

# APLICAÇÃO DE UM SISTEMA ADSORTIVO EM UM PROCESSO DE REFRIGERAÇÃO POR *CHILLER*

PIRES, Helio Muniz <sup>1</sup>  
ARAÚJO, João Vitor Veloso de <sup>2</sup>  
ALMEIDA, Leonardo de Andrade <sup>3</sup>  
MARÇAL, Roberto Capparelli <sup>4</sup>

## Resumo:

Neste trabalho apresentar-se-á um estudo de eficiência energética para um sistema híbrido de refrigeração composto por um *chiller* de ciclo frigorífico fechado de compressão a vapor acionado por energia elétrica associado à um *chiller* adsortivo com leito de sílica-gel utilizando fontes renováveis de energia. Neste caso, o recurso solar. O trabalho apresenta uma modelagem matemática teórica da correlação dos parâmetros e variáveis dos processos termodinâmicos, com simulação do modelo utilizando dados hipotéticos, porém bem próximos da realidade. Nos sistemas de refrigeração que empregam *chillers* são utilizados ciclos fechados de água que resfriada é levada às unidades evaporadoras para troca de calor e posterior retorno ao *chiller* para um novo resfriamento. O sistema híbrido propõe a utilização do *chiller* adsortivo para produção de água gelada que, levada a um reservatório intermediário isolado, será adicionada à água fluxo de retorno com o objetivo de rebaixar a temperatura da água de reentrada no *chiller*. Na simulação foi utilizada a capacidade fixa do *chiller* de leito adsortivo, modelado matematicamente, para uma determinada capacidade fixa de refrigeração de um *chiller* convencional e calculado seu novo consumo energético. Os resultados obtidos indicam que esta tecnologia pode contribuir em muito para a diminuição do consumo energético. Em contrapartida, para que se obtenha um valor expressivo na redução deste consumo, nesta aplicação, é necessário estudo para o emprego de novos pares adsorventes-adsorbatos para obtenção de um maior coeficiente de performance (COP), que diz respeito a melhor eficiência de um equipamento frigorífico.

**Palavras-Chave:** *Chiller*; Adsorção; Refrigeração.

## APPLICATION OF AN ADSORTIVE SYSTEM IN A *CHILLER* REFRIGERATION PROCESS

## Abstract:

This work presents a refrigerant as a refrigerator for a refrigerator adsorbed with a refrigerant of energy cooled by a heat generator. In this case, the solar resource. The paper presents a mathematical modeling of its list of parameters and the rules of thermodynamic processes, with the purpose of making hypothetical data, but very close to reality. In refrigeration systems employing refrigerators, closed water cycles are used which cool the evaporation of evaporator units for heat exchange and subsequent return to cooling for further cooling. The hybrid system proposes the use of the adsorbent cooler to produce ice water, taken to an intermediate

<sup>1</sup> Centro Universitário de Anápolis - UniEVANGÉLICA. heliomuniz.pessoal@hotmail.com

<sup>2</sup> Centro Universitário de Anápolis - UniEVANGÉLICA. joavitorvelosodearaujo@hotmail.com

<sup>3</sup> Centro Universitário de Anápolis - UniEVANGÉLICA. leonardoandrade@hotmail.com

<sup>4</sup> Centro Universitário de Anápolis - UniEVANGÉLICA. roberto.marcal@docente.unievangelica.edu.br

reservoir, will be submitted to a flow of water with return to water and the water will not be refrigerated. In the solution, a fixed capacitor of the adsorbent bed cooler, mathematically modeled, was used for a fixed cooling capacity of a conventional *chiller* and its new energy consumption. The results may come from this technology can contribute greatly to the reduction of energy consumption. On the other hand, in order to obtain an expressive value in reducing the importance, in this application, it is necessary to study the use of new adsorbent-adsorbate pairs to obtain a higher coefficient of performance (COP), which refers to a better efficiency of refrigeration equipment.

**Keywords:** *Chiller* ; Adsorption; Refrigeration.

## 1. INTRODUÇÃO:

“O uso da refrigeração e do ar condicionado representou um dos mais importantes avanços da civilização moderna. A possibilidade de guardar e distribuir alimentos e de viver e trabalhar em climas adversos deu às atividades humanas perspectivas muito maiores do que aquelas anteriormente possíveis.” [1]

Refrigeração, segundo a ASHRAE (1983), é definida como a retirada de calor de um corpo que se deseja diminuir a temperatura, transferindo esse calor retirado para outro lugar. A retirada de calor é comumente feita por um fluido refrigerante, obedecendo a um ciclo termodinâmico ou um ciclo de refrigeração, o qual se pode classificar em quatro tipos diferentes: ciclo de compressão de vapor, ciclo de absorção/adsorção de vapor, ciclo de gás e ciclo Stirling. [2]

No ciclo de refrigeração por compressão de vapor o fluido refrigerante entra no compressor na forma de vapor e sai como vapor superaquecido com alta pressão. Após passar pelo condensador, muda seu estado para líquido em alta pressão, cedendo calor para o ambiente. Segue para a válvula de expansão, onde sua pressão é reduzida, depois para o evaporador, onde volta para o estado gasoso retirando calor do ambiente, retornando ao compressor. [3]

O ciclo por absorção/adsorção de vapor é semelhante ao de compressão, porém, o compressor é substituído por um absorvedor/adsorvedor que dissolve o refrigerante em um líquido adequado, por uma bomba que pressuriza o líquido, e um gerador que afasta o vapor refrigerante do líquido de alta pressão. O gerador necessita de uma fonte de calor para realizar seu trabalho. [3]

O ciclo a gás possui um rendimento baixo em relação aos outros. O ciclo utiliza um gás que é comprimido e expandido, porém não muda de fase. Por não haver evaporação ou condensação do gás, os componentes que fariam esse trabalho são substituídos por permutadores de calor de gás quente para gás frio. [3]

O ciclo *Stirling* é realizado com a estabilidade de oscilações cíclicas de fluidos. Em um dispositivo que gera esse ciclo, o fluido deverá ser expandido em uma região que esteja sendo aquecida e comprimido em uma região que esteja sendo resfriada. [3]

Ciclos de refrigeração por compressão de vapor é um dos mais empregados atualmente nas indústrias pois são base de uma grande variedade de equipamentos. Um dos mais utilizados destes equipamentos é o *chiller*. Apesar de apresentarem vantagens como o controle da temperatura, umidade relativa, movimentação, filtragem e renovação do ar, apresentam também desvantagens como o alto gasto de energia para a rejeição de calor no sistema. [4]

Contrapondo a problemática de alto gasto de energia, somando a um progresso de pesquisas sobre energias renováveis, alternativas sustentáveis têm sido desenvolvidas na área de refrigeração. Dentre elas tem-se à adsorção, que utiliza calor para realizar seu ciclo podendo utilizar o sol como fonte energética.

Este trabalho objetiva apresentar um estudo de eficiência energética de um sistema híbrido de refrigeração composto por um ciclo de refrigeração por compressão de vapor desempenhado por um sistema *chiller* fechado acionado por energia elétrica associado à um ciclo por adsorção com leito de sílica-gel utilizando fontes renováveis de energia, no caso solar.

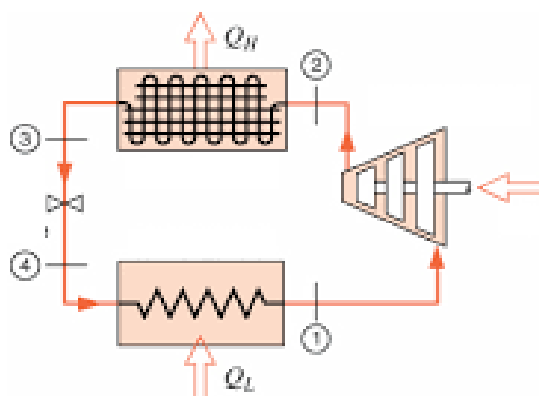
## 2. REFERENCIAL TEORICO

### 2.1. *Chiller*

Grande parte dos equipamentos de refrigeração utiliza o ciclo de vapor como princípio de funcionamento, como os populares ar-condicionados do tipo Split, bem como os do tipo Janela, Self Contained e VRF, todos estes sendo caracterizados por fase de expansão direta. Outro exemplo de maior escala é o *Chiller*, porém este com fase de expansão indireta. O ciclo de expansão direta é caracterizado, quando, no evaporador, o fluido refrigerante na forma de vapor troca calor diretamente com o ar do ambiente em que se quer retirar o calor. Na expansão indireta o vapor refrigerante troca calor com outro fluido de refrigeração, para que este último troque calor com o ar.[5]

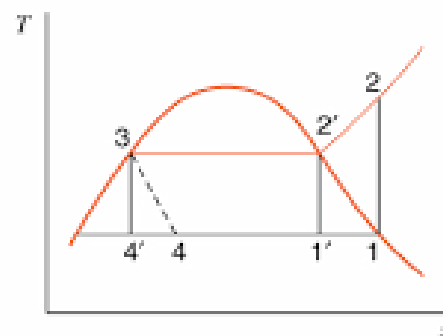
O ciclo de refrigeração por compressão de vapor pode ser caracterizado de acordo com as figuras 01a e 01b, por um ciclo 1-2-3-4-1. O vapor saturado a baixa pressão entra em um compressor e sofre uma compressão adiabática reversível (1-2). O calor é então rejeitado a uma pressão constante (2-3) e o fluido de trabalho deixa o condensador como líquido saturado. Em seguida o líquido sofre um processo (3-4) de estrangulamento adiabático. Para completar o ciclo o fluido de trabalho é vaporizado a uma pressão constante (4-1), captando calor. Pela figura 01b também pode se observar a diferença do ciclo ideal de refrigeração para o ciclo ideal de refrigeração de Carnot, caracterizado pelo ciclo 1'-2'-3-4'-1'. A diferença é evidenciada no processo 1'-2', em que é inviável comprimir uma mistura de líquido e vapor nas condições de 1', mantendo o equilíbrio da mistura. Outra diferença é a presença de uma válvula de expansão que torna o processo irreversível (3-4') ao contrário do ciclo de Carnot que no mesmo processo dependeria de um dispositivo que transformasse líquido saturado em uma mistura de líquido e vapor. [6]

Figura 01a – Esquema do Ciclo de Refrigeração



Fonte: [7]

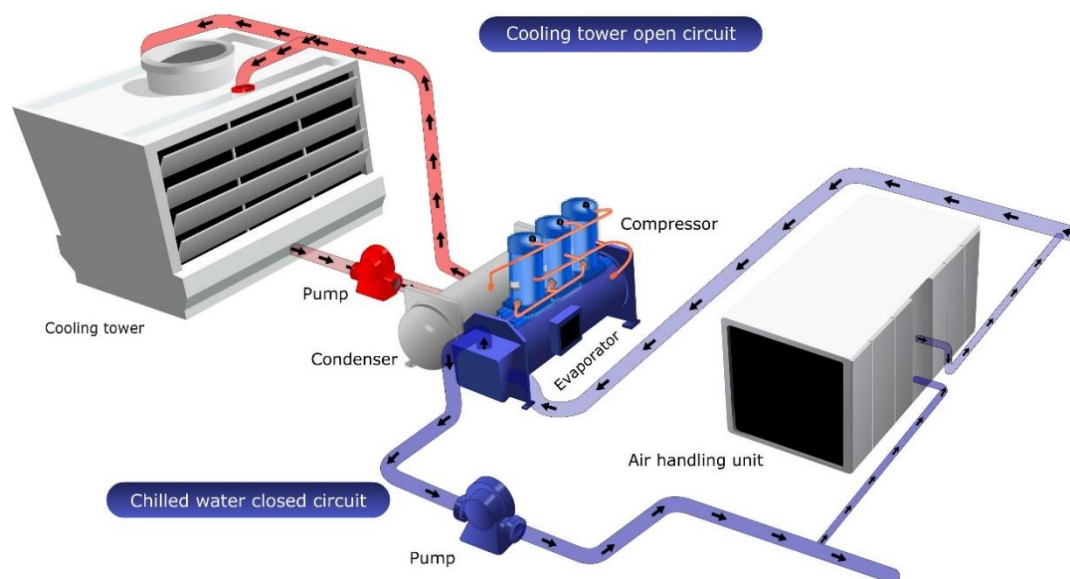
Figura 01b – Gráfico do Ciclo de Refrigeração



Fonte: [7]

O sistema de refrigeração por *chiller* consiste no resfriamento da água, tornando-a ideal para arrefecer o ar, produtos ou equipamentos. Ao ser utilizado em conjunto com determinados equipamentos de ar-condicionado o *chiller* possibilita a climatização de ambientes e o controle da temperatura e da umidade relativa, além da movimentação, filtragem e renovação do ar. Para isso, a água com o calor retirado pelos equipamentos de refrigeração, segue por tubulação pressurizada até um circuito fechado do *chiller*, onde é circulado fluido refrigerante, semelhante ao circuito de compressão de vapor. A água aquecida troca de calor com o vapor refrigerante no evaporador do circuito. O calor retirado pelo vapor aquecido é transferido, no condensador do circuito fechado, para a água de outro circuito pressurizado que por sua vez é conduzida para uma torre de refrigeração onde esta água é resfriada pelo ar ventilados em aletas da torre. A água resfriada segue novamente para o condensador do circuito fechado do líquido refrigerante, percorrendo o caminho inverso. Os circuitos pressurizados de água e o circuito intermediário do líquido refrigerante podem ser observados na figura 02. [8]

Figura 02- Esquema do circuito do *Chiller*



Fonte: [9]

Com alta durabilidade e eficiência, o sistema de refrigeração *Chiller* também apresenta a vantagem de ter ótimo custo-benefício. A potência do *Chiller* é medida em toneladas de refrigeração (TR), podendo trabalhar com uma grande variação de temperatura, inclusive negativa. Esse sistema pode ser usado em situações que requerem a climatização de espaços e a refrigeração de equipamentos, destacando-se locais com grande circulação de pessoas, como aeroportos, hospitais, estações de metrô, armazéns e eventos em geral. Também são indicados para indústrias do petróleo, gás, petroquímicas, refinarias, indústrias químicas, farmacêuticas e alimentícias, para a

mineração e tunelamento, além de equipamentos de telecomunicações e áreas da torre de controle das células. [8]

## 2.2. Adsorção

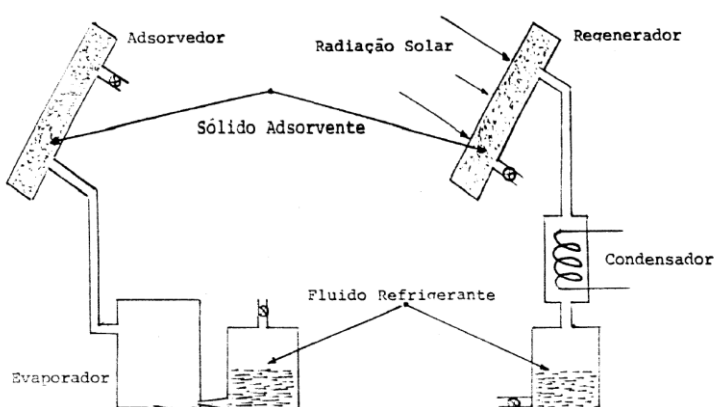
Adsorção é a capacidade de todas as substâncias sólidas de atrair, em suas superfícies, moléculas de gases ou soluções com os quais estejam em contato. Sólidos que são utilizados para adsorver gases ou substâncias dissolvidas são chamados adsorventes e as moléculas adsorvidas são usualmente referenciadas coletivamente como o adsorvato [10].

Existem dois tipos de adsorção: o primeiro é a adsorção física que se sujeita às forças de Van der Waals para atrair as moléculas do adsorvato à superfície do adsorvente sendo facilmente reversível. O segundo é a adsorção ou absorção química que acontece por forças de covalência derivadas de um processo químico entre o adsorvente e o adsorvato resultando em uma nova substância tornando este processo irreversível. [11]

Nos ciclos de adsorção física, são comumente utilizados sílica gel, alumínio-silicatos conhecidos como zeólitas, usando água como par adsortivo, e carvão ativado usando metanol e etanol. Na adsorção química os adsorventes mais utilizados são a amônia e o brometo de lítio com a água sendo o par adsortivo. [12]

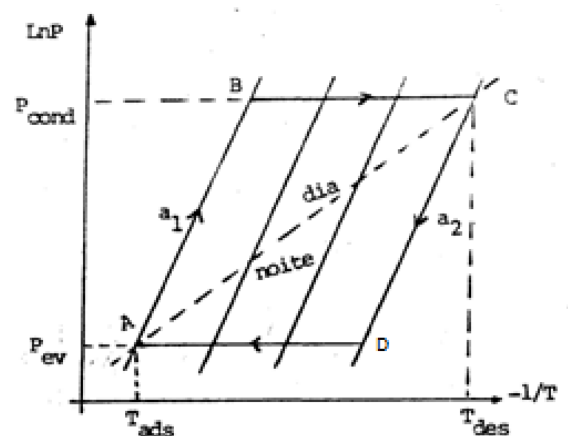
O ciclo adsortivo é composto de duas etapas: a primeira é caracterizada pelo processo de adsorção, quando ocorre a evaporação do fluido de trabalho (o adsorvato); e a segunda, de regeneração do meio poroso (o adsorvente), por meio da conversão térmica da energia solar, onde o adsorvato é condensado. O ciclo termodinâmico ideal se forma por duas isósteras (AB e CD) e duas isotermas (BC e DA), conforme figura 03b, dispostas intercaladamente. [13]

Figura 03a – Esquema do Ciclo de Adsorção



FONTE: [11]

Figura 03b – Gráfico do Ciclo de Adsorção



FONTE: [11]

O ciclo da figura 03b pode ser descrito da seguinte forma:

**Isóstera A-B:** No leito adsorativo, o adsorvente e o adsorvato, que ocorre após a adsorção e está saturado, é aquecido e a temperatura sobe de  $T_{ads}$  para  $T_{a1}$ , e a pressão do refrigerante no leito de adsorção sobe de  $p_{ev}$  para  $p_{cond}$  durante o processo. Deve ser enfatizado aqui que  $p_{ev}$  e  $p_{cond}$  são determinados pela temperatura de evaporação e pela temperatura de condensação. Para o processo de aquecimento, a válvula entre o leito adsorativo e o condensador é fechada no começo, então é assumido que a dessorção não ocorre até que a pressão atinja  $p_{cond}$ , assim para este processo o volume não muda, que é, é um processo de aquecimento isovolumétrico. Devido a isto, a massa do gás refrigerante nos canais de transferência de massa do leito e nos microporos do adsorvente é muito pequena em relação à massa do refrigerante; no processo de aquecimento, o calor sensível consumido pelo gás refrigerante no leito adsorvente é geralmente ignorado [14].

**Isoterma B-C:** O adsorvente dentro do leito é continuamente aquecido até que sua temperatura atinja a temperatura máxima de dessorção  $T_{des}$ . Ao mesmo tempo, o refrigerante adsorvido é dessorvido. Como a pressão é controlada principalmente pela pressão de condensação nessa fase, o processo pode ser visto como um processo isobárico com a pressão  $p_{cond}$ . Este processo assume que o gás refrigerante é condensado no condensador imediatamente quando é dessorvido [14].

**Isóstera C-D:** É semelhante ao processo A-B. Quando o adsorvente dentro do leito é completamente dessorvido, o leito é resfriado e a temperatura cai de  $T_{des}$  para  $T_{a2}$ , assim como a pressão do refrigerante é reduzida de  $p_{cond}$  para  $p_{ev}$ . Neste processo, porque a válvula está ligada ao evaporador e ao leito está fechada, o volume pode ser visto como uma constante, ou seja, o processo pode ser tratado como um processo isovolumétrico [14].

**Isoterma D-A:** Quando o adsorvente é resfriado até a temperatura de adsorção  $T_{ads}$ , a válvula entre o evaporador e o leito será aberta. O adsorvente adsorverá o refrigerante dentro do evaporador e a pressão será controlada pela pressão de evaporação. Assim, o processo pode ser analisado por um processo isobárico com uma pressão de  $p_{ev}$ . Este processo será concluído quando o adsorvente for restaurado para o estado A [14].

### 3. METODOLOGIA

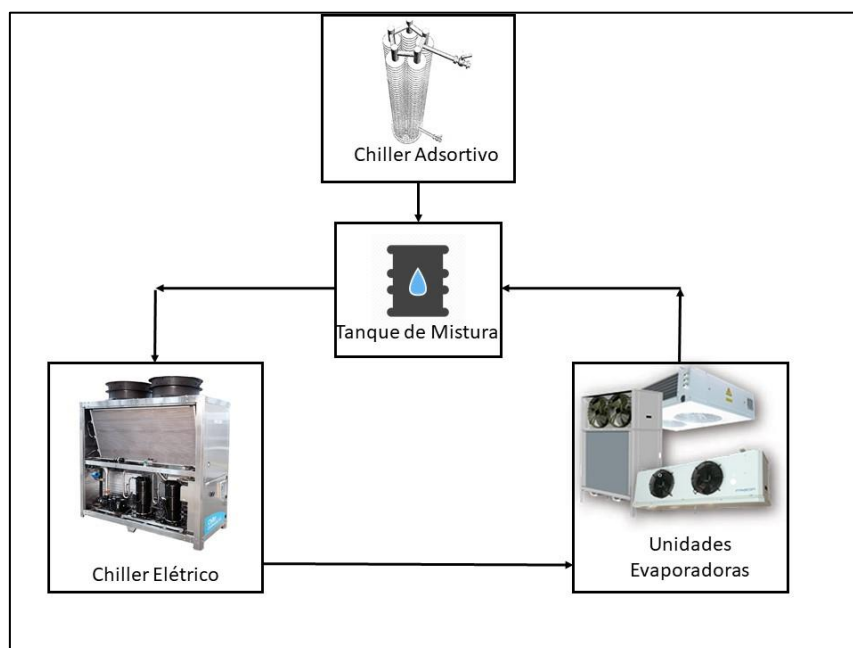
#### 3.1. Sistema Híbrido

O sistema híbrido pensado pretende adaptar um tanque de mistura na linha de retorno de água vindo das unidades evaporadoras do sistema de refrigeração. O tanque mistura a água do circuito em si com a água proveniente de um leito adsorativo. Na dessorção do leito do *chiller* adsorativo, há a produção de água gelada, que tem uma autonomia baseada na quantidade em kg

que se tem de adsorvente, no caso, sílica gel. O tempo do ciclo depende do arranjo do leito de adsorção. Ou seja, um leito de adsorção com uma quantidade  $x$  em kg de sílica gel que vai ser saturada por um adsorbato (no caso água), durante um certo tempo, irá resultar na produção de uma certa vazão de água gelada para cair no tanque de mistura.

O resultado da mistura térmica da água com temperatura amena que sai do reservatório isolado, segue para o *chiller* elétrico objetivando rebaixar a temperatura da água de entrada do equipamento, segundo a figura 04.

Figura 04 - Diagrama representativo do sistema



Fonte: Do Autor

O trabalho do *chiller* elétrico é dado pela capacidade do equipamento de abaixar a temperatura maior da água  $t_{entrada\ ce}$ , devido ao calor proveniente das unidades evaporadoras do sistema, para uma temperatura menor  $t_{saída\ ce}$ , de acordo com a equação 01.

$$W = \dot{Q} = \dot{m} * c * (t_{entrada\ ce} - t_{saída\ ce}) \quad (\text{Eq. 01})$$

Onde:

$W$  = trabalho (J);

$Q$  = consumo de energia (J/s);

$m$  = vazão mássica (g/s);

$c$  = calor específico da água (J/g \* °C);



$t_{\text{entrada ce}}$  = temperatura de entrada da água no *chiller* elétrico (°C);

$t_{\text{saída ce}}$  = temperatura de saída da água no *chiller* elétrico (°C);

Tendo em vista que a vazão do sistema é constante e fixando a temperatura da água de saída do equipamento, se a nova temperatura da água de entrada do equipamento  $t'_{\text{entrada ce}}$  for menor que  $t_{\text{entrada ce}}$  (Eq. 02), tanto a diferença entre  $t'_{\text{entrada ce}}$  e  $t_{\text{saída ce}}$  (Eq. 03), como o trabalho do equipamento diminuem (Eq. 04), economizando energia. Podendo ser demonstrado de acordo com as equações 02, 03 e 04 a seguir:

Se:

$$t'_{\text{entrada ce}} < t_{\text{entrada ce}} \quad (\text{Eq. 02})$$

Substituindo:

$$W' = \dot{Q}' = \dot{m} * c * (t'_{\text{entrada ce}} - t_{\text{saída ce}}) \quad (\text{Eq. 03})$$

Portanto:

$$W' < W \quad (\text{Eq. 04})$$

### 3.2. *Chiller* Adsorativo

Para o estudo do balanço energético do sistema híbrido, foi utilizado a simulação numérica desenvolvida por Vieira (2012), onde é modelada, matematicamente, os componentes do leito adsorativo, bem como o condensador e o evaporador de um *chiller* adsorativo. Para o leito, é utilizado o adsorvente sílica-gel, em quantidade de 30 kg, e adsorbatos água. A modelagem matemática foi validada por Y. L. Liu (2005) e pode ser chegar aos seguintes resultados.

Tabela 01 – Especificações Técnicas do *Chiller* Adsorativo

Características	Valores
Quantidade de Adsorvente	30 kg
Área de Troca Térmica	34,5 m <sup>2</sup>
Temperatura de Regeneração do Leito	90°C
Vazão de Produção de Água Gelada	108 kg/h
Temperatura no evaporador	10 ° C
Tempo do Ciclo de Sorção Dessorção	28 minutos

Fonte: [15]

Para obtenção dos resultados, o coeficiente de performance (COP) do equipamento adsorptivo foi relacionado com a 1ª lei da termodinâmica, que se caracteriza pelo princípio da conservação de energia, não havendo perdas. Durante o processo de adsorção e dessorção Vieira (2012) fez algumas considerações:

- O processo é considerado estático;
- A pressão é uniforme em qualquer ponto do leito adsorptivo para cada instante de tempo;
- A distribuição de temperatura no adsorvente é uniforme a cada instante de tempo;
- O leito adsorptivo, em presença de vapor do adsorbato, é tratado como um sólido contínuo e homogêneo.

### 3.3. *Chiller* elétrico

O *Chiller* elétrico utilizado foi retirado de um catálogo da fabricante brasileira de engenharia térmica Mecalor. O modelo escolhido é o MCA-3 e suas especificações técnicas estão de acordo com a tabela 02 abaixo.

Tabela 02 – Especificações Técnicas do *Chiller* Elétrico

Modelo	MCA-3
Capacidade Nominal	3000 kcal/h
Potencia em Regime	2,1 KW
Potência Instalada	3,5 KVA
Largura	490 mm
Comprimento	660 mm
Altura	870 mm
Bomba em Processo	0,8 m <sup>3</sup> /h
Bomba em Processo	24 mca
Reservatório de Água	20 L
Ar de Condensação	2400 m <sup>3</sup> /h
Diâmetro da Tubulação	¾"
Peso	150 kg

Fonte: [17]

De acordo com a fabricante, os dados tabelados estão em função de algumas considerações:

- Temperatura ambiente: 27 °C;
- Temperatura da água de retorno: 14 °C;
- Temperatura da água de saída: 10 °C;
- Potência ativa com o equipamento operando a 100% da capacidade.

#### 4. RESULTADOS E DISCUÇÕES

O COP ideal do *chiller* elétrico, baseado na 1ª lei da termodinâmica pode ser dado através da relação das temperaturas fria e quente provenientes do condensador do equipamento, segundo a equação 05:

$$COP_{ideal} = \frac{t_{saída\ ce}}{t_{entrada\ ce} - t_{saída\ ce}} \quad (\text{Eq. 05})$$

Onde:

$COP_{ideal}$  = coeficiente de performance ideal;

Com dados catalogados do *chiller* elétrico, temos:

$$COP_{ideal} = \frac{10^{\circ}C (+273)}{14^{\circ}C (+273) - 10^{\circ}C (+273)} \quad (\text{Eq. 06})$$

$$COP_{ideal} = 70,75 \quad (\text{Eq. 07})$$

Além do COP pode se calcular o trabalho do equipamento através da equação 08:

$$W = \dot{m} * c * \Delta t \quad (\text{Eq. 08})$$

$$W = (222 \frac{g}{s}) * (4,18 \frac{J}{g^{\circ}C}) * (4^{\circ}C) \quad (\text{Eq. 09})$$

$$W = 3711,84 W (3,7 KW) \quad (\text{Eq. 10})$$

A equação 11 representa o balanço energético do sistema para achar a temperatura de saída da água do tanque de mistura:

$$t'_{entrada\ ce} \dot{m}_{entrada\ ce} = (t_{entrada\ ce} \dot{m}_{retorno}) + (t_{saída\ ca} \dot{m}_{saída\ ca}) \quad (\text{Eq. 11})$$

Onde:

$\dot{m}_{entrada\ ce}$  = vazão mássica de entrada no *chiller* elétrico (kg/h);

$m_{\text{retorno}}$  = vazão mássica de retorno do *chiller* elétrico (kg/h);

$t_{\text{saída ca}}$  = temperatura de saída da água do *chiller* adsorativo (°C);

$m_{\text{saída ca}}$  = vazão mássica de saída no *chiller* adsorativo (kg/h).

Substituindo:

$$(t'_{\text{entrada ce}} \text{ } ^\circ\text{C}) * (800 \text{ kg/h}) = [(14 \text{ } ^\circ\text{C}) * (800 - 108 \text{ kg/h})] + [(10 \text{ } ^\circ\text{C}) * (108 \text{ kg/h})] \quad (\text{Eq. 12})$$

$$t'_{\text{entrada ce}} = 13,46^\circ\text{C} \quad (\text{Eq. 13})$$

Com a nova temperatura de entrada no sistema proveniente do tanque de mistura, pode-se calcular o novo COP ( $COP'_{\text{ideal}}$ ), que o *chiller* elétrico irá alcançar, sendo maior que  $COP_{\text{ideal}}$ , significando uma melhora de rendimento no equipamento:

$$COP'_{\text{ideal}} = \frac{10^\circ\text{C} (+273)}{13,46^\circ\text{C} (+273) - 10^\circ\text{C} (+273)} \quad (\text{Eq. 14})$$

$$COP_{\text{ideal}_{\text{com tm}}} = 81,79 \quad (\text{Eq. 15})$$

O novo trabalho  $W'$  realizado pelo equipamento estará de acordo com:

$$W' = (222 \text{ g/s}) * (4,18 \frac{\text{J}}{\text{g}^\circ\text{C}}) * (3,46 \text{ } ^\circ\text{C}) \quad (\text{Eq. 16})$$

$$W' = 3210,74 \text{ W} (3,2 \text{ KW}) \quad (\text{Eq. 17})$$

## 5. CONCLUSAO

Observando a tabela 03, pode-se notar um aumento no COP equivalente a 11,04 e uma redução de 501,10 W no consumo do *chiller* elétrico. Resultados calculados através da modelagem matemática do sistema híbrido, realizando o balanço energético das variáveis termodinâmicas da junção de ambos os chillers.

Tabela 03 – Resultados Obtidos

Dados do sistema sem o tanque de mistura	Dados do sistema com o tanque de mistura
COP (ideal) = 70,75	COP (ideal) = 81,79
Trabalho = 3711,84 W	Trabalho = 3210,74 W

Fonte: Do Autor

A economia energética obtida foi de aproximadamente 14%. Essa economia a longo prazo, segundo Andersen (2017), se aplicada a todos os chillers centrífugos dos EUA, seria equivalente a redução de emissões anuais de certos gases poluentes ao meio ambiente. Essa redução seria de:

- 8.500.000 toneladas de dióxido de carbono;
- 64.000 toneladas de dióxido de enxofre;
- 27.000 toneladas de óxido de nitrogênio.

A redução dessas emissões, representaria, na prática, a tirar da rua de 2 milhões de carros ou plantar aproximadamente 500 milhões de árvores por ano. O benefício da redução nas emissões se dá pelo fato de que, em países como a China, o abastecimento de energia vem de usinas termelétricas que tem sua matriz baseada na utilização de carvão [18].

Esse trabalho é de cunho teórico, podendo ter sua aplicação validada com a construção de um protótipo do sistema híbrido. A construção do modelo, possibilitaria a obtenção dos dados reais da economia de energia e do melhoramento do COP, levando em consideração as perdas termodinâmicas do protótipo.

## REFERÊNCIAS

1. REFRIGERAÇÃO. Disponível em:  
<[https://docs.ufpr.br/~rudmar/refri/material/1\\_INTRODUCAO.pdf](https://docs.ufpr.br/~rudmar/refri/material/1_INTRODUCAO.pdf)>. Acesso em: 07 nov. 2018.
2. ASHRAE. **Air-Conditioning Systems Design Manual**. 1993.
3. [15] CAMPANHOLA, Filipe P.. Avaliação de Sistemas de Condicionamento de Ar para Salas de Prédio Público. Disponível em:  
<[http://repositorio.ufsm.br/bitstream/handle/1/1363/Campanhola\\_Filipe\\_Possatti.pdf?sequence=1&isAllowed=y](http://repositorio.ufsm.br/bitstream/handle/1/1363/Campanhola_Filipe_Possatti.pdf?sequence=1&isAllowed=y)>. Acesso em: 12 maio 2018.
4. A GERADORA,. **O Que É Chiller e Quais Os Seus Benefícios?** Disponível em:  
<<https://www.ageradora.com.br/o-que-e-chiller-e-quais-os-seus-beneficios/>>. Acesso em: 07 mar. 2018.
5. DIAMONT. **Sistemas de Refrigeração: Expansão Direta vs. Expansão Indireta**. Disponível em: <<http://diamont.com.br/sistemas-de-refrigeracao-expansao-direta-vs-expansao-indireta/>>. Acesso em: 13 nov. 2018.
6. VAN WYLEN, Gordon; SONNTAG, Richard; BORGNAKKE, Claus. **Fundamentos da Termodinâmica Clássica**. São Paulo: Edgard Blücher, 1995.
7. USP, Escola Politécnica da. **Termodinâmica: Ciclos de Refrigeração**. Disponível em:  
<[https://edisciplinas.usp.br/pluginfile.php/322606/mod\\_resource/content/2/12%20-%20Ciclos%20de%20refrigerac%CC%A7a%CC%83o\\_2015.pdf](https://edisciplinas.usp.br/pluginfile.php/322606/mod_resource/content/2/12%20-%20Ciclos%20de%20refrigerac%CC%A7a%CC%83o_2015.pdf)>. Acesso em: 22 out. 2018.
8. TECNOGERA. **O QUE É UM SISTEMA DE REFRIGERAÇÃO CHILLER?** Disponível em:  
<<https://www.tecnogera.com/blog/o-que-e-um-sistema-de-refrigeracao-chiller/>>. Acesso em: 07 nov. 2018.
9. DANFOSS. **Chillers**. Disponível em:  
<<http://refrigerationandairconditioning.danfoss.com.br/applications/chillers/#/>>. Acesso em: 07 out. 2018.
10. VODIANITSKIA, Paulo José. **Estudo teórico e experimental de um chiller a adsorção para sistema de ar condicionado solar**. 2016. 114 f. Tese (Doutorado) - Curso de Engenharia Mecânica, Universidade Federal da Paraíba, João Pessoa, 2016.

11. J. F. ESCOBEDO. **Refrigeração com o uso de Energia Solar**, Inst. Física e Química São Carlos. 1987.
12. D. B. RIFFEL, F. A. BELO, E A. P. F. LEITE. **Ar condicionado solar por adsorção: Fundamentos e estado da arte**, I CBENS - I Congr. Bras. Energ. Sol., 2007.
13. R. G. OLIVEIRA, **Modelagem e Simulação de Um Sistema de Refrigeração por Adsorção para Produção de Gelo, Utilizando Energias Alternativas**.
14. WANG, Ruzhu; WANG, Liwei; WU, Jingyi. **ADSORPTION REFRIGERATION TECHNOLOGY: THEORY AND APPLICATION**. Shanghai: John Wiley & Sons Singapore Pte. Ltd, 2014.
15. VIEIRA, Herbert Melo; AMORIM, Joselma Araújo de; SILVA, Márcio Gomes da. **EFICIÊNCIA ENERGÉTICA E EXERGÉTICA DE UM SISTEMA DE REFRIGERAÇÃO POR ADSORÇÃO**. Disponível em:  
<<http://propi.ifto.edu.br/ocs/index.php/connepi/vii/paper/viewFile/2700/2454>>. Acesso em: 22 set. 2018.
16. Y.L.Liu, R.Z. Wang, Z.Z. Xia. **Experimental study on a continuous adsorption water chiller with novel desingn**. Int. J. Refrig.28 (2005) 218 - 230.
17. MECALOR. **Chillers: Resfriamento de Processos Industriais**. Disponível em:  
<<https://mecalor.com.br/imagens/2015/08/mecalor-catalogo-chillers.pdf>>. Acesso em: 22 set. 2018. MECALOR. **Chillers: Resfriamento de Processos Industriais**. Disponível em:  
<<https://mecalor.com.br/imagens/2015/08/mecalor-catalogo-chillers.pdf>>. Acesso em: 22 set. 2018.
18. ANDRESEN, Stephen O; ZAELKE, Durwood. **Industry Genius**. Austin: Greenleaf, 2017.