

DESENVOLVIMENTO DE AQUECEDOR DE AR COM O USO DOS CONCEITOS DE ENERGIA SOLAR TÉRMICA

Eloane Junia Pereira¹

Bruna Fontenele Ferreira Silveira²

Pedro Aderson Ferreira Cavalcante³

Yuri das Chagas Silva⁴

Jocemar Biasi Parizzi⁵

Resumo:

Este estudo teve como premissa o desenvolvimento de um módulo de aquecimento de ar utilizando os conceitos de energia solar térmica obtidos na disciplina de Energia Solar do curso de Engenharia de Energia. O módulo foi construído a partir de materiais reaproveitados e alguns materiais comerciais. O módulo consiste em uma tubulação metálica interior a uma caixa isolante térmica, com um sistema de ventilação para injetar ar na tubulação. Os objetivos do estudo foram estabelecer os parâmetros de rendimento energético e de vazão de ar na entrada e saída do módulo. Para a análise dos resultados foram utilizadas as equações de radiação solar e balanço de energia de Sentelhas e Angelocci (ESALQ/USP: 2012). No dia da coleta de dados, mediu-se a angulação do módulo, a tensão no circuito de ventilação, a vazão mínima de ar na entrada para o sistema estabilizado e a temperatura na entrada e saída. O módulo foi montado em uma angulação a $36,31^\circ$ do solo, direção oeste. As temperaturas de entrada e saída foram mensuradas vinte e duas vezes, com intervalo de dez minutos entre medições, das 15:12h às 18:42h do dia 24 de setembro de 2017. Este dia apresentava-se com Transmitância Global de 0.75 (nebulosidade em torno de 25%) e temperatura média de 20°C . O rendimento médio do sistema para esse intervalo de tempo foi de 58,31%, e o rendimento máximo de 68,3%. A temperatura máxima atingida pelo ar na saída foi de $74,5^\circ\text{C}$. A máxima irradiância solar medida foi de $878,152 \text{ W/m}^2$. A área da seção transversal da tubulação é de $0,001194\text{m}^2$. Através da utilização de um anemômetro, obteve-se a velocidade na entrada da tubulação de 2,262 m/s. Desse modo, tem-se a vazão da entrada de $0,0027\text{m}^3/\text{s}$. Os resultados obtidos possuem correlação direta com o fato do ar atmosférico ser um fluido compressível, produzindo, dessa forma, resultados com alta eficiência energética e pouca vazão na saída da tubulação, em função da densidade do fluido. Em termos de perspectivas futuras, pretende-se a realização de novas medições em dias de maiores índices de irradiância solar e temperatura. Por fim, como aplicações para o projeto, pode-se citar a secagem de grãos, tanto a nível industrial como rural, assim como o aquecimento de ambientes; também o desenvolvimento industrial de um módulo com vistas a obter-se um rendimento ainda maior

para esse tipo de aquecedor.

Palavras-chave: Aquecedor, solar, energia solar, energia solar térmica, aquecedor de ar.

Modalidade de Participação: Iniciação Científica

DESENVOLVIMENTO DE AQUECEDOR DE AR COM O USO DOS CONCEITOS DE ENERGIA SOLAR TÉRMICA

¹ Aluno de graduação. eloanejnia.pereira@gmail.com. Autor principal

² Aluno de graduação. bruna.fonsilfera@gmail.com. Co-autor

³ Aluno de graduação. pedroaderson@me.com. Co-autor

⁴ Aluno de graduação. yurichagas84@gmail.com. Co-autor

⁵ Docente. jocemarpizzini@unipampa.edu.br. Orientador

DESENVOLVIMENTO DE AQUECEDOR DE AR COM O USO DOS CONCEITOS DE ENERGIA SOLAR TÉRMICA

1. INTRODUÇÃO

O Brasil vem desempenhando um papel de destaque no segmento de aquecimento solar no cenário mundial. Segundo a última pesquisa da DASOL - Departamento Nacional de Energia Solar Térmica, da ABRAVA, entre os anos de 2010 e 2015, o setor teve um crescimento de 8% no país, ocupando a terceira (3º) posição no ranking mundial. Ainda, no que se refere a volume físico de produção, o Brasil ficou em segunda (2º) posição (ABRAVA, 2017).

Assim, no intuito de fomentar o interesse e a participação dos alunos em projetos da área, propôs-se a desenvolver neste trabalho, um módulo de aquecimento de ar à base de energia solar térmica. O projeto foi desenvolvido através da aplicação prática dos conceitos vistos na disciplina de Energia Solar e tem como objetivo principal, a determinação do rendimento energético máximo e médio do sistema; secundariamente, procura-se estabelecer a vazão mínima de ar do módulo.

2. METODOLOGIA

A etapa inicial de desenvolvimento do projeto consistiu no dimensionamento teórico dos parâmetros envolvendo o aquecedor, no qual se discutiu os tipos de materiais a serem utilizados, a quantidade de material, tipo de circuito de circulação forçada de ar e as dimensões do sistema. Optou-se pelo desenvolvimento de uma tubulação interna a uma caixa isolante, para um aumento do aproveitamento energético. A escolha das latas, ao invés da tubulação comercial, ocorreu pela condutividade térmica ser maior no metal do que no material plástico, pois as mesmas são facilmente obtidas, recicláveis e com custo zero.

No intuito de desenvolver um projeto de baixo custo e sustentável, optou-se por uma maior utilização de materiais reaproveitáveis em detrimento dos materiais comerciais. Dentre os materiais reaproveitados estão: trinta e seis (36) latas de alumínio (473ml), madeira e os componentes do circuito de ventilação, estes fornecidos pelo laboratório de eletrônica da UNIPAMPA – Campus Bagé. Entretanto, ainda foi necessária a obtenção de alguns materiais comerciais, tais como: conexões de esgoto 3/4, tinta *spray* preta, vidro transparente liso (1m x 0,52m), cola silicone para vidro, espuma expansiva, cola veda calha; totalizando um custo total de projeto de R\$ 200,00.



(a)



(b)

Figura 2. (a): Montagem final do módulo. (b): Circuito de circulação forçada de ar.

A fim de realizar a coleta de dados, faz-se necessário citar a fundamentação teórica precedente. As variáveis relacionadas à quantidade de energia de que o sol dispõe podem ser calculadas através de relações trigonométricas. Essas relações possuem vínculo com a órbita terrestre em torno do sol, inclinação do eixo de rotação da terra e, conseqüentemente, são funções da hora e do dia do ano. Sentelhas e Angelocci (2012) citam as fórmulas para o cálculo da quantidade de potência que chega nos arredores da superfície externa da terra (chamada de Constante Solar – J_o). O cálculo da constante solar ao longo do ano pode ser feito através das seguintes fórmulas:

$$J_o' = (d/D)^2 \quad (1)$$

$$(d/D)^2 = 1 + 0,033 \cos[(360 \cdot NDA)/365] \quad (2)$$

No qual NDA é o número do dia do ano, e para este experimento, foi 267. O ângulo formado entre o zênite local (ângulo de 90° com a superfície) e os raios solares chama-se ângulo zenital (Z): quanto maior Z, menor a irradiância solar. A relação entre Z e a irradiância solar é dada pela Lei do Cosseno de Lambert:

$$I_z = J_o \cdot \cos(Zh) \quad (3)$$

Onde o ângulo zenital em um dado instante, $\cos(Zh)$ é dado por:

$$\cos Zh = \sin \Phi \cdot \sin \delta + \cos \Phi \cdot \cos \delta \cdot \cos h \quad (4)$$

Onde:

Φ = latitude local ($0 \pm 90^\circ$)

δ = declinação solar ($0 \pm 23,45^\circ$)

$\delta = 23,45 \sin [(360/365) \cdot (NDA - 80)]$

h = ângulo horário [(hora local - 12) . 15]

Entretanto, esses valores consideram a irradiância solar na superfície externa da terra. O cálculo exato da quantidade de irradiância solar leva em consideração a Transmitância Global (T_g). Este fator é uma correção para a irradiância solar, depois de atravessar atmosfera e, ao ser adicionado à fórmula da irradiância instantânea, representa a fração real dos raios solares que chega à superfície terrestre. Existem aparelhos comerciais que indicam T_g instantaneamente, entretanto não dispomos dos mesmos no campus. Uma aproximação segura do valor de T_g é utilizada em função da nebulosidade: $0,7 < T_g < 0,8$ para dias com nebulosidade mínima e $0,2 < T_g < 0,3$ para nebulosidade máxima. Portanto, a fim de se obter o valor real de I_z , aplica-se a correção de $(d/D)^2$, $\cos Zh$ e T_g à constante solar:

$$I_z = J_o \cdot (d/D)^2 \cdot \cos Zh \cdot T_g \text{ [W/m}^2\text{]} \quad (5)$$

Observamos ao longo do experimento que o mesmo possuía correlação com o conteúdo de Fenômenos de Transporte. Assim, aplicando estes conhecimentos, podemos calcular a vazão de ar na saída do sistema: é dada pelo produto da área da seção da tubulação pela velocidade do fluido:

$$Fr = A \cdot V \text{ [m}^3\text{/s]} \quad (8)$$

Por fim, o rendimento energético do sistema pode ser calculado através da relação entre a temperatura de entrada e a temperatura de saída do fluido, no sistema:

$$\eta = 100 \cdot (T_f - T_i) / T_f \text{ [%]} \quad (9)$$

Após a construção do módulo, realizou-se a coleta de dados. Escolheu-se, de modo a obter as melhores condições climáticas possíveis para o mês em questão, um período diário solar com nebulosidade mínima (em torno de 25%) e temperatura média de 20°C para o intervalo de medições. Os instrumentos utilizados para coleta

de dados foram: um anemômetro, um paquímetro, uma fita métrica, um termômetro digital e um multímetro.

A fim de forçar a circulação de ar para dentro da tubulação construiu-se um circuito de ventilação, com um *cooler* (0-12Vcc) reaproveitado de um computador *desktop*, disposto na entrada de ar de forma a forçar o fluxo de ar no sistema. Para controlar a velocidade do *cooler* foi utilizado um circuito variador de tensão CC, o que tornou possível variar a vazão de ar pelo aquecedor.

3. RESULTADOS e DISCUSSÃO

Os parâmetros principais medidos para o experimento foram a angulação do módulo, a tensão no *cooler*, a vazão mínima de ar na entrada para o sistema estabilizado e a temperatura na entrada e saída. As temperaturas de entrada e saída foram mensuradas vinte e duas vezes, com intervalo de dez minutos entre medições, das 15:12h às 18:42h do dia 24 de setembro de 2017, pois foi esse o período do dia com menor nebulosidade. A figura 3 mostra os resultados obtidos, na qual o rendimento energético foi calculado através da fórmula do item (9). O rendimento médio do sistema neste dia foi de 58,31%.

Temperaturas e rendimento

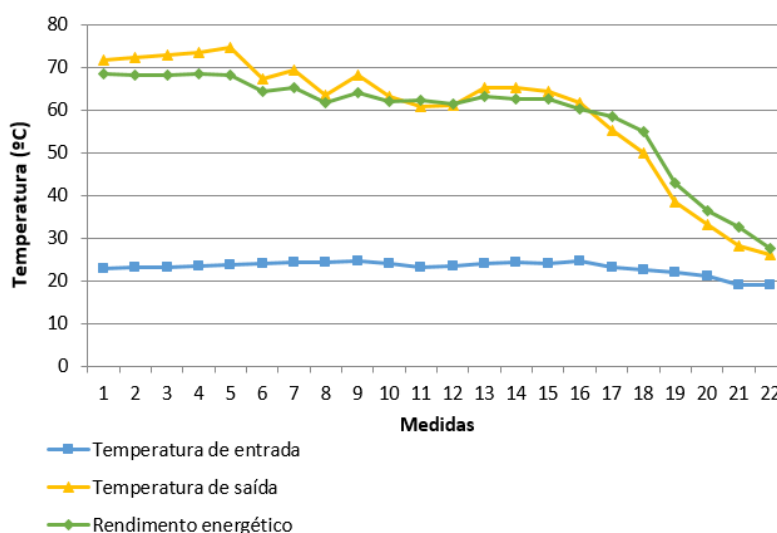


Figura 3. Resultados da coleta de dados de temperatura e rendimento energético do sistema.

O módulo foi montado com uma angulação de $36,31^\circ$ do solo e direção Oeste (por ser a configuração permitida pelo espaço onde o módulo foi instalado) e o *cooler* estava recebendo uma tensão mínima de 3,5V. O motivo pelo qual manteve-se a tensão reduzida foi de diminuir a sua rotação e, consequentemente, a velocidade de entrada de ar. Isto ocorreu porque o objetivo principal do experimento foi a obtenção do maior índice de rendimento energético possível para o módulo.

Com as informações referentes ao dia do ano (NDA = 267), nebulosidade ($T_g=0,75$), latitude Φ (para Bagé = $31,33^\circ$), declinação solar δ ($\delta=5,675$), Constante solar para o dia $Jo' = 0,982$ e horário das medições, pode-se estimar a quantidade de irradiância solar (I_z) para o intervalo de coleta de dados:

Tabela 1: Ângulo horário local ($^\circ$), Cosseno do Zênite Local ($\cos Z_h$) e Irradiância solar instantânea (I_z) para o dia 24 de setembro de 2017.

h (°)	Cos Zh	Iz
-170,500	0,586	594,087
-170,396	0,647	656,093
-170,292	0,702	711,526
-170,188	0,750	759,783
-170,083	0,790	800,343
-169,979	0,822	832,765
-169,875	0,845	856,697
-169,771	0,860	871,881
-169,667	0,867	878,152
-169,563	0,864	875,442
-169,458	0,852	863,780
-169,354	0,832	843,292
-169,250	0,803	814,201
-169,146	0,767	776,822
-169,042	0,722	731,561
-168,938	0,670	678,907
-168,833	0,611	619,432
-168,729	0,546	553,781
-168,625	0,476	482,665
-168,521	0,401	406,855
-168,417	0,323	327,173
-168,313	0,241	244,484

Quanto a quantificação da vazão mínima de ar no sistema, que é obtida pela Equação (8), e medida no período de maior eficiência energética do sistema. Através do uso do paquímetro estabeleceu-se a medida da seção transversal de saída da tubulação, de valor 0,001194m². Através da utilização do anemômetro, obteve-se a velocidade na entrada da tubulação de 2,262 m/s. Desse modo, tem-se a vazão da entrada de 0,0027m³/s.

4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

O uso de energia solar térmica para o aquecimento de ar demonstrou-se uma alternativa viável aos meios convencionais, uma vez que a eficiência do sistema foi satisfatória, dado o baixo custo de execução do projeto. O rendimento máximo alcançado pelo módulo no dia de medições foi de 68,3% e o rendimento médio foi de 58,31% para o intervalo de tempo de coleta de dados. Um dos principais contribuintes para a alta eficiência do aquecedor a ar em comparação a um módulo de água, por exemplo, é o fato da densidade do ar ser menor que a densidade da água.

Em termos de perspectivas futuras, pretende-se a realização de novas medições em dias de maiores índices de irradiância solar e temperatura. Por fim, como aplicações para o projeto, pode-se citar a secagem de grãos, tanto a nível industrial como rural, assim como o aquecimento de ambientes; também o desenvolvimento industrial de um módulo com vistas a obter-se um rendimento ainda maior para esse tipo de aquecedor.

5. REFERÊNCIAS

ABRAVA. Associação Brasileira de Refrigeração, Ar Condicionado, Ventilação e Aquecimento. Brasil é Destaque Internacional em Aquecimento Solar [internet]. Artigo informativo sobre o Relatório de Aquecimento Solar no Mundo. São Paulo, SP: Associação Brasileira de Refrigeração, Ar Condicionado, Ventilação e Aquecimento, 2017 [acesso em 26 set 2017]. Disponível em: <http://abrava.com.br/?p=4195>

SENTELHAS, P. C.; ANGELOCCI, L. R. Radiação Solar e Balanço de Energia. 47p. 2012. Meteorologia Agrícola, Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo, 2012.