em: [http://ftp.cptec.inpe.br/labren/publ/livros/brazil\\_solar\\_atlas\\_R1.pdf](http://ftp.cptec.inpe.br/labren/publ/livros/brazil_solar_atlas_R1.pdf) Acesso em: 10 maio. 2017a.

ATLAS do potencial eólico brasileiro. Disponível em: [http://www.cresesb.cepel.br/publicacoes/download/atlas\\_eolico/Atlas](http://www.cresesb.cepel.br/publicacoes/download/atlas_eolico/Atlas) Acesso em: 10 maio. 2017b.

MINISTÉRIO de minas e energia. Boletim Mensal de Monitoramento do Sistema Elétrico Brasileiro. 2016. Disponível em: <http://www.mme.gov.br/documents/10584/3308684/Boletim+de+Monitoramento+do+Sistema+El%C3%A9trico+-+Janeiro-2016.pdf> Acesso em: 15 maio. 2017.

ELETROBRAS PROCEL. **Energia Solar para aquecimento de água no Brasil**. Rio de Janeiro: Eletrobras, 2012. 240 p.

GUERRA, M, I, S. e VARELLA, F, K, O, M. Análise Do Desempenho Térmico De Um Sistema De Aquecimento Solar De Baixo Custo Na Cidade De Mossoró (RN). **HOLOS**, Ano 30, Vol. 4, 2014.

GEORGI, A, L, V. **Aquecimento solar de água – Desempenho e racionalização de materiais e energia alternativa fundamental para o desenvolvimento sustentável**. Curitiba, 118 p., 2015. Tese (Doutorado em Engenharia e Ciência dos Materiais) - Universidade Federal do Paraná.

LOPO, A, B. **Análise do desempenho térmico de um sistema de aquecimento solar de baixo custo**. Natal, 82 p., 2010. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) – Universidade Federal do Rio Grande do Norte.

VITÓRIA da conquista. **Prefeitura Municipal de Vitória da Conquista**. Disponível em: <http://www.pmvc.ba.gov.br/geografia> Acesso: 12 maio. 2017.