

## AQUECIMENTO DE ÁGUA COM O USO DE COLETORES SOLARES PLANOS E SISTEMA AUXILIAR POR BOMBA DE CALOR

JOHNNY T. YAMASAKI<sup>1</sup>, RODRIGO A. JORDAN<sup>2</sup>, EDUARDO C. B. DÓRIA<sup>3</sup>, MATHEUS V. DA COSTA<sup>4</sup>

<sup>1</sup> Engenheiro Mecânico, Mestrando em Engenharia Agrícola, Faculdade de Ciências Agrárias, FCA/UFMG, Dourados – MS, (0xx67) 3410-2769, [johnnyyamasaki@ufgd.edu.br](mailto:johnnyyamasaki@ufgd.edu.br).

<sup>2</sup> Professor Doutor, Faculdade de Ciências Agrárias, FCA/UFMG, Dourados–MS

<sup>3</sup> Diretor, BPlan Consultoria e Transfrigor do Brasil, Campinas-SP

<sup>4</sup> Engenheiro Civil, Mestrando em Engenharia Agrícola, Faculdade de Ciências Agrárias, FCA/UFMG, Dourados-MS

Apresentado no  
XLVII Congresso Brasileiro de Engenharia Agrícola - CONBEA 2018  
06, 07 e 08 de agosto de 2018 - Brasília - DF, Brasil

**RESUMO:** Foi avaliado o aquecimento de água através de coletores solares planos em conjunto com bomba de calor, em relação ao aquecimento suplementar através de resistência elétrica. Cada sistema de aquecimento suplementar trabalhou de forma independente em relação a outra, e em conjunto com um sistema de aquecimento solar, formado por um reservatório térmico de 250 litros e três coletores planos fabricados em termoplástico. Testes de avaliação para a obtenção do COP da bomba de calor foram realizados, bem como o consumo de energia do sistema de aquecimento, ora com bomba de calor ora com resistência elétrica de 3000 W. Nos testes da bomba de calor em laboratório foi alcançado um coeficiente de performance médio de 2,15. Nos testes em campo, o consumo de energia elétrica do sistema de aquecimento solar com bomba de calor foi reduzido em 54,9%, comparativamente aos testes empregando a resistência elétrica como fonte de aquecimento suplementar.

**PALAVRAS-CHAVE:** energia térmica, aquecimento suplementar, energia solar.

### WATER HEATING WITH THE USE OF SOLAR FLAT COLLECTORS AND AUXILIARY SYSTEM BY HEAT PUMP

**ABSTRACT:** The heating of water through flat solar collectors in conjunction with heat pump was evaluated in relation to the additional heating with electric resistance. Each supplementary heating system worked independently of each other and in conjunction with a solar heating system, that has consisted of a 250 L thermal reservoir and three flat thermoplastic collectors. Evaluation tests to obtain the COP of the heat pump were performed, as well as the energy consumption of the heating system, with a heat pump and with an electric resistance of 3000 W. On the heat pump tests laboratory, it was reached an average coefficient of performance of 2.15. Field tests, the electric energy consumption of the solar heating system with heat pump was reduced in 54.9%, compared to the tests using the electrical resistance as a supplementary heating source.

**KEYWORDS:** thermal energy, supplementary heating, solar energy.

### INTRODUÇÃO

Este trabalho apresenta uma contribuição para o uso mais otimizado da energia elétrica, através do uso de uma bomba de calor. Visando gerar água quente com menor consumo de energia, vai de encontro com a eficiência energética mais elevada e possui melhor sustentabilidade na geração de água quente nas residências, haja visto que, segundo Zafar et al (2014), a demanda por energia vem aumentando, tanto pelo aumento populacional, quanto crescimento das necessidades individuais.

O aquecimento de água é o quarto maior consumidor de energia elétrica dentro das edificações comerciais, depois de calefação, condicionamento de ar e iluminação. Da energia residencial consumida, 17% é responsabilidade do aquecimento de água, terceiro maior consumidor dentro das residências nos Estados Unidos (HEPBASLI et al, 2008). O aumento populacional residencial, estimado pelo Ministério de Minas e Energia, acarretará em aumento de domicílios, até 2020, em 15 milhões, o que impactará na maior posse de equipamentos domésticos e maior consumo elétrico residencial (BRASIL, 2011).

Painéis solares e bombas de calor são sistemas bastante promissores para o aquecimento de ar e água, podendo-se formar sistemas híbridos, em série ou paralelo, bem como ser de expansão direta (DX-SAHP) ou indireta (IX-SAHP) (YOUSSEF et al, 2017). E o uso de sistemas alternativos busca a redução da dependência das energias não-renováveis, como petróleo, carvão mineral e gás natural, que correspondem a 66,50% da energia consumida no planeta (IEA, 2016).

O coeficiente de desempenho da bomba de calor depende de vários fatores (JORDAN et al., 2016; ZHAO et al., 2014; SAFA et al., 2015; AKBULUT et al., 2016; BELLOS et al, 2017): temperatura da fonte de calor, temperatura do condensador e da água de consumo, fluido refrigerante utilizado, além de características construtivas da bomba de calor e coletor utilizado, são os mais importantes.

Nessa linha, o presente trabalho objetivou avaliar o desempenho de um sistema híbrido composto por coletores solares e bomba de calor, com relação ao consumo de energia para geração de água quente.

## MATERIAL E MÉTODOS

A bomba de calor utilizada foi um protótipo montado exclusivamente para o trabalho, utilizando-se os seguintes componentes: a) compressor, fabricante Embraco, modelo EMI 60HER, 1/6 de HP, tensão 220 V, 60 Hz, hermético, compressão a pistão; b) tubo capilar com filtro secador; c) evaporador (referência comercial ¼ de HP) com ventilador de ar de 1/30 HP; d) condensador tipo casco-tubo, montado com 15 m de tubo de cobre de ¼” de diâmetro, enrolado em forma de serpentina, encerrado em uma carcaça de tubo de PVC de 50 mm de diâmetro. O fluido refrigerante utilizado foi o R134a.

A bomba de calor foi ensaiada em laboratório, para determinação da capacidade de aquecimento e do coeficiente de desempenho (COP), em condição de circulação por termossifão, realizado no laboratório de Energia e Termodinâmica da Faculdade de Ciências Agrárias (FCA), da Universidade Federal da Grande Dourados (UFGD). A bomba de calor foi conectada a um reservatório de 184 L, isolado com uma manta de poliuretano expandido com 10 mm de espessura. Foram realizados 3 ensaios, com duração de 5 horas, iniciando sempre com o mesmo valor de temperatura (22°C), medido com uma sonda PT100. Ao final era medida a temperatura homogeneizada do reservatório. O coeficiente de desempenho (COP) foi obtido através da equação 1.

$$COP = \frac{Q_H}{W} \quad (1)$$

em que,

COP - coeficiente de desempenho;

$Q_H$  - calor estocado na água do reservatório térmico, KJ;

W - Trabalho da bomba de calor, KJ.

$$Q_H = m.C_p.(T_f - T_i) \quad (2)$$

em que,

m - massa de água do reservatório, Kg;

$C_p$  - calor específico da água a pressão constante,  $KJ\ kg^{-1}\ ^\circ C^{-1}$ ;

$T_f$  - temperatura final homogeneizada da água, °C;

$T_i$  - temperatura inicial da água, °C.

O trabalho foi determinado com base no consumo de energia (Equação 3). Para medição de energia elétrica, foi empregado um medidor ampere hora, modelo AH3, marca Valexcell. A energia consumida em kWh foi determinada através da equação 4. Para isso, o fator de potência da bomba de calor foi corrigido para 1, com a instalação de um capacitor de 15  $\mu$ F.

$$W = C_E \cdot 3600 \quad (3)$$

$$C_E = \frac{Ah \cdot V}{1000} \quad (4)$$

em que,

$C_E$  - consumo de energia, kWh;

Ah - ampere hora medido durante o teste, Ah;

V - tensão da rede, V.

Após os ensaios de laboratório, a bomba de calor foi instalada juntamente com o sistema de aquecimento solar para os testes de campo (Figura 1), nas coordenadas 22° 11' 45"S e 54° 55' 18"N. O sistema de aquecimento solar, da fabricante Alpina Termoplásticos, era composto por três coletores planos, de plástico, modelo 1003, de 1,05 m<sup>2</sup> de área cada um, conectados um reservatório (boiler) termicamente isolado, com capacidade volumétrica de 250 L. A instalação executada foi em paralelo, com circulação forçada, pelo emprego de uma bomba de água de máquina de lavar roupa, modelo BAV220, fabricante Honewell, 34 W de potência (Figura 2).



Figura 1 – Sistema completo montado para testes de campo

A montagem do sistema de aquecimento foi feita de forma que possibilitou quatro configurações de operação, conforme mostrado na Tabela 1. Para isso, a instalação hidráulica foi provida de válvulas em pontos específicos para possibilitar estas mudanças (Figura 3).

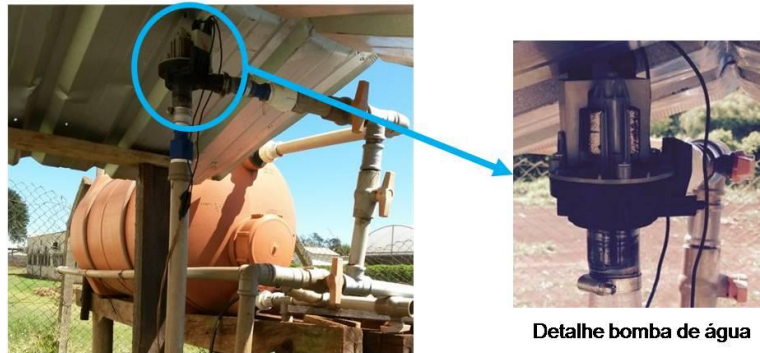


Figura 2 - Bomba de água para circulação forçada

Tabela 1. Configurações dos testes que foram realizados em campo

Ensaio	Bomba de calor	Bomba d'água	Resistência elétrica
T1	Ativo	Ativo	Inativo
T2	Inativo	Ativo	Ativo
T3	Inativo	Ativo	Inativo
T4	Inativo	Inativo	Inativo

Os ensaios em cada configuração (Tabela 1) foram repetidos 4 vezes, realizados em dias seguidos, excetuando-se dias nublados ou com chuva, com início dos testes no dia 20/05/2015 e término no dia 29/06/2015. Todos os ensaios tiveram a duração de 9 horas, com início às 8 horas e encerramento às 17 horas. No início de cada ensaio era anotada a temperatura inicial da água, através da leitura de temperatura do controlador digital de temperatura, cujo sensor foi instalado no ponto médio do reservatório térmico. Ao final do ensaio, era tomada a temperatura final, também lida no controlador de temperatura. A sonda do controlador ficou instalada na parte central do reservatório térmico, no mesmo ponto de instalação da resistência elétrica.

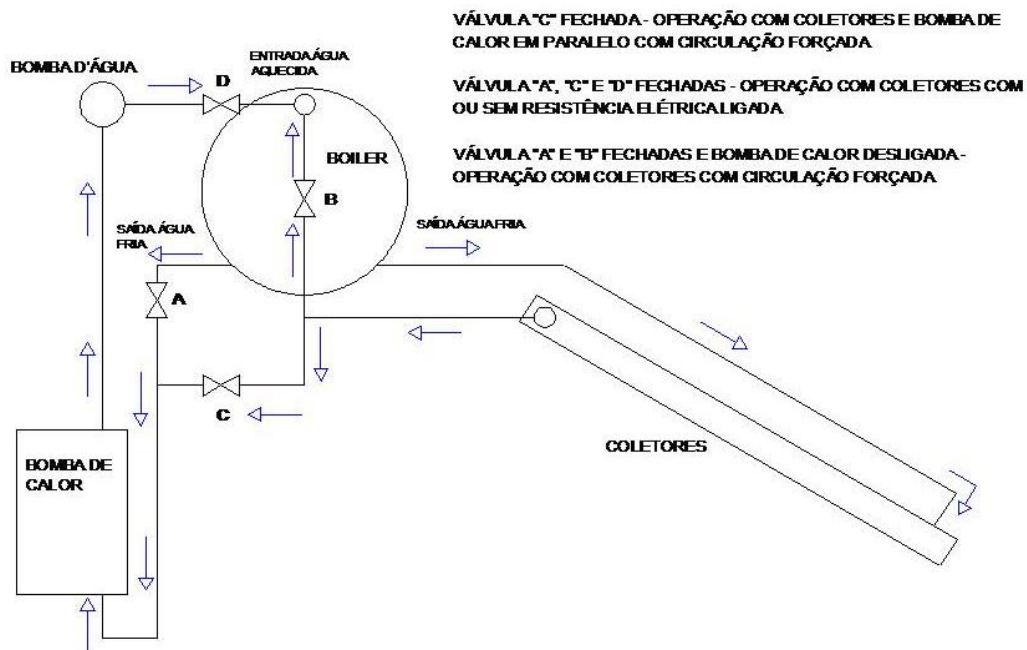


Figura 3 - Configuração hidráulica do sistema híbrido solar-bomba de calor

O calor total transferido à água pelo sistema de aquecimento em cada ensaio foi calculado através da equação 2. Para medir o consumo de energia dos sistemas de aquecimento suplementar, foi utilizado o mesmo medidor ampere hora empregado nos testes de laboratório, sendo a energia total consumida, equivalente ao trabalho empregado nos sistemas de aquecimento suplementar, determinado pela equação 3. A relação energia produzida/energia consumida ( $Q_H/W$ ) foi utilizada como parâmetro para comparar o desempenho do sistema de aquecimento solar em cada configuração com sistema de apoio.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

O coeficiente de performance médio ( $COP_{médio}$ ) da bomba de calor no laboratório foi de 2,05, como mostrado na Tabela 2. O valor encontrado foi satisfatório, principalmente quando comparado aos resultados de LI et al. (2013), que obtiveram valores entre 1,4 e 4,4; e KIM et al. (2013), os quais obtiveram valores de COP entre 2,12 e 2,77.

Tabela 2. Resultados dos ensaios da bomba de calor em laboratório

Ensaio	W (kJ)	QH (kJ)	COP
1	6249	11536	1,85
2	5468	11535	2,11
3	5468	11920	2,18
Média	5728	11664	2,05

A Tabela 3 mostra os valores médios de consumo de energia para os testes realizados a campo, conforme cada configuração de operação (Tabela 1), medido através das equações 4 e 3, respectivamente, com exceção do teste T4, no qual não houve consumo de energia pois a configuração realizou-se por termossifão. No teste T3 foi adotado a potência da bomba, pois a intensidade da energia elétrica era muito baixo para a capacidade do medidor.

Tabela 3. Resultados do consumo médio de energia elétrica em cada teste.

Teste	Consumo (Ah)	Consumo (kWh)	Consumo (KJ)
T1	9,25	2,035	7326
T2	20,5	4,510	16236
T3	-	0,306(*)	1102
T4	n.a.	n.a.	n.a.

Obs.: (\*) Calculado com base na potência da bomba no tempo de operação; n.a.: não se aplica.

O consumo de energia elétrica da configuração operando com bomba de calor com circulação forçada (T1) foi 54,9% menor que a configuração utilizando resistência elétrica de 3000 W como aquecimento suplementar (T2). Isso foi devido à maior eficiência da bomba de calor (Tabela 2). LI et al (2013) mencionam um potencial de economia de até 79% com uso de bombas de calor em sistemas de aquecimento. No entanto, múltiplos testes de campo indicam uma performance de 40 a 60%, conforme Hepbasli et al (2008). Ainda, segundo Bellos et al (2017), a economia de eletricidade do sistema híbrido solar-bomba de calor pode ser de 30% a 40%. Logo, a economia no consumo de energia elétrica atingida no experimento pode ser considerado satisfatório, relativamente aos dados obtidos pelos estudos citados. Enquanto a corrente média da bomba de calor foi de 1,5 A, conforme constatado nos ensaios de laboratório, a corrente nominal da resistência elétrica era 13,6 A, nove vezes maior.

A Tabela 4 mostra os valores médios da temperatura da água do reservatório térmico cada teste.

Tabela 4. Valores médios de temperatura do reservatório térmico cada teste.

Teste	T inicial (°C)	T final (°C)	$\Delta T$ (°C)
T1	24,7	49,2	24,5
T2	26,0	48,5	22,5
T3	25,0	28,9	3,9
T4	24,1	26,6	2,5

Os valores finais de temperatura da água, obtidos nos testes com o uso dos sistemas de aquecimento suplementar (bomba de calor e resistência elétrica), ficaram próximos ao valor ajustado no controlador de temperatura, localizado no painel de comando. Para a obtenção de água quente, ambos os sistemas foram eficazes, e obtiveram a temperatura média final em valores muito próximos, de 49,2°C e 48,5°C, respectivamente, para a bomba de calor e para a resistência elétrica. A variação de temperatura ( $\Delta T$ ) foi maior no teste T1 (bomba de calor), que obteve um  $\Delta T = 24,5^\circ\text{C}$ , enquanto que a resistência elétrica teve  $\Delta T = 22,5^\circ\text{C}$ .

Já nos ensaios T3 e T4, sem sistema de aquecimento suplementar, os valores de temperatura não ultrapassaram a casa dos 20°C, demonstrando a importância do sistema de aquecimento suplementar. O uso de circulação forçada (T3) proporcionou um ganho maior de temperatura e um aumento de 56% da quantidade de energia térmica estocada (Tabela 5), quando comparado a circulação natural (T4). Jordan et al (2015) e Pandey et al (2015) mostraram que o aumento da vazão até um determinado valor, contribui para o aumento do rendimento do coletor solar.

Tabela 5. Valores médios de energia produzida, consumida e sua relação.

Teste	EP - Energia produzida (KJ)	EC – Energia consumida (KJ)	EP/EC
T1	24500	7326	3,34
T2	22500	16236	1,39
T3	3900	1102	3,54
T4	2500	n.a.	n.a.

Relacionando o valor médio do COP da bomba de calor obtido em laboratório, com o resultado da Tabela 5, verifica-se que a bomba de calor foi responsável por pelo menos 60% da carga térmica acumulada no teste T1. Mas, segundo JORDAN et al (2016) o aumento do fluxo de água no condensador reduz a temperatura de condensação, elevando o COP. A circulação forçada pode ter provocado uma melhoria do COP, o que implica dizer que a contribuição da bomba de calor foi maior.

Isso pode ser verificado quando feita a mesma análise para o caso do teste com a resistência elétrica (T2). Considerando que toda a energia elétrica consumida foi convertida em calor, o aquecimento suplementar foi responsável por 70% da carga térmica acumulada. Dessa forma, estima-se que o COP da bomba de calor com circulação forçada foi de 2,34, um aumento de quase 9%.

Já se compararmos o resultado do teste sem aquecimento suplementar com circulação natural (T4) ao teste com a bomba de calor (T1), considerando que a energia acumulada no teste T4 é o que o sistema solar pode gerar sozinho, assumindo que a diferença pra energia acumulada em T1 é o gerado pelo aquecimento suplementar, seria possível afirmar que a bomba de calor pode gerar mais de 90% da energia térmica, o que vem de encontro aos resultados obtidos por KIM et al. (2013). Porém, nem todo esse aumento de energia acumulada pode ser creditado pela ação direta da bomba de calor, ou seja, o calor gerado por esta. Mas, indiretamente, devido ao aumento do gradiente de temperatura no reservatório térmico, implicando num aumento da circulação por termossifão, melhorando assim, o rendimento dos coletores.

Hepbasli et al (2008) relata que bombas de calor para o aquecimento de água (HPWHs) tem um Fator Energético (EF) entre 2 e 3, dependendo da unidade (EF maior, mais eficiente a unidade), o que sugere uma economia de 55 a 70%, em relação à resistência elétrica. Neste experimento foi alcançado um EF de 3,34 (Tabela 5), maior que o previsto pela literatura citada.

Segundo Bellos et al (2017), em dados coletados em diversas cidades europeias e no inverno, obteve-se eficiências energéticas médias de 4 e 2,5, para SAHP (tipo indireto em série) e ASHP, respectivamente, com radiação solar variando entre 1,23 e 3,41 MJ/m<sup>2</sup>, e média de 1,97 MJ/m<sup>2</sup>. Neste protótipo, a bomba de calor isoladamente atingiu COP = 2,05, e o sistema híbrido atingiu 3,34 de eficiência, com radiação solar média de 6,3 MJ/m<sup>2</sup>. A comparação da bomba de calor é direta (ASHP), contudo o híbrido (SAHP) tipo indireto em série poderia obter alguma vantagem em termos de calor do evaporador, já que este é suprido pelo sistema solar neste sistema, além da área total dos coletores ser maior (5 m<sup>2</sup>, contra 3,15 m<sup>2</sup> deste experimento). No protótipo desenvolvido a bomba de calor é paralelo aos coletores solares, e somente absorve calor do ar ambiente. Dito isso, a bomba de calor torna-se competitiva em termos técnicos, comparativamente ao trabalho do autor citado.

Com relação as condições climáticas (Tabela 6), é possível assumir que não foram significativas, ou estas apresentaram pequena variação entre os testes. A temperatura média ambiente foi um pouco maior no teste com resistência elétrica (T2). Mas a radiação foi 5% menor que no teste com bomba de calor (T1).

Tabela 6. Condições climáticas, valores médios, durante a realização dos testes.

Teste	T <sub>média</sub> (°C)	UR <sub>média</sub> (%)	V <sub>média</sub> (m/s)	Radiação (MJ/m <sup>2</sup> )
T1	20,4	82,0	0,62	6,3
T2	22,0	77,3	0,75	6,0
T3	20,6	74,8	0,70	6,3
T4	21,3	74,0	0,69	6,6

Obs.: Dados da estação meteorológica da Embrapa Agropecuária Oeste, coordenadas 22°16'30"S, 54°49'00"W, 408m. Acessados através do site <http://www.cpao.embrapa.br/clima/?lc=site/banco-dados/construtor-basico> (2016).

## CONCLUSÕES

A bomba de calor proporcionou uma redução significativa no consumo de energia elétrica para aquecimento suplementar em sistema de aquecimento solar. Com a potência de pouco mais de um décimo da potência da resistência elétrica, a bomba de calor foi capaz de produzir o mesmo nível de temperatura no final do processo de aquecimento, sem prejuízo para a qualidade do aquecimento.

A bomba de calor, apesar de possuir maior investimento inicial, possui instalação fácil e maior rendimento. Como sistema auxiliar, e fazendo uso de menor quantidade de energia, gerou energia térmica semelhante ao da resistência elétrica. Isto pode ser observado através do coeficiente EP/EC, que é a relação da energia produzida (EP) pela energia consumida (EC), que foi de 3,34 e 1,39, na bomba de calor e resistência elétrica, respectivamente. Com este experimento comprovou que a bomba de calor, como sistema auxiliar de aquecimento de água, é uma alternativa a ser considerada no desenvolvimento de produtos comerciais híbridos.

## AGRADECIMENTOS

Ao Programa de Pós-Graduação da Faculdade de Ciências Agrárias da Universidade Federal da Grande Dourados (UFGD), por autorizar os estudos a nível de *strictu sensu* (mestrado), pela disponibilização de laboratórios e área externa para a montagem do protótipo.

À Alpina Termoplásticos, por disponibilizar o sistema de aquecimento solar.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AKBULUT, Ugur; KdNCAY, Olcay; UTLU, Zafer. Analysis of a wall cooling system using a heat pump. **Renewable Energy**, v. 85, p.540-553, jan. 2016. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.renene.2015.07.005>.
- BELLOS, Evangelos; TZIVANIDIS, Christos. Energetic and financial sustainability of solar assisted heat pump heating systems in Europe. **Sustainable Cities and Society**, v. 33, p.70-84, ago. 2017. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.scs.2017.05.020>.
- BRASIL. Ministério de Minas e Energia. Plano Decenal de Expansão de Energia 2020. Empresa de Pesquisa Energética, Brasília, 2011. 319 p.
- EMBRAPA. **Guia clima – Estação da Embrapa Agropecuária Oeste – Dourados/MS**. 2016. Disponível em: <<http://www.cpao.embrapa.br/clima/?lc=site/banco-dados/construtor-basico>>. Acesso em: 15 ago. 2016.
- HEPBASLI, Arif; KALINCI, Yildiz. A review of heat pump water heating systems. **Renewable And Sustainable Energy Reviews**, v. 13, n. 6-7, p.1211-1229, ago. 2009. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.rser.2008.08.002>.
- IEA, International Energy Agency - **Key World Energy Statistics. Total Final Consumption**. 2016. Disponível em: <[www.iea.org/publications/freepublications/publication/KeyWorld2016.pdf](http://www.iea.org/publications/freepublications/publication/KeyWorld2016.pdf)>. Acesso em: 24 jun. 2016.
- JORDAN, R. A.; CORTEZ, L. A. B.; BARBIN, D. F.; LUCAS JUNIOR, J. Heat pump for thermal power production in dairy farm. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 36, n. 5, p.779-791, out. 2016. FapUNIFESP (SciELO). <http://dx.doi.org/10.1590/1809-4430-eng.agric.v36n5p779-791/2016>.
- JORDAN, Rodrigo A.; SEYE, Omar; A MOTOMIYA, Anamari V. de. Influência da vazão de água sobre o rendimento de um coletor solar plano construído em termoplástico. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 35, n. 4, p.665-675, ago. 2015. FapUNIFESP (SciELO). <http://dx.doi.org/10.1590/1809-4430-eng.agric.v35n4p665-675/2015>.
- KIM, Wonseok; CHOI, Jongmin; CHO, Honghyun. Performance analysis of hybrid solar-geothermal CO2 heat pump system for residential heating. **Renewable Energy**, v. 50, p.596-604, fev. 2013. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.renene.2012.07.020>.
- LI, Qin-yi; CHEN, Qun; ZHANG, Xing. Performance analysis of a rooftop wind solar hybrid heat pump system for buildings. **Energy And Buildings**, v. 65, p.75-83, out. 2013. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.enbuild.2013.05.048>.
- PANDEY, A. K.; TYAGI, V. V.; RAHIM, N. A.; KAUSHIK, S. C.; TYAGI, S. K. Thermal performance evaluation of direct flow solar water heating system using exergetic approach. **Journal Of Thermal Analysis And Calorimetry**, v. 121, n. 3, p.1365-1373, 29 mar. 2015. Springer Nature. <http://dx.doi.org/10.1007/s10973-015-4566-4>.
- SAFA, Amir A.; FUNG, Alan S.; KUMAR, Rakesh. Heating and cooling performance characterization of ground source heat pump system by testing and TRNSYS simulation. **Renewable Energy**, v. 83, p.565-575, nov. 2015. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.renene.2015.05.008>.
- YOUSSEF, W.; GE, Y. T.; TASSOU, S. A. Effects of latent heat storage and controls on stability and performance of a solar assisted heat pump system for domestic hot water production. **Solar Energy**, v. 150, p.394-407, jul. 2017. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.solener.2017.04.065>.

ZAFAR, Sayem; DINCER, Ibrahim. Energy, exergy and exergoeconomic analyses of a combined renewable energy system for residential applications. **Energy And Buildings**, v. 71, p.68-79, mar. 2014. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.enbuild.2013.12.006>.

ZHAO, Z.; FENG, W.; MI, H.; CHENG, H.; YUN, L. Experimental Study of A Solar Assisted Ground Source Heat Pump for Heating. **Journal Of Automation And Control Engineering**, v. 2, n. 2, p.146-149, 2014. EJournal Publishing. <http://dx.doi.org/10.12720/joace.2.2.146-149>.