

ESTUDO EXPERIMENTAL DE UM SISTEMA DE REFRIGERAÇÃO POR ADSORÇÃO COM SÍLICA-GEL E ÁGUA UTILIZANDO ENERGIA SOLAR

DUARTE, Yuri Vieira

Centro Universitário de Anápolis - UniEVANGÉLICA. yuriduarterj@hotmail.com

PEIXOTO, Lucas Martins

Centro Universitário de Anápolis - UniEVANGÉLICA. lucas.m_p@outlook.com

HERÊNIO, João Ricardo

Centro Universitário de Anápolis - UniEVANGÉLICA. jricard111@gmail.com

MARÇAL, Roberto Caparelli

Centro Universitário de Anápolis - UniEVANGÉLICA. roberto.marcal@docente.unievangelica.edu.br

Resumo

Devido as intensas transformações climáticas e danos ao meio ambiente que o mundo vem sofrendo, aliado ao crescente aumento no consumo de energia elétrica mundial, a proposta deste trabalho é apresentar um estudo para os sistemas de refrigeração, no qual, são grandes consumidores de energia e que em sua grande maioria utiliza energia não renovável (elétrica ou de origem fóssil) afetando diretamente na depleção da camada de ozônio provocados pelos fluidos refrigerantes presentes no sistema. Desta forma o trabalho descreve o desenvolvimento de um protótipo de chiller que utiliza energia solar como fonte térmica do processo de adsorção com sílica-gel e água com a intenção de produzir água gelada, apresentando-se assim como uma tecnologia alternativa aos sistemas convencionais, permitindo uma efetiva adequação às questões ambientais. O sistema desenvolvido é composto por dois subsistemas, sendo que o primeiro é composto por coletores solares planos com o intuito de converter a energia solar (radiância) em energia térmica, na qual é transferida ao fluido através da circulação pelo coletor e posteriormente armazenada em um boiler, podendo assim ser utilizado sempre que necessário para regeneração dos pares adsorptivos (sílica-gel). O segundo e mais importante sistema compõe especificamente um leito poroso dentro do chiller adsorptivo, onde é realizado o processo da adsorção física, promovendo assim a refrigeração do fluido e posteriormente utilizado na climatização de ambientes. O presente trabalho teve como objetivo alcançar parâmetros e dados escaláveis para a concepção de um novo produto comercial (chiller) a ser utilizado na climatização de ambientes de uma maneira sustentável, cuja as verificações deste experimento possibilitaram resultados satisfatórios, além de verificar o desempenho do sistema através do coeficiente de performance (*COP*), obtendo resultado de 0,21.

Palavras-Chave: Refrigeração; Adsorção; Energia térmica.

1. Introdução

Atualmente, preocupações com a economia e o meio ambiente têm voltado os olhares para a preservação dos limitados recursos naturais e para o aumento da participação no fornecimento de energias limpas, buscando mudanças nos processos de obtenção de produtos e serviços utilizando também fontes de energias alternativas com menor impacto ambiental. Em 2016, o Brasil foi o oitavo maior consumidor de energia do mundo e o terceiro maior das Américas, atrás apenas dos Estados Unidos e do Canadá, sendo que a energia renovável, energia hidrelétrica e energia nuclear representaram 37% do consumo de energia no país^{1,2}.

Os sistemas de climatização atuais usados pelo ar condicionado se tornaram um meio vital para a sustentabilidade graças a sua grande importância para as necessidades industriais e humanas, porém os mesmos são grandes consumidores de energia elétrica bem como utilizam em seus circuitos fluidos refrigerantes gasosos que impactam na camada de ozônio bem como no efeito estufa. Mesmo após a resolução 267 de 14 de setembro do ano 2000 do Conselho Nacional do Meio Ambiente – CONAMA³ em que se proibiu a utilização dos chamados clorofluorcarbonetos (CFC) em sistemas de ar condicionado e refrigeração, os fluidos refrigerantes substitutos ainda apresentam nos seus processos de fabricação impactos ambientais significativos que destroem a camada de ozônio.

O consumo energético intenso dos atuais sistemas de condicionamento e de refrigeração, de forma indireta, amplia os efeitos sobre os gases de efeito estufa de acordo com a diversificação da matriz energética de um determinado país, além de contribuir para produção de chuva ácida provocada pela reação da água com poluentes lançados no ar, como dióxido de enxofre que apresenta como resultado a acidez na água provocando a morte dos organismos e os animais, consequências e características essas que foram pauta de extrema relevância do Acordo de Paris em 2015, que tratou justamente da minimização da emissão dos gases que contribuem para o efeito estufa^{4,5}.

Com os pontos negativos da energia não renovável, o uso da energia solar apresenta-se como uma grande oportunidade de aproveitamento em sistemas de climatização, principalmente no Brasil com seu território situado em sua maioria entre o Equador e o Trópico de Capricórnio, apresentando uma incidência de energia solar bastante favorável. A potência instantânea incidente na superfície terrestre pode atingir valores superiores a 1000W/m^2 e a média anual de energia incidente na maior parte do Brasil varia entre 4kWh/m^2 dia e 5kWh/m^2 dia⁶.

Atualmente, os sistemas de refrigeração por adsorção receberam destaque como alternativa para aproveitar energia renovável uma vez que a fonte térmica que alimenta o sistema pode ser energia solar⁷. Os sistemas de adsorção utilizados em refrigeração vêm sendo estudados há muitos anos, muitos refrigeradores já foram construídos e testados mostrando as viabilidades e inviabilidades para aplicação em sistemas de climatização sob determinadas condições. Os adsorventes mais utilizados nesse sistema são sílica gel, carvão ativado, zeolitas e cloretos metálicos⁸. Em uma pesquisa que analisava a captação de vapor de água em sílica gel para sistema de refrigeração a vácuo notou-se que a temperatura da água decresceu mais rapidamente quando foi utilizada sílica gel. No mesmo estudo, no arrefecimento de uma mesma quantidade de água, os pesquisadores constataram que quanto maior é a quantidade de sílica gel, menor é a temperatura final da água e maior a quantidade de vapor adsorvido, uma vez que a sílica satura mais tarde^{9,10}.

Este estudo experimental possui características semelhantes na construção do princípio do chiller, seguindo o mesmo princípio de modelamento matemático proposto para verificação do COP presentes nas teses de Doutorado de Paulo José Vodianskaia apresentada em abril de 2016 e Herbert Melo Vieira apresentada em 2013^{10,11,12,13, 14}.

$$COP = \frac{Q_{ev}}{Q_{des}}$$

Portanto, esse trabalho pretendeu alcançar a conciliação da tecnologia com o uso de energia renovável aplicada no sistema de refrigeração. Especificamente, analisou um sistema de troca térmica, a refrigeração por adsorção com sílica-gel e água, sem a necessidade de energia proveniente de outras fontes que causam efeitos colaterais ao meio ambiente, através de um protótipo (chiller) por adsorção com sílica-gel e água utilizando energia solar, buscando apresentar resultados satisfatórios utilizando uma fonte de calor de baixa intensidade, verificando o desempenho do sistema através do coeficiente de performance (*COP*).

2. Materiais e métodos

2.1 Definição do par adsorvente-adsorvato

Utilizados em um ciclo fechado dentro do chiller o processo que requer a refrigeração como objetivo foi composto por um par adsorvente-adsorvato. Esse par foi escolhido por possuir características ideais, onde o adsorvato utilizado no projeto é a água pura, que dispõe de alta condutividade térmica, baixo calor específico, baixa viscosidade, alto calor latente por unidade de volume, não tóxico, não inflamável, quimicamente estável, abundante, com dimensões moleculares que facilitam o processo de sorção e o principal, possui baixo custo^{9,10,11}.

A sílica-gel (Figura 1) contempla o par adsorvente, que dispõe de uma alta capacidade de adsorção e desorção, aumentando assim a potência frigorífica, quimicamente estável com o fluido refrigerante escolhido (água) e o principal, não corrosivo, baixo custo, abundante no mercado, considerado um produto sem riscos de perigo de acordo com a ABNT NBR 14725-4 e possui aprovação para uso em contato com alimento e medicamentos^{9,10,11,13,14}.



Figura 1 – Par adsorvente - sílica-gel branca com grãos de 0,5 a 1,5 mm de diâmetro. Fonte: fonte própria

Optou-se pela utilização da sílica-gel granulada branca comum com diâmetro dos grânulos variando entre 0,5 a 1,5mm possuindo volume de poros de 0,45 ml/g. A sílica gel utilizada permite uma temperatura de dessorção menor 90°C, temperatura essa ideal para faixa de trabalho de aquecimento de água dos coletores solares.

2.2 Princípio de funcionamento do sistema de refrigeração utilizando energia solar

A construção do novo modelo de chiller alinhado ao desempenho do sistema de refrigeração por adsorção com sílica-gel e água utilizando energia solar tem o intuito de viabilizar por meio do experimento estudado a climatização do ambiente¹⁵. Para melhor compreensão o funcionamento do sistema de refrigeração o estudo experimental de adsorção foi esquematizado conforme Figura 2:

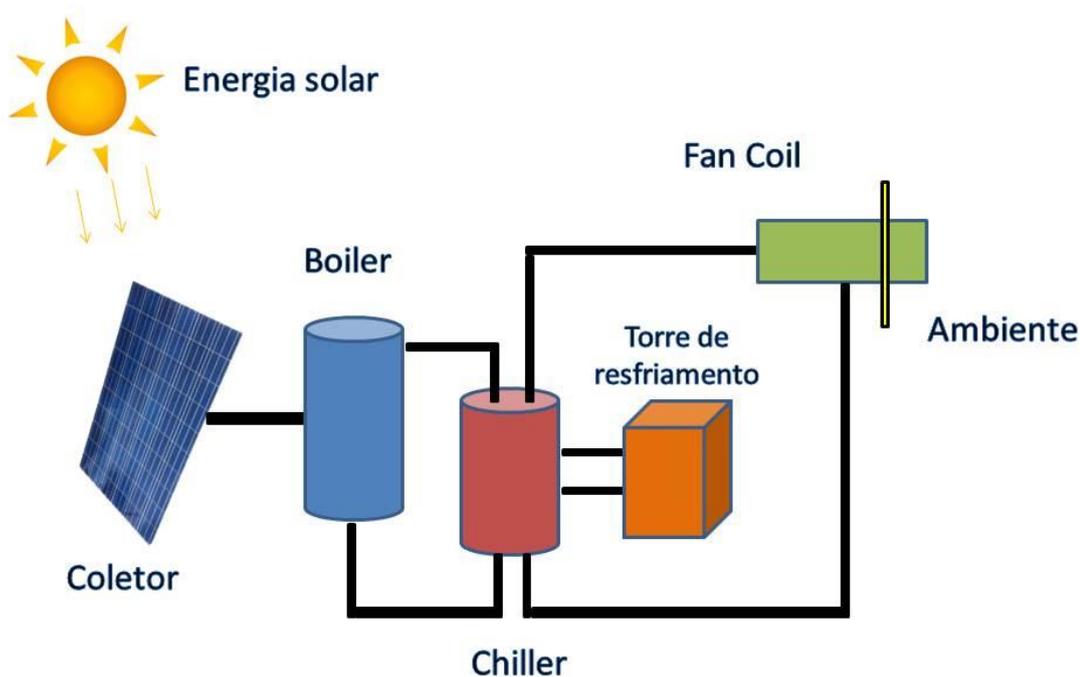


Figura 2- Sistema de refrigeração com Chiller adsortivo. Fonte: fonte própria.

Por meio da conversão da energia de radiação em energia térmica através dos coletores solares, a temperatura do fluido eleva-se para que o mesmo circule dentro do sistema. O fluido em questão é armazenado em um boiler e pelo princípio da termossifão, para sua circulação entre o coletor e o boiler não são necessárias bombas circuladoras, pois a circulação da água ocorre por convecção natural induzida pela diferença de densidade entre a água quente e fria. A água nos coletores fica menos densa ao ser aquecida deslocando-se para a parte superior do circuito (dentro do boiler), já a água mais fria (mais densa) tende a ficar na parte mais baixa do circuito. Em dias que não há luz solar suficiente, a água é aquecida por uma resistência presente dentro do boiler garantindo assim água quente para a demanda de regeneração do leito adsortivo. A regeneração do leito é um processo de extrema importância para que o sistema tenha um funcionamento contínuo e não perca eficiência na troca térmica que visa o resfriamento do fluido¹¹. Um condensador e um evaporador estão acoplados ao chiller adsortivo e dentro dele se encontra o leito poroso, onde acontece o processo de adsorção.

2.3 Princípio de funcionamento do Chiller adsortivo

A adsorção é considerada como um fenômeno de interação de partículas, onde substâncias sólidas são capazes de atrair para suas superfícies moléculas de gases ou líquidos em que estejam em contato¹⁵. O ciclo de adsorção pode ser dividido em duas fases, na primeira a refrigeração do adsorvato é resultante da evaporação do fluido refrigerante no evaporador, é nesta fase que o calor sensível e o calor de adsorção são consumidos pelo meio, no caso a água. Na segunda fase ocorre a desorção, que consiste na dissociação do adsorvato devido ao aquecimento do adsorvente e a condensação do fluido refrigerante no condensador é o chamado, processo de regeneração^{16,17,18,19}. Esse processo acontece dentro do chiller, especificamente no leito poroso e pode ser representado pela Figura 3.

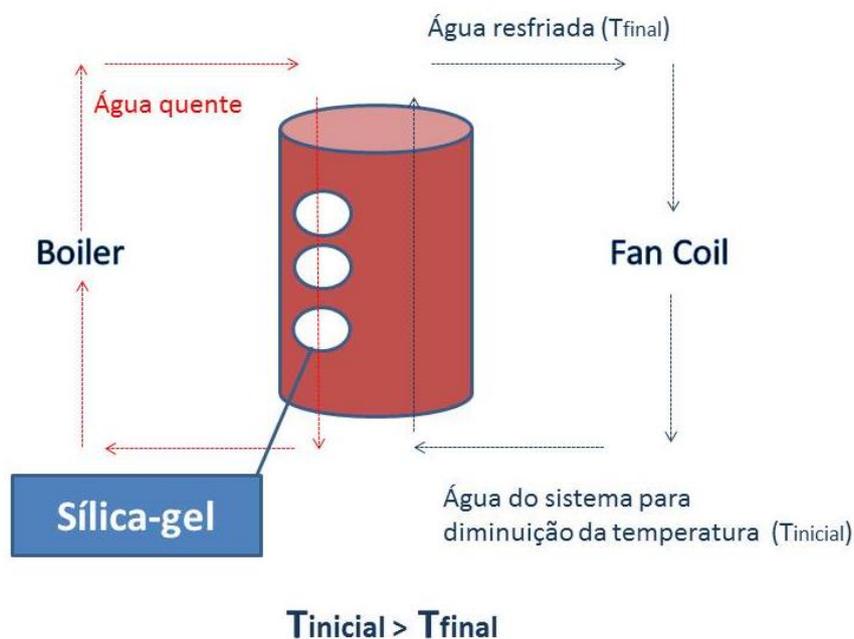


Figura 3 – Processo interno do Chiller adsortivo. Fonte: Fonte própria.

A adsorção e a desorção ou regeneração do leito poroso é realizada graças ao fluido térmico que nesse trabalho utilizou-se água com temperatura entre 60°C e 80°C, que possui como fonte térmica de aquecimento a energia solar. O fluido térmico e sua fonte de aquecimento possibilita o aquecer e resfriar do leito poroso que se encontra dentro do chiller adsortivo quantas vezes for necessário, proporcionando assim diversas fases adsorptivas/dessorptivas^{10,11,16,18}.

Inicialmente, considera-se que o ciclo parte do momento em que uma certa quantidade de calor é fornecida ao leito poroso, promovendo o aumento da temperatura (T_{ads}) e pressão (P_{evap}), processo (A-B), dentro do leito. Devido ao fornecimento de calor, à medida que a temperatura aumenta a concentração de adsorvato diminui, em sequência o adsorvato que é o fluido refrigerante é condensado no condensador, processo (B-C). No instante em que a temperatura do leito poroso chega ao ponto de trabalho (ponto C, T_{des}) o aquecimento do leito é interrompido finalizando assim o processo dessortivo do ciclo. Em sequência, o condensado é direcionado ao evaporador, passando pelo processo de resfriamento (C-D) onde a temperatura e pressão diminuem e a concentração mássica de adsorvato encontra-se constante. Após esta etapa o adsorvato promove o efeito frigorífico (D-A) na proporção em que o leito poroso é resfriado. O processo é interrompido quando o leito poroso chega a temperatura inicial (ponto A, T_{ads})^{11,16,17}, como esquematizado no diagrama da Figura 4.

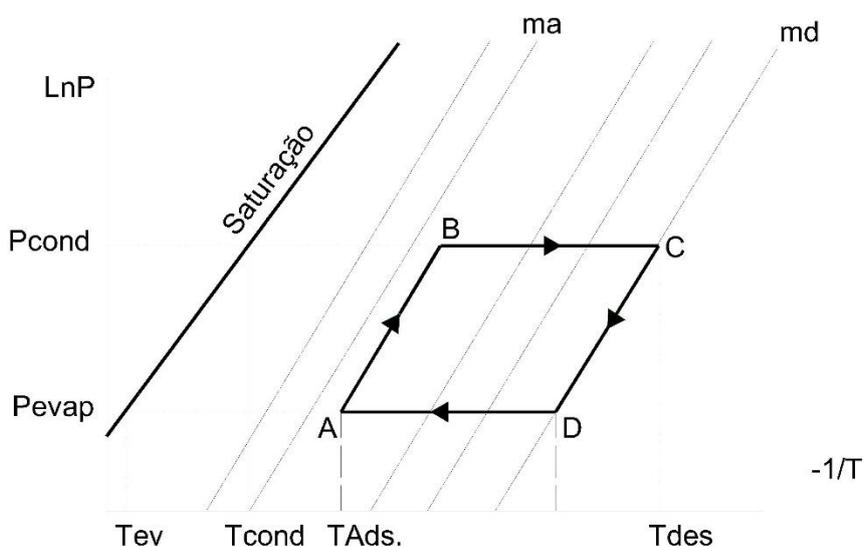


Figura 4 – Diagrama de Clapeyron para um ciclo ideal de adsorção e desorção [11]

2.3 Procedimento construtivo do chiller adsorativo

O protótipo estrutural utilizado nesse experimento foi completamente desenvolvido pelos autores. Para a confecção do desenho técnico utilizou-se software paramétrico, apenas após o desenho concluído foram fabricadas todas as peças que compõem o chiller. As peças do protótipo que compõem o fechamento inferior e o casco foram confeccionadas em aço carbono ABNT 1020 chapa #14 e os flanges em chapa 3/16", de acordo com a Figura 5.

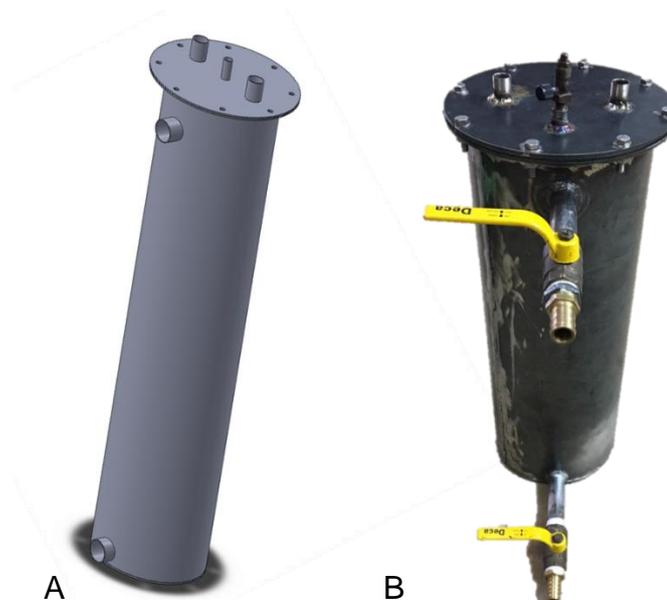


Figura 5 – A: Modelagem chiller utilizando software paramétrico. B: Chiller confeccionado e soldado estanque. Fonte: fonte própria

Após a confecção das peças, o chiller adsorptivo foi montado e soldado. Devido ao fato da necessidade de produzir vácuo no sistema, todas as soldas são estanque. O chiller possui capacidade para aproximadamente 18,5L de água em seu interior. A escolha do trocador de calor compõe a construção do chiller adsorptivo, já que este é uma peça primordial para que ocorra a adsorção e conseqüentemente a troca térmica visando o resfriamento. Para o desenvolvimento experimental do protótipo, com um bom desempenho, resultado e alinhado ao custo benefício, utilizou-se dois tubos aletados trocador de calor, conforme figura 6 abaixo:



Figura 6 – Tubo trocador de calor feito em aço inox com aletas de alumínio. Fonte: fonte própria

O tubo foi confeccionado em aço inox 304, com diâmetro de 18mm, aletas em alumínio 1200H14, peso total unitário de 0,450 Kg, comprimento de 0,540 metros e com área de troca térmica de aproximadamente 0,48 m² cada tubo. O tubo utilizado tem ótima característica de condutibilidade térmica e menor custo se comparado à tubos aletados confeccionados em materiais como bronze e cobre.

3. Resultados e Discussões

À princípio, para realização do experimento optou-se pela união dos tubos aletados através de duas curvas de 90° de aço inox. A utilização de dois tubos proporcionou o fluido circular no leito poroso a maior parte de tempo possível, assim possibilitando o aumento do tempo de troca térmica e elevando a eficiência do equipamento, já que os tubos não possuem uma grande área de troca. Essa característica foi desenvolvida conforme estudo realizado através livro de transferência de calor e massa dos autores Çengel e Ghajar, que evidenciam que para uma melhor e eficiente troca deve-se ter maior área disponível. A escolha dos tubos e das curvas compatíveis com o material para ser soldado teve resultado positivo, devido ao fato do tubo ser o de menor valor encontrado no mercado além do pioneirismo dos autores deste trabalho nessa linha de pesquisa se comparado à estudos realizados através das teses de Paulo José Vodianitskaia e Herbert Melo Vieira onde utilizavam tubos de cobre com maior valor de mercado, e possuindo maior área de troca térmica para confecção do reator adsorativo que se encontra dentro do chiller^{13,14,20,21,22}.

Os tubos foram soldados diretamente no flange de fechamento, ficando na posição vertical de trabalho. Assim como nos tubos foi instalada no flange de fechamento a válvula para engate da bomba de vácuo, possibilitando agilidade no manuseio e operação do chiller, assim como utilizado na pesquisa de Vodianitskaia em 2016 (figura 7).

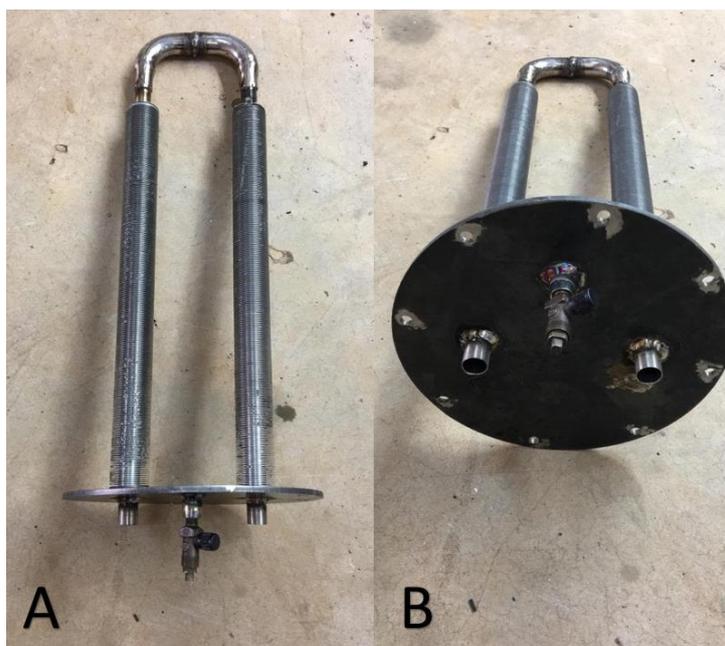


Figura 7 – A: Tubo aletado com curva de inox. B: Válvula soldada na flange de fechamento. Fonte: fonte própria

Após a rotina de testes ser realizada, foi possível evidenciar e confirmar a teoria presente acima que o manuseio e operação do chiller na posição vertical proporciona mais agilidade no processo, possibilitando melhor praticidade no engate das mangueiras que ligam o recipiente de armazenamento à entrada e retorno dos tubos.

Para realização dos testes, o leito adsorativo foi preenchido utilizando 2,4 kg de sílica. O par adsorvente foi alocado entre as aletas e em volta dos tubos, sendo pressionada e contida através de uma tela mosquiteira com malha de 0,3 mm. Esse método possibilitou o emprego de uma maior quantidade de adsorvente no leito, mesmo princípio adotado por Vieira em sua tese de doutorado. Figura 8.



Figura 8 – Trocador de calor preenchido com adsorvente envolvido por tela. Fonte: fonte própria

Na figura 9, é possível evidenciar a conexão das mangueiras na entrada e saída dos tubos aletados, por onde circula o fluido (água) que foi refrigerado e a mangueira de ligação na bomba de vácuo. Para melhor estanqueidade do sistema utilizou-se válvulas de fechamento na entrada e saída dos bocais de abastecimento de água quente para regeneração do chiller.



Figura 7 – Protótipo de chiller adsortivo finalizado. Fonte: fonte própria

O processo experimental contou com vários testes realizados em laboratório, todos embasados nas teses dos autores brasileiros Paulo José Vodianitskaia e Herbert Melo Vieira. Os principais testes contaram com uma rigorosa rotina de ciclos, onde os ciclos com resultados positivos computaram com 50 minutos para evacuação do sistema, 50 minutos de adsorção e 120 minutos para regeneração do leito^{21,22}.

No ciclo mais satisfatório, 5 litros de água com temperatura inicial de 27°C foram refrigerados, considerando a temperatura do fluido para resfriamento do leito de 22°C e do condensador de 22°C. Utilizou-se aproximadamente 28L de água para regeneração do leito adsortivo, com temperatura de regeneração utilizada de 66°C. A porção de sílica gel foi de 2,4 kg proporcionando um COP no final dos resultados de aproximadamente 0,21. O resultado obtido foi considerado satisfatório e dentro do estimado, devido a dificuldade encontrada na construção do sistema completo de refrigeração ligada ao elevado custo dos materiais e a carência de laboratórios na região que contam com todo o aparato necessário. O resultado obtido se comparado à pesquisas brasileiras e internacionais apresentou um excelente COP, como mostrado no gráfico 1 abaixo.

INDICADOR DE DESEMPENHO CHILLER ADSORTIVO (COP)

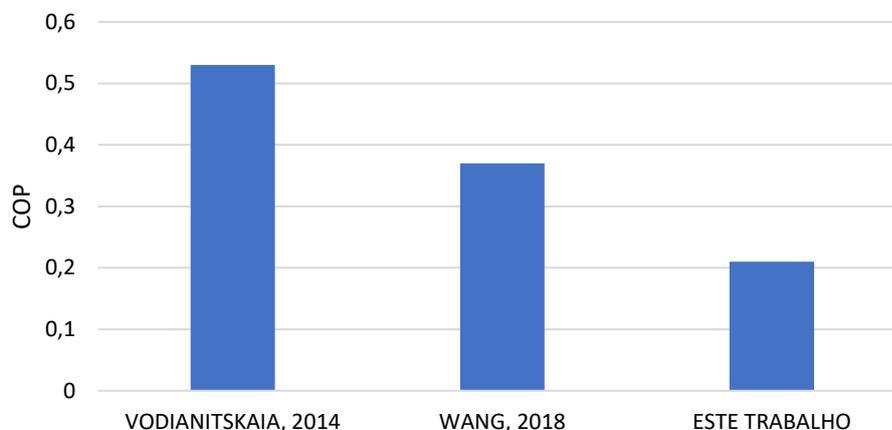


Gráfico 1 – Indicador de desempenho do chiller adsorativo. Fonte: Fonte própria

4. Conclusão

O estudo experimental/desenvolvimento do protótipo deste trabalho correspondeu positivamente ao resultado esperado, ou seja, o funcionamento do sistema e a refrigeração do fluido. Os dados apresentados são escaláveis para a concepção de um novo produto comercial (chiller) a ser utilizado na climatização de ambientes de uma maneira sustentável. Então o desenvolvimento experimental e o projeto do chiller originou em um protótipo/equipamento de fácil manuseio e com ótima praticidade. A coleta de dados provou através do COP apresentado que o par adsorvente-adsorvato realmente é capaz de produzir refrigeração, não sendo necessário a utilização de fluidos refrigerantes que impactam no meio ambiente. Para um melhor desempenho futuro precisa-se melhorar a estanqueidade do sistema, assim como o aumento da área de troca térmica dentro do chiller e a utilização de uma porção maior de sílica no leito poroso.

O nível de temperatura ideal da água para regeneração do leito é na faixa de 60 a 70 graus, onde este nível de temperatura é facilmente atingido com a utilização de coletores solares planos, o que confirma a teoria descrita no presente trabalho.

Assim a fração de sílica gel utilizada com grãos de 0,5 a 1,5mm apresentou um COP de aproximadamente 0,21, onde em outras literaturas indica que frações com diâmetros maiores entre 1,5 e 2,5 pode apresentar um COP maior. Considera-se que para um melhor funcionamento do sistema os ciclos de adsorção devem ser maiores que 60 minutos de duração, ciclo de regeneração com aproximadamente 180 minutos seria ideal, contando também com a água advinda do condensador com temperatura menor que a utilizada de 22°C.

5. Referências

- [1] EIA. **Overview: Brazil is the ninth-largest liquid producer in the world and the third-largest producer in the Americas.** 2017. Disponível em: <<https://www.eia.gov/beta/international/analysis.php?is>>. Acesso em: 10 nov. de 2018.
- [2] NAJEHA G et al. **Performance of silica gel-water solar adsorption cooling system.** Case Studies in Thermal Engineering 8, p. 337–345, 2016. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2214157X16300545>>. Acesso em: 10 de nov. 2018.
- [3] BRASIL. **RESOLUÇÃO CONAMA nº 267, de 14 de setembro de 2000.** GESTÃO DE RESÍDUOS E PRODUTOS PERIGOSOS – Uso, Brasília,DF, dez 2000. Disponível em: <<http://www2.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=265>>. Acesso em: 10 nov. 2018.
- [4] ARAÚJO M.S.A.; SILVA O.F., GUEDES R. **Chuva ácida: um dos fatores para o desequilíbrio ambiental.** Revista Acadêmica Saúde & Ambiente. 2009.

- [5] VODIANITSKAIA P.J. et al. **Experimental chiller with silica gel: Adsorption kinetics analysis and performance evaluation.** Energy Conversion and Management, v. 132, p. 172-179, 2017.
- [6] **CRESESB informe: Atlas solarimétrico do Brasil, 2000.** Disponível em: <http://www.cresesb.cepel.br/Publicacoes/download/Info5_pag8-9.PDF> Acesso em: 10 nov. 2018.
- [7] OLIVEIRA, R. G. **Solar Powered Sorption Refrigeration and Air Conditioning.** In: Mikkel E. Larsen. (Org.). Refrigeration: Theory, Technology and Applications. 1ed. Hauppauge: Nova Publishers, 2010, p. 205-238.
- [8] WANG, L. W.; WANG, R.; OLIVEIRA, R. G. **A review on adsorption working pairs for refrigeration.** Renewable and Sustainable Energy Reviews, v. 13, p. 518-534, 2009.
- [9] DINIS, C.S. **Captação de vapor de água em sílica gel para sistema de refrigeração a vácuo.** [Dissertação de mestrado]. Coimbra: Faculdade de Ciências e tecnologia, Universidade de Coimbra, 2012.
- [10] VODIANITSKAIA, P.J. **Estudo teórico e experimental de um chiller a adsorção para sistemas de ar condicionado solar.** [Tese de Doutorado]. João Pessoa: Centro de Tecnologia, Universidade Federal da Paraíba, 2016.
- [11] VIEIRA H.M. **Estudo experimental e teórico de um resfriador de água por adsorção energia solar.** [Tese de Doutorado]. João Pessoa: Centro de Tecnologia, Universidade Federal da Paraíba, 2013.
- [12] WANG, R. **Adsorption refrigeration technology: theory and application** / Ruzhu Z. Wang, Liwei Wang, Jingyi Wu. Singapore; 2014.
- [13] ÇENGEL, Y. A; BOLES M.A. **Termodinâmica.** AMGH, Porto Alegre, 7ª edição, 2013.
- [14] STOECKER, W. F; JABARDO J. M. **Refrigeração Industrial.** Edgard Blücher Ltda, São Paulo, 2ª edição, 2002.
- [15] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 14725-4: produtos químicos: informações sobre segurança, saúde e meio ambiente.** Parte 4: ficha de informações de segurança de produtos químicos (FISPQ). Rio de Janeiro: ABNT, 2014.
- [16] MOHAMMED R.H. et al. **Adsorption cooling cycle using silica-gel packed in open-cell aluminum foams.** International Journal of Refrigeration, 2019.
- [17] ADOLFO, C. **Modelagem numérica de tanques de armazenamento térmico aplicada a sistemas de refrigeração por adsorção.** [Tese de Mestrado]. João Pessoa: Centro de Tecnologia, Universidade Federal da Paraíba, 2015.
- [18] VIEIRA H.M et al. **Eficiência energética e exergética de um sistema de refrigeração por adsorção.** Congresso Norte Nordeste de Pesquisa e Inovação. 2012. Out 19-21. Palmas, Tocantins; 2012.
- [19] RIFELL, D. B.; BELO, F. A.; LEITE, A. **Ar condicionado solar por adsorção: fundamentos e estado da arte.** I Congresso Brasileiro de Energia Solar.2007. Abril 08-11. Fortaleza, Ceará:2007.
- [20] ÇENGEL, Y. A; GHAJAR A.J. **Transferência de Calor e Massa: Uma Abordagem prática.** AMGH, Porto Alegre, 4ª edição, 2012.
- [21] LIU,Y.L., WANG, R.Z., XIA, Z.Z. **Experimental performance of a silica gel-water adsorption chiller.** Applied Thermal Engineering, 2005, v.25, n.2-3, p.359-375.
- [22] WANG, D.C et al. **Study of a novel silica gel-water adsorption chiller.** Part II. Experimental study. Int J Refrig. v. 28, n. 7, p. 1084-91, 2005.
- [23] WANG, L et al. **Experimental study of an adsorption refrigeration test unit.** ScienceDirect, Shanghai, v. 152, p. 895-903, 2018.