

Sistema de condicionamento de ar por dessecante sólido com utilização de energia solar ou residual como fonte de calor de regeneração

Air conditioning system by solid desiccant using solar or residual energy as a source of regeneration heat

DOI:10.34117/bjdv8n4-403

Recebimento dos originais: 21/02/2022

Aceitação para publicação: 31/03/2022

Juliana Morato Lins e Silva

Mestre em Engenharia em Gestão de Processos e Sistemas pela Faculdade IETEC
Instituição: Instituto de Educação Tecnológica Instituição: Faculdade IETEC - Instituto de Educação Tecnológica

Endereço: Rua Tomé de Souza, 165 -Savassi, Belo Horizonte –MG, Brasil
E-mail: julianamoratols@gmail.com

Wanyr Romero Ferreira

Doutora em Engenharia de Energia pela Université Paul Sabatier, Toulouse (França)
Instituição: Instituto de Educação Tecnológica

Endereço: Rua Tomé de Souza, 165 -Savassi, Belo Horizonte –MG, Brasil
E-mail: wanyr@terra.com.br

RESUMO

A eficiência energética em edifícios e residências é hoje objetivo primordial para a política energética a nível nacional e internacional. Apresentam-se, neste artigo, uma revisão de modelos de condicionamento de ar por roda dessecante com utilização de energia solar ou energia residual como fonte de calor de regeneração. Apresenta-se, também, a modelagem físico-matemático do desumidificador dessecante rotativo. Discutem-se as vantagens de utilizar o sistema de ar-condicionado dessecante giratório pois este combina as tecnologias de desumidificação dessecante e resfriamento evaporativo. Além do mais, é livre de CFCs, usa pouca energia térmica que pode ser diversificada (energia solar e/ou calor residual) e controla a umidade e a temperatura separadamente. Trabalhos de pesquisa recentes sugerem que novos materiais dessecantes e suas configurações possuem um potencial significativo para melhorar o desempenho e a confiabilidade do processo, reduzindo o custo e o tamanho do sistema de desumidificação e ar condicionado com desumidificadores rotativos, aumentando assim a sua competitividade no mercado.

Palavras-chave: roda dessecante, refrigeração, calor de regeneração, energia solar.

ABSTRACT

Energy efficiency in buildings and residences is today primary objective for energy policy at national and international level. This article presents a review of desiccant wheel air conditioning models using solar energy or residual energy as a source of regeneration heat. The physical-mathematical modeling of the rotary desiccant dehumidifier is also presented. The advantages of using the rotary desiccant air conditioning system are discussed as it combines desiccant dehumidification and evaporative cooling technologies. Furthermore, it is CFC-free, uses thermal energy that can be diversified

(solar energy and/or residual heat) and controls humidity and temperature separately. Recent research works suggest that new desiccant materials and their configurations have significant potential to improve process performance and reliability reducing the cost and size of the dehumidification and air conditioning system with rotary dehumidifiers, thus increasing its competitiveness in the market.

Keywords: desiccant wheel, refrigeration, regeneration heat, solar energy.

1 INTRODUÇÃO

Um condicionador de ar convencional consome grande quantidade de energia elétrica, especialmente em condições climáticas quentes e úmidas, devido à alta carga latente que é definida pelas condições externas (TIWARI, 2015). Além disso, utiliza refrigerantes prejudiciais ao meio ambiente e consome energia primária de forma ineficiente (JANI; DEEP; SOHAM, 2018).

A baixa eficiência exergética dos sistemas de condicionamento de ar convencionais, impactos ambientais negativos e esgotamento das reservas de combustíveis fósseis reforçam a necessidade de técnicas alternativas que empregam efetivamente fontes renováveis de energia térmica de baixa qualidade (RAFIQUE *et al.*, 2016).

A necessidade por sistemas de refrigeração com maior eficiência energética e menos propensos a poluir o meio ambiente levou ao desenvolvimento de sistemas usando uma roda dessecante (NETI; WOLFE, 2000). O condicionamento de ar por dessecante é uma tecnologia atraente porque é livre de CFCs que diminuem a camada de ozônio (JANI; DEEP; SOHAM, 2018).

A roda dessecante possui uma seção de regeneração do adsorvente, na qual utiliza-se calor de fontes diversas tais como: bomba de calor (TU, WANG e Ge, 2018; HUA; GE; WANG, 2019), energia solar (GAGLIANO *et al.*, 2014; HASSAN, 2014) e calor residual de atividades industriais (JANI; MISHRA; SAHOO, 2016). O uso de fontes de calor renováveis, como a energia solar térmica reduz o consumo de eletricidade como também alcança economia substancial de energia fóssil (JANI; MISHRA; SAHOO, 2016).

Este trabalho tem como objetivo fazer uma revisão do sistema de condicionamento de ar por roda dessecante com utilização de energia solar ou energia residual como fonte de calor de regeneração e apresentar a Modelagem físico-matemático do desumidificador dessecante rotativo.

2 SISTEMAS DE CONDICIONAMENTO DE AR POR RODA DESSECANTE

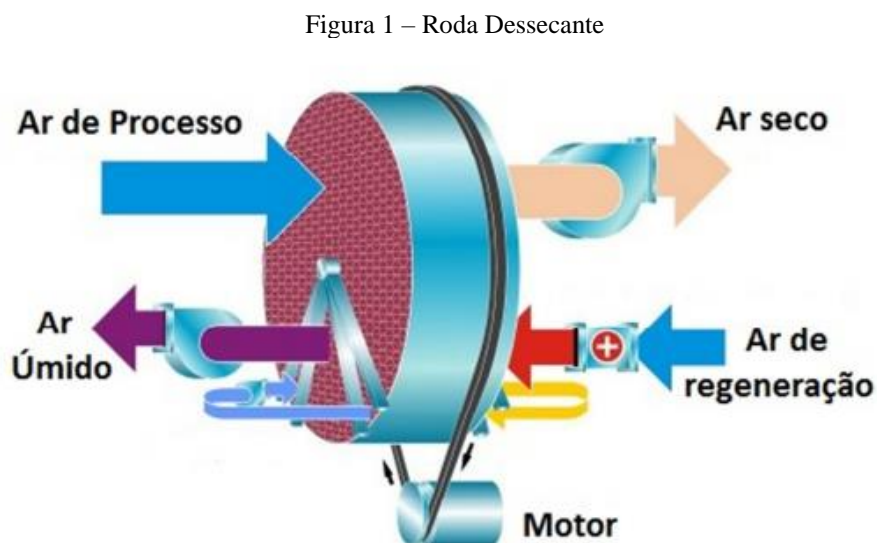
Roda dessecante consiste em numerosas passagens de ar que fornecem grandes áreas de superfície para transferência de massa entre o ar e o dessecante (NETI; WOLFE, 2000).

2.1 SISTEMA DE RESFRIAMENTO EVAPORATIVO

A roda dessecante é dividida em duas seções iguais (NIA; VAN PAASSEN; SAIDI, 2006):

- a) seção adsorvente ou de processo é onde ocorre a adesão de moléculas de um fluido (o adsorvido) a uma superfície sólida (o adsorvente);
- b) seção de regeneração é onde ocorre a dessorção de vapor de água - fenômeno de retirada de substância(s) adsorvida(s) ou absorvida(s) pelo dessecante.

Um esboço da configuração da roda dessecante é mostrado na Figura 1.



Fonte: BELLEMO *et al.*, 2014.

O fluxo de ar a ser desumidificado flui através da seção de processo, enquanto a corrente de ar de regeneração flui através da seção de regeneração em direção oposta. Um pequeno motor elétrico faz a roda girar, ou seja, todos os canais se movem continuamente entre as duas seções (BELLEMO *et al.*, 2014).

Os benefícios de utilizar o desumidificador dessecante são o aumento do conforto devido aos controles independentes de umidade e de temperatura, melhoria da qualidade do ar interior, e os desumidificadores são livres de CFCs. Os principais fatores para escolher os dessecantes sólidos são a temperatura regenerativa, a durabilidade e a capacidade de adsorção (DEMIDOVA, 2013). A sílica gel é um dos adsorventes mais comuns por possuir inúmeras vantagens, como poros maiores, maior área de superfície e excelente capacidade de desumidificação (ZOUAOUI; ZILI-GHEDIRA; BEN NASRALLAH, 2015).

2.2 MODELAGEM FÍSICO-MATEMÁTICO DO DESUMIDIFICADOR DESSECANTE ROTATIVO

No sistema de resfriamento dessecante sólido, o desempenho do desumidificador dessecante rotativo é crítico para a capacidade, tamanho e custo operacional de todo o sistema (JANI; MISHRA; SAHOO, 2016).

Nia, Van Paassen e Saidi (2006) apresentaram um trabalho que tinha como objetivo desenvolver e obter soluções para um modelo envolvendo transferência de calor e massa em um dessecador rotatório para estudar o desempenho de um sistema dessecador de ar condicionado. As equações apresentadas foram estudadas de forma a correlacionar as funções de temperatura e umidade com as condições de entrada de componentes em ciclos de ar-condicionado.

O desumidificador é uma roda cilíndrica rotativa de comprimento L e raio R com pequenos canais, cujas paredes são aderidas pelo adsorvente sílica em gel. É dividido em duas seções iguais: a seção adsorvente e a seção de regeneração. O esquema de um dessecador rotatório está ilustrado na Figura 1 e a análise é baseada nos seguintes pressupostos (NIA; VAN PAASSEN; SAIDI, 2006):

- a) condução de calor axial e difusão de vapor de água no ar são insignificantes;
- b) difusão molecular axial dentro do dessecante é insignificante;
- c) não há gradiente radial de temperatura ou umidade na matriz;
- d) a histerese na isoterma de sorção para o revestimento dessecante é negligenciada e o calor da sorção é assumido constante;
- e) os canais que compõem a roda são idênticos ao calor constante e áreas de superfície de transferência de massa;

- f) propriedades térmicas e de umidade da matriz (suporte material / dessecante e água adsorvida) são constantes;
- g) os canais são considerados adiabáticos e impermeáveis;
- h) os coeficientes de transferência de massa e calor são constantes;
- i) o calor de adsorção por quilograma de água adsorvida é constante;
- j) o transporte entre dois fluxos de ar é negligenciado.

2.3 EQUAÇÃO DE TRANSFERÊNCIA DE MASSA PARA O FLUXO DE AR

A transferência de massa no fluxo de ar é dada por:

$$\frac{d\left(\rho_g \frac{\rho_v}{\rho_g} A_g L\right)}{dt} = U_g A_g \rho_g (\omega_i - \omega_o) + h_m A_c (\omega_s - \omega) \quad (1)$$

em que:

- ρ_g = densidade do ar, kg/m³
- ρ_v = densidade do vapor de água, kg/m³
- A_g = área de seção transversal para fluxo de ar, m²
- L = profundidade do rotor, m²
- U_g = velocidade do ar, m/s
- ω_i = taxa de umidade inicial, kg/kg
- ω_o = taxa de umidade final, kg/kg
- h_m = coeficiente de transferência de massa, kg/m²/s
- A_c = área de interface em um canal, m²
- ω_s = taxa de umidade de saturação, kg/kg
- ω = taxa de umidade, kg/kg

Considerando D_h o diâmetro hidráulico e d_t a espessura do revestimento do dessecante (m),

$$\omega = \frac{\rho_v}{\rho_g} \quad (2)$$

$$\frac{A_c}{A_g} = \frac{2L}{\frac{D_h}{2}} \quad (3)$$

e sabendo-se que a equação pode ser escrita como:

$$\frac{d\omega}{dt} = \frac{U_g}{L} (\omega_i - \omega_o) + \frac{h_m A_c}{\rho_g A_g L} (\omega_s - \omega) \quad (4)$$

Tomando C_1 e C_2 como

$$C_1 = \frac{U_g}{L} \quad \text{e} \quad C_2 = \frac{h_m A_c}{\rho_g L A_g} \quad (5)$$

a equação (4) fica:

$$\frac{d\omega}{dt} = C_1(\omega_i - \omega_o) + C_2(\omega_s - \omega) \quad (6)$$

2.4 EQUAÇÃO DE TRANSFERÊNCIA DE CALOR PARA O FLUXO DE AR

$$\frac{d(\rho_g A_g L C_g T_g)}{dt} = \rho_g U_g A_g C_g (T_{gi} - T_{go}) + h A_c (T_s - T_g) \quad (7)$$

em que:

- C_g = calor específico isobárico do gás, J / kg K
- T_g = temperatura do gás, °C
- T_{gi} = temperatura inicial do gás, °C
- T_{go} = temperatura final do gás, °C
- T_s = temperatura de saturação do gás, °C
- h = coeficiente de transferência de calor, W/m²/K

A equação (7) pode ser escrita como:

$$\frac{dT_g}{dt} = C_1(T_{gi} - T_{go}) + C_3(T_s - T_g) \quad (8)$$

em que:

$$C_3 = \frac{h A_c}{\rho_g L A_g C_g} \quad (9)$$

2.5 EQUAÇÃO DE TRANSFERÊNCIA DE MASSA PARA O SÓLIDO DESSECANTE

$$\frac{d(\rho_d w A_d L)}{dt} = h_m A_c (\omega - \omega_s) \quad (10)$$

em que:

ρ_d = densidade do dessecante, kg/m³

w = teor de água do material dessecante, kg/kg

A_d = área de seção transversal para a camada dessecante em um canal, m²

O teor de água do material dessecante, w , é dado por

$$\frac{\rho_{vd}}{\rho_d} = w \quad (11)$$

$$\frac{dw}{dt} = \frac{h_m A_c}{\rho_d A_d L} (\omega - \omega_s) \quad (12)$$

sendo ρ_{vd} a densidade do vapor de água do dessecante, em kg m⁻³

Para ter as equações de acordo com as variáveis ω_s , T_s , ω , T , partimos de:

$$dw = \frac{\partial w}{\partial \omega} \frac{\partial \omega}{\partial \omega_s} d\omega_s + \left(\frac{\partial w}{\partial \omega} \frac{\partial \omega}{\partial T_s} + \frac{\partial w}{\partial T_s} \right) dT_s \quad (13)$$

ou

$$dw = S1(\omega_s, T_s) d\omega_s + S2(\omega_s, T_s) dT_s \quad (14)$$

$$S1(\omega_s, T_s) = \frac{\partial w}{\partial \omega} \frac{\partial \omega}{\partial \omega_s}, \quad S2(\omega_s, T_s) = \left(\frac{\partial w}{\partial \omega} \frac{\partial \omega}{\partial T_s} + \frac{\partial w}{\partial T_s} \right) \quad (15)$$

Então, a equação de transferência de massa para camada de dessecante se torna:

$$\frac{d\omega_s}{dt} = - \frac{S2(\omega_s, T_s)}{S1(\omega_s, T_s)} \frac{dT_s}{dt} + \frac{h_m A_c}{\rho_d A_d L S1(\omega_s, T_s)} (\omega - \omega_s) \quad (16)$$

$$= - \frac{S2(\omega_s, T_s)}{S1(\omega_s, T_s)} \frac{dT_s}{dt} + \frac{C_4}{S1(\omega_s, T_s)} (\omega - \omega_s)$$

sendo,

$$C_4 = \frac{h_m A_c}{\rho_d L A_d} \quad (17)$$

$$\frac{A_c}{A_d} = \frac{4D_h L}{(D_h + d_t)^2 - D_h^2} \quad (18)$$

$$h_m = \frac{h}{C_g Le} \quad (19)$$

Le é o número de Lewis, adimensional, que em geral é assumido igual a 1.

2.6 EQUAÇÃO DE TRANSFERÊNCIA DE CALOR PARA A CAMADA DE SÓLIDO DESSECANTE

A transferência de calor para o dessecante é dada por:

$$\frac{d(\rho_d A_d L C_d T_s)}{dt} = q_{st} \rho_d A_d L \frac{dw}{dt} + h A_c (T_g - T_s) \quad (20)$$

C_d = calor específico isobárico do dessecante, J/kg K
 q_{st} = calor de adsorção, J/kg

A eq. (20) pode ser escrita como:

$$\frac{dT_s}{dt} = \frac{h_m A_c q_{st}}{\rho_d A_d L C_d} (\omega - \omega_s) + \frac{h A_c}{C_d \rho_d A_d L} (T_g - T_s) \quad (21)$$

considerando

$$C_5 = \frac{q_{st}}{C_d} \quad \text{e} \quad C_6 = \frac{h A_c}{C_d \rho_d L A_d} \quad (22)$$

A equação (21) fica:

$$\frac{dT_s}{dt} = C_4 C_5 (\omega - \omega_s) + C_6 (T_g - T_s) \quad (23)$$

A umidade relativa e a pressão de saturação podem ser calculadas por:

$$\varphi = \frac{\omega_s P_0}{(0.622 + \omega_s) P_s} \quad (24)$$

$$P_s = 10^6 P_0 \exp\left(\frac{5294}{T_s}\right) \frac{(1 + 1.61 \omega_s)}{(0.622 + \omega_s)} \quad (25)$$

φ = umidade relativa

P_0 = pressão, Pa

P_s = pressão de saturação, Pa

3 CICLOS DE RESFRIAMENTO POR DESSECANTE SÓLIDO

As configurações possíveis e a composição de cada um dos quatro componentes podem variar de acordo com a natureza do dessecante empregado como descrito a seguir.

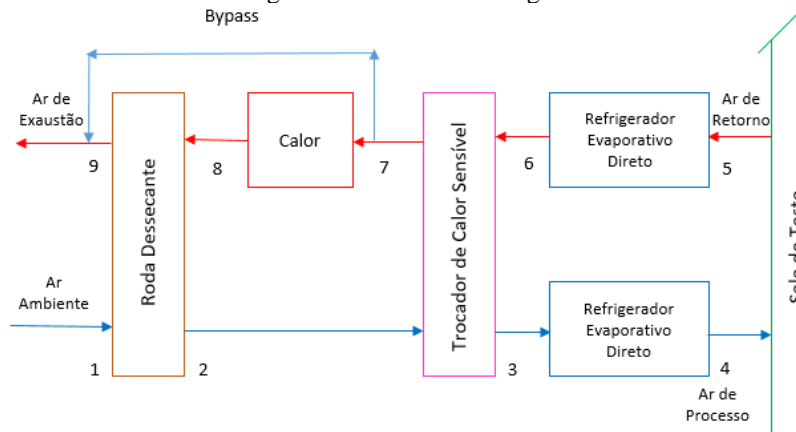
3.1 CICLO DE PENNINGTON

A Figura 2 representa o esquema do ciclo de Pennington. O ar ambiente no ponto 1, que é o ar de processo, passa por uma roda dessecante, onde sua umidade é removida e a temperatura aumenta devido ao efeito do calor de adsorção. Então o ar quente e seco é resfriado do ponto 2 ao ponto 3 em um trocador de calor sensível. Em seguida, é resfriado por evaporação em um resfriador evaporativo direto (DAOU; WANG; XIA, 2006).

No lado do ar de regeneração, o ar de retorno no ponto 5 é resfriado e umidificado em outro resfriador evaporativo direto e depois passa pelo trocador de calor onde recebe calor sensível do ar de processo que sai no ponto 7. Neste processo, a fonte de calor pode ser energia solar, combustível fóssil, energia elétrica ou energia de rejeito (DAOU; WANG; XIA, 2006).

A corrente de ar quente é então aquecida entre os pontos 7 e 8. Depois de regenerar o material dessecante na roda dessecante, o ar é exaurido no ponto 9 (DAOU; WANG; XIA, 2006).

Figura 2 - Ciclo de Pennington
Bypass

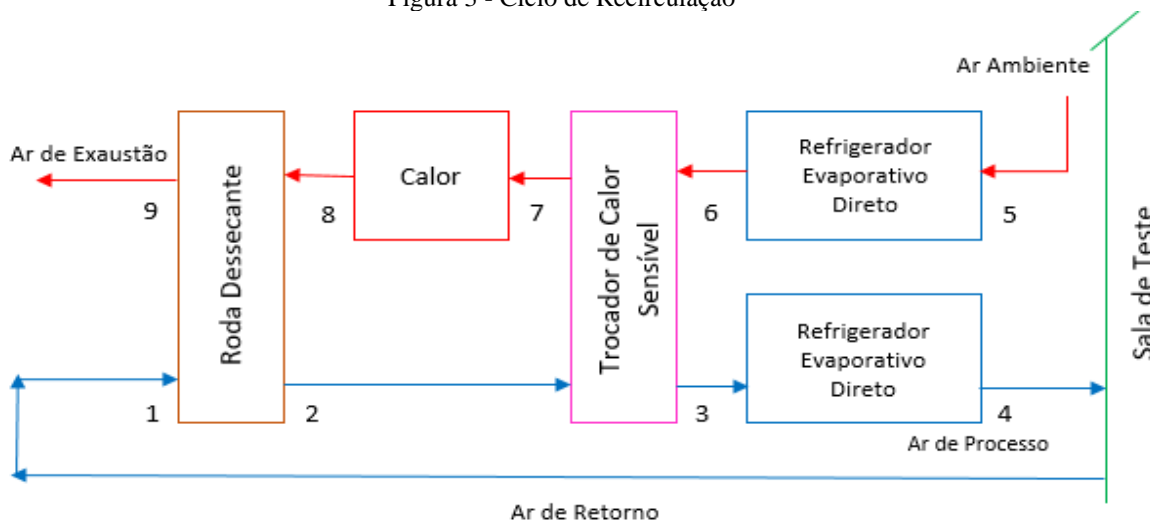


Fonte: DAOU; WANG; XIA, 2006.

3.2 CICLO DE RECIRCULAÇÃO

O Ciclo de Recirculação é utilizado para elevar a capacidade de refrigeração, e é uma forma modificada do ciclo de Pennington. Ele é projetado para reutilizar o ar de retorno da sala como entrada de ar do processo na roda dessecante (DAOU; WANG; XIA, 2006). A Figura 3 ilustra este ciclo. No ciclo de recirculação, o ar de retorno é recirculado através do desumidificador enquanto o ar externo é usado para a regeneração da roda dessecante (JAIN; DHAR; KAUSHIK, 1995).

Figura 3 - Ciclo de Recirculação

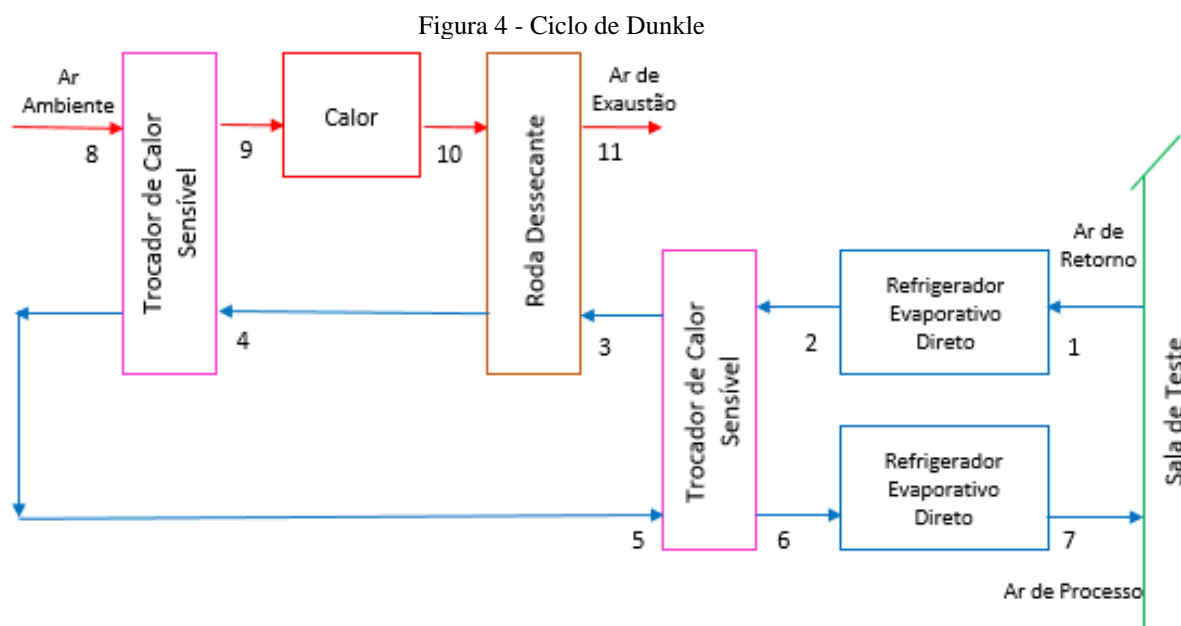


Fonte: DAOU; WANG; XIA, 2006.

3.3 CICLO DE DUNKLE

O Ciclo de Dunkle combina os méritos do ciclo de ventilação (Pennington) e do ciclo de recirculação.

A Figura 4 apresenta o esquema deste ciclo (JAIN; DHAR; KAUSHIK, 1995). Ele possui um trocador de calor sensível adicional para melhorar o desempenho do ciclo. Este trocador de calor (pontos 5 e 6 e 2 e 3) pode fornecer ar de processo mais frio. Uma grande quantidade de ar fresco ventilado que foi fornecida no ciclo de Pennington para condicionamento de ar além de conforto e saúde, também representa uma carga de resfriamento adicional. Em alguns casos, não é necessário que o ar ambiente seja a fonte de ar de processo para o sistema (JANI; MISHRA; SAHOO, 2016).



Fonte: JAIN; DHAR; KAUSHIK, 1995.

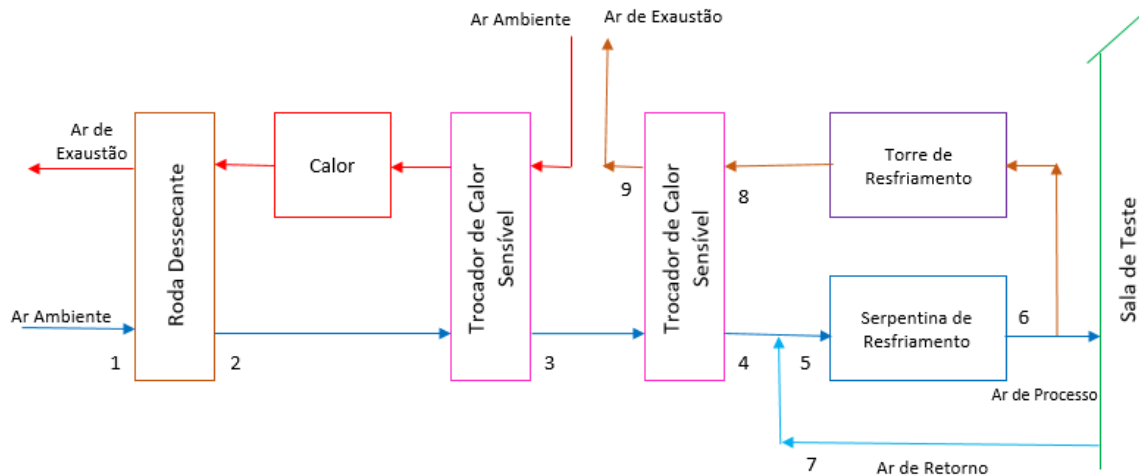
O ciclo de Dunkle também emprega 100% de recirculação. Na prática, isso não é desejável. Ar de ventilação (processo) pode, no entanto, ser facilmente adicionado ao ar de retorno. O ciclo de Dunkle tem melhor desempenho comparado aos ciclos de Pennington e de Recirculação em todas as condições climáticas (JAIN; DHAR; KAUSHIK, 1995).

3.4 CICLO SENS

LA *et al.* (2010) estudaram um ciclo chamado ciclo SENS que utiliza dessecante sólido. Como mostrado na Figura 5, o ar ambiente é primeiramente desumidificado na roda desseccante e depois resfriado por dois trocadores de calor sensíveis que estão conectados. Ele é resfriado ainda mais em uma serpentina de resfriamento, trocando calor com água fria de uma torre de resfriamento e em seguida, é misturado com certa quantidade de ar de retorno da sala. Depois, o ar de processo é dividido em duas partes,

sendo uma parte redirecionada para a torre de resfriamento e exaurida para o ambiente após a troca de calor com ar de processo em um trocador de calor sensível, e a outra parte fornecida ao espaço condicionado.

Figura 5 - Ciclo de SENS

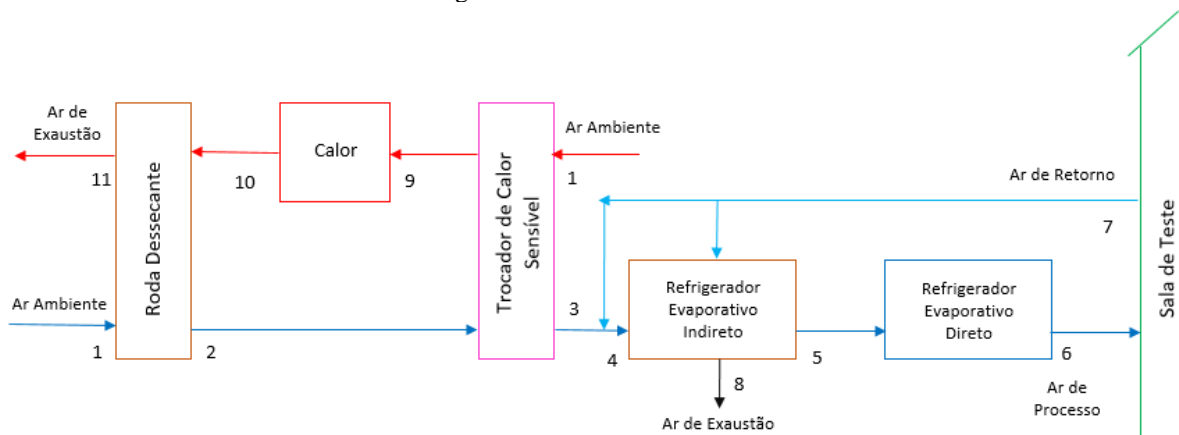


Fonte: LA *et al.*, 2010.

3.5 CICLO DINC

A Figura 6 mostra o ciclo de resfriamento evaporativo direto-indireto (DINC) no qual é feita pouca modificação sobre o ciclo SENS. A modificação que ocorre é a substituição do trocador de calor sensível, a torre de resfriamento e a serpentina de resfriamento por um resfriador evaporativo indireto e um resfriador evaporativo direto para evitar complexidade e simplificar a configuração do sistema (LA *et al.*, 2010).

Figura 6 - Ciclo DINC



Fonte: LA *et al.*, 2010.

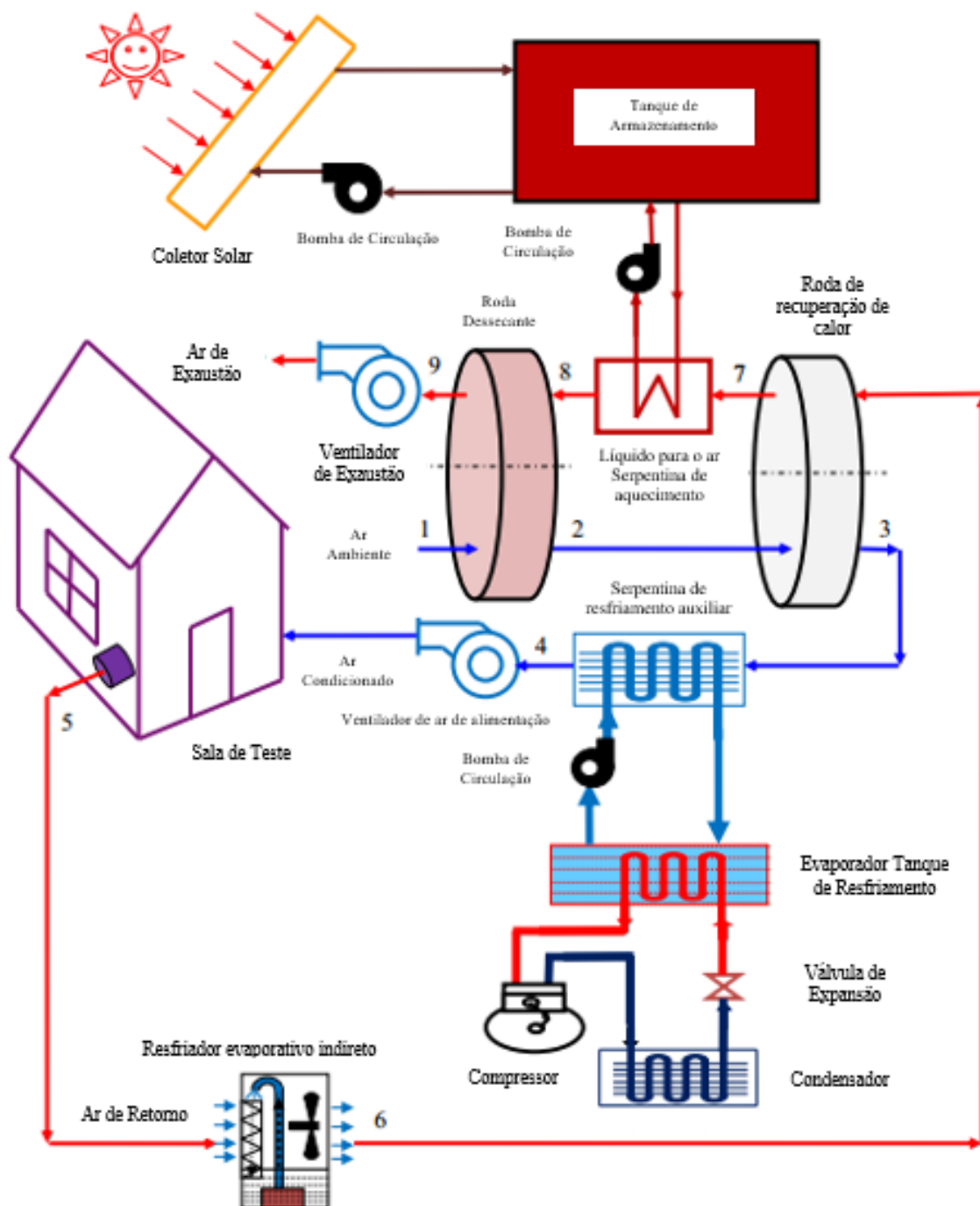
4 SISTEMAS QUE UTILIZAM ENERGIA SOLAR OU ENERGIA RESIDUAL COMO FONTE DE CALOR DE REGENERAÇÃO

Existem vários tipos de sistemas de condicionamento de ar por dessecante e suas diferentes instalações que estão disponíveis na literatura. Este trabalho apresenta o sistema que utiliza energia solar ou energia residual como fonte de calor de regeneração.

O uso de fontes de calor renováveis, como a energia solar térmica para a regeneração dos desumidificadores dessecantes sólidos reduz o consumo de eletricidade como também alcança economia substancial de energia fóssil. O aquecimento solar é interessante quando há demanda por resfriamento e, ao mesmo tempo grande disponibilidade de energia solar ((JANI; MISHRA; SAHOO, 2016).

O funcionamento do sistema de aquecimento solar inclui coletor solar, aquecedor de reserva, tanque de armazenamento, bomba de circulação e serpentina de aquecimento de líquido - ar. Os coletores solares convertem a radiação solar em energia térmica em sistemas de resfriamento dessecante solar. É necessário o aquecedor de reserva para quando a energia solar não for suficiente como em dias nublados e/ou chuvosos. Outra informação importante é que o dessecante é regenerado por energia solar térmica produzida por coletores de tubo a vácuo (GAGLIANO et al., 2014).

Figura 7 - Sistema de climatização por compressão de vapor dessecante sólido híbrido assistido por energia solar

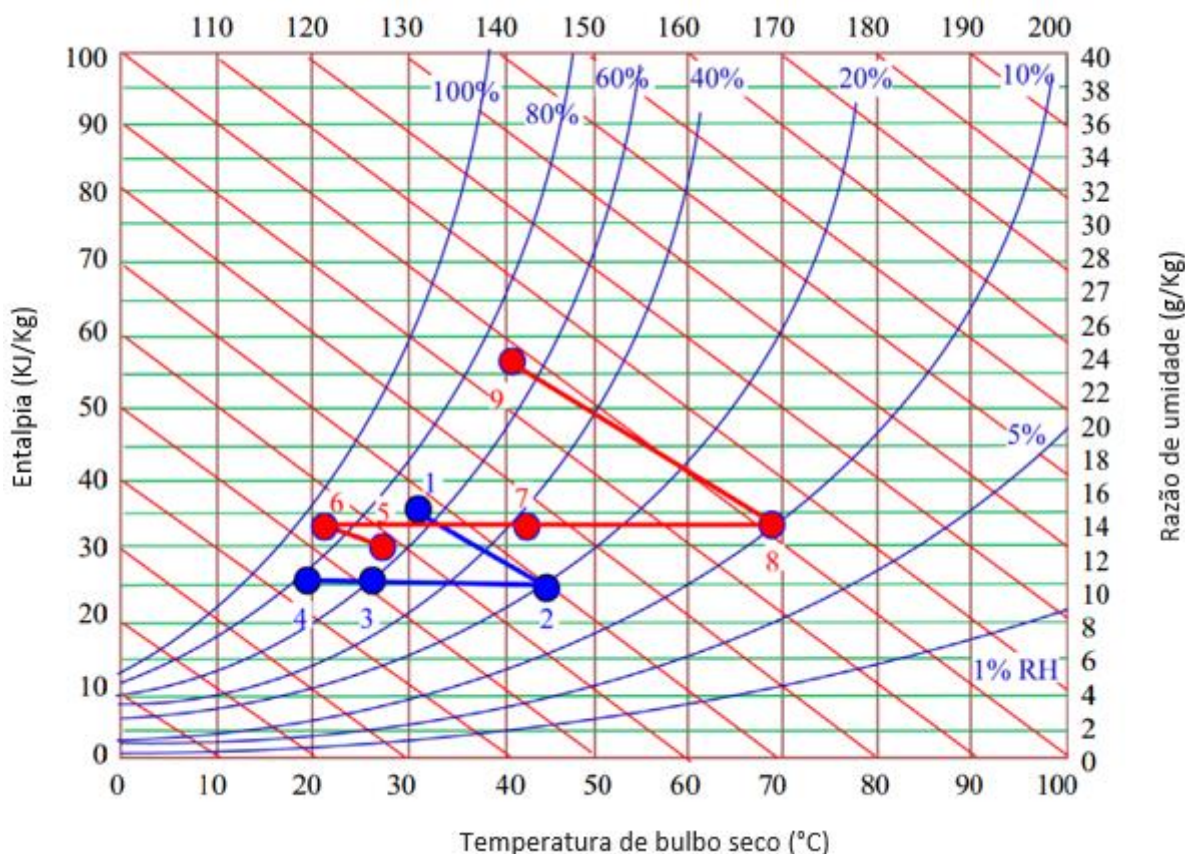


Fonte: JANI; MISHRA; SAHOO, 2016.

A Figura 8 mostra a representação psicrométrica do gráfico de ciclo de condicionamento de ar híbrido por compressão de vapor e dessecante sólido assistido por energia solar. Observa-se que a temperatura de regeneração necessária para o desumidificador dessecante é comparativamente baixa e pode ser eficientemente mantida pelos coletores solares térmicos. Não há desumidificação adicional necessária para atingir a taxa de umidade requerida, já que a taxa de umidade ambiente do ar externo é

comparativamente baixa. Não há necessidade de pós-aquecimento do ar fornecido, uma vez que a serpentina de resfriamento funciona a temperaturas mais elevadas do evaporador. A temperatura final do ar de processo é ajustada de acordo com a exigência de espaço condicionado por meio da serpentina de resfriamento auxiliar do refrigerador de compressão de vapor (JANI, MISHRA E SAHOO, 2016).

Figura 8 - Gráfico psicrométrico de ciclo de condicionamento de ar híbrido por compressão de vapor de dessecante sólido assistido por energia solar



Fonte: JANI; MISHRA; SAHOO, 2016.

5 CONCLUSÕES

Este trabalho apresentou o sistema que utiliza energia solar ou energia residual como fonte de calor de regeneração e concluiu-se que o resfriamento por dessecante sólido é uma abordagem de economia de energia bastante favorável ao meio ambiente dentro deste sistema de condicionamento de ar. Muitos pesquisadores conduziram seu estudo usando simulações e metodologias experimentais visando melhoria de eficiência em termos de energia e custo efetivo.

Esta é uma tecnologia que, apesar de ter sido proposta há muitos anos, apenas recentemente tem ganhado mais espaço nas pesquisas e aplicabilidade. A energia térmica é a principal fonte de energia em um sistema de resfriamento dessecante e pode ser oriunda de fontes não agressivas ao meio ambiente e com menores custos.

O uso de energia solar que é disponível gratuitamente ou o calor residual de processos industriais que é utilizado no processo de regeneração de material dessecante pode tornar o sistema mais rentável. Outro benefício é que o uso da energia solar ajuda a aliviar a alta demanda de pico de eletricidade causada pelo sistema convencional de condicionamento de ar por compressão de vapor.

REFERÊNCIAS

- BELLEMO, L. *et al.* General rights Steady state modeling of desiccant wheels Steady state modeling of desiccant wheels. *In: INTERNATIONAL SORPTION HEAT PUMP CONFERENCE*. p. 1 -11. 2014.
- DAOU, K.; WANG, R. Z.; XIA, Z. Z. Desiccant cooling air conditioning. A Review *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, v. 10, p. 55 - 77, 2006.
- DEMIDOVA, E. Desiccant cooling systems. n. December, p. 1–42, 2013.
- GAGLIANO, A. *et al.* Performance assessment of a solar assisted desiccant cooling system. **Thermal Science**, v. 18, n. 2, p. 563–576, 2014.
- HUA, L. J.; GE, T. S.; WANG, R. Z. Extremely high efficient heat pump with desiccant coated evaporator and condenser. **Energy Build**, v. 170, n. 4, p. 569 - 579, 2019.
- JAIN, S.; DHAR, P. L.; KAUSHIK, S. C. Evaluation of solid-desiccant-based evaporative cooling cycles for typical hot and humid climates. **International Journal of Refrigeration**, v. 18, n. 5, p. 287 - 296, 1995.
- JANI, D.B; DEEP, L.; SOHAM, P. A critical review on evaporative desiccant cooling. **International Journal of Innovative and Emerging Research in Engineering**. v. 5, n. 1, p. 24 - 29, 2018.
- JANI, D. B.; MISHRA, M.; SAHOO, P. K. Solid desiccant air conditioning: a state of the art review. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 60. p. 1451 - 1469, 2016. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.rser.2016.03.031>.
- LA, D. *et al.* Technical development of rotary desiccant dehumidification and air conditioning: a review. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 14, p.130 - 147, 2010.
- NETI, S.; WOLFE, E. I. Measurements of effectiveness in a silica gel rotary exchanger. **Applied Thermal Engineering**, v. 20, n. 4, p. 309 - 322, 2000.
- NIA, F. E.; VAN PAASSEN, D.; SAIDI, M. H. Modeling and simulation of desiccant wheel for air conditioning. **Energy and Buildings**, v. 38, n. 10, p. 1230 - 1239, 2006.
- RAFIQUE, M. *et al.* Parametric analysis of a rotary type liquid desiccant air conditioning system. **Energies**, v. 9, n. 4, p. 1 - 15, 2016.
- TIWARI, E. A. Design and fabrication of desiccant wheel dehumidifier. **International Journal of Advanced Research in Mechanical Engineering & Technology (IJARMET)**, v. 1, n. 1, p. 7 - 16, 2015.
- TU, Y. D.; WANG, R. Z.; Ge, T.S. New concept of desiccant-enhanced heat pump. **Energy Conversion and Management**, v. 156, p. 568 - 574, 2018.
- ZOUAOU, A.; ZILI-GHEDIRA, L.; BEN NASRALLAH, S. Open solid desiccant cooling air systems: A review and comparative study. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 54, p. 889 - 917, 2016. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.rser.2015.10.055>.