

## **AR CONDICIONADO DESSECANTE PARA CLIMA ÚMIDO**

**Aleksandro Guedes de Lima**

Centro Federal de Educação Tecnológica da Paraíba  
UFPB/CT/CPGM

**José Espínola Júnior**

Centro Federal de Educação Tecnológica de Sergipe/UNED/COIN  
UFPB/CT/CPGM

**Francisco Marcondes**

Universidade Federal do Ceará, Centro de Tecnologia, Departamento de Engenharia Mecânica e de Produção  
60.455-760, Fortaleza, CE, Brasil.

**José Maurício Gurgel**

Universidade Federal da Paraíba, Centro de Tecnologia, Departamento de Tecnologia Mecânica  
58059-900, João Pessoa, PB, Brasil.  
[gurgel@les.ufpb.br](mailto:gurgel@les.ufpb.br)

**Resumo.** *Sistemas de ar condicionado dessecante são muito atraentes para a proteção do meio ambiente pois utilizam apenas água como fluido de trabalho. O artigo apresenta um sistema de ar condicionado dessecante operando em ciclo aberto com uma configuração para clima úmido e mostra os procedimentos simultâneos de adsorção e de regeneração nos respectivos ciclos. O sistema é composto por rotores adsorventes (desumidificadores), trocadores de calor rotativos, unidades de resfriamento adiabático, ventiladores e outros componentes. A regeneração do rotor desumidificador pode ser feita utilizando-se calor de rejeição, energia solar, gás natural ou através de processos de cogeração. Os componentes para tal sistema são simples e a manutenção é fácil. São mostrados estudos de caso para o sistema operar em uma região de clima quente e de alta umidade tendo-se chegado então a conclusão da necessidade da utilização de uma configuração usando-se dois rotores desumidificadores para permitir o alcance de condições de conforto térmico.*

**Palavras chave:** Adsorção, dessecante, sílica-gel, climatização.

### **1. Introdução**

Uma melhor qualidade de vida é uma busca incessante do ser humano, de forma que a exigência de conforto térmico tem se acentuado, em todos os campos, seja para aplicações residenciais, ou nos diversos tipos de empresas para o conforto de clientes, bem como de funcionários, o que acarreta melhor desempenho de funções. Uma situação de destaque é o aumento considerável da utilização de sistemas de condicionamento de ar nos estabelecimentos comerciais, procurando propiciar o conforto térmico aos consumidores em geral.

Os sistemas de condicionamento de ar por compressão a vapor são utilizados a bastante tempo a ponto de atingirem um excelente grau de desenvolvimento tecnológico. Porém, estes sistemas convencionais apresentam alto consumo de eletricidade, fator que é preocupante em vista da escassez da disponibilidade de energia elétrica no mundo. Além disso, os sistemas convencionais de condicionamento de ar utilizam geralmente fluidos refrigerantes baseados em clorofluorcarbonos (CFCs) que são prejudiciais a camada de ozônio. Os sistemas de condicionamento de ar por compressão a vapor também não tratam eficientemente ambientes com grande carga de calor latente, ou seja, ambientes com elevada umidade.

Como alternativa, os sistemas de resfriamento dessecante tem ganho destaque por apresentarem vantagens sobre os sistemas convencionais. O sistema de condicionamento de ar por adsorção apresenta menor consumo de eletricidade, utiliza como fluidos de trabalho apenas ar e água, além de ser extremamente eficiente no controle da umidade do ambiente.

Os estudos sobre a utilização de sistemas de condicionamento de ar dessecante não são recentes. Segundo Zheng e Worek (1993), a aplicação de desumidificação dessecante em sistema de refrigeração foi primeiramente proposta por Pennigton em 1955. Desde esta época, muitas pesquisas e experimentos tem sido conduzidos em sistemas baseados em dessecantes. Jurinak *et al.* (1984) estudaram através de simulações computacionais a performance de condicionadores de ar dessecante com ciclo aberto para aplicações residenciais, utilizando sílica gel como adsorvente. Van den Bulck *et al.* (1986) estudaram o uso de desumidificadores rotativos em sistemas de resfriamento dessecante com ciclo aberto

aquecidos a gás, também utilizando a sílica gel como adsorvente. Löf *et al.* (1988) estudaram a performance de um sistema de resfriamento dessecante regenerado por energia solar. Kang e Maclaine-Cross (1989) estudaram a performance de três sistemas de refrigeração com dessecante sólido em ciclo aberto. Zeng e Worek (1993) apresentaram um novo método de diferenças finitas para simulação de processos combinados de transferência de calor e massa que ocorrem num desumidificador com dessecante sólido. Zheng *et al.* (1995) determinaram as propriedades de sorção favoráveis de um dessecante sólido utilizado num desumidificador rotativo. Kodama *et al.* (1995) apresentaram um método de estimação da performance ótima de um desumidificador honeycomb (forma de favo de mel). Kodama *et al.* (1999) reportaram os resultados de teste de campo obtidos de um condicionamento de ar dessecante instalado na universidade de Kumamoto no Japão. Harriman *et al.* (1999) avaliaram sistemas dessecantes ativos para ventilação de edifícios comerciais. Ben Abdallah *et al.* (1999) estudaram a performance de sistemas de resfriamento evaporativo dessecante.

Os trabalhos referenciados mostram que o sistema de condicionamento de ar por adsorção em ciclo aberto, tendo como principal componente o desumidificador cilíndrico rotativo, é capaz de proporcionar conforto térmico em regiões de clima ameno. Entretanto, em locais de clima quente e muito úmido, o sistema dessecante não propicia uma condição de conforto térmico satisfatória.

Este trabalho relata o estudo de utilização de dois desumidificadores cilíndricos rotativos como principais equipamentos do sistema de condicionamento de ar por adsorção, para aplicação em regiões de clima quente e úmido.

## 2. Descrição do Sistema de Condicionamento de Ar por Adsorção Estudado

O sistema de condicionamento de ar dessecante estudado contém basicamente dois desumidificadores cilíndricos rotativos, dois trocadores de calor sensível cilíndricos rotativos, dois umidificadores adiabáticos e dois aquecedores. Complementam o sistema alguns componentes auxiliares tais como ventiladores, filtros, e bombas d'água.

A Figura 1 mostra o sistema de condicionamento de ar dessecante em ciclo aberto, com seus principais componentes. O princípio de condicionamento segue os seguintes passos: Ar externo no ponto 1 é insuflado e passa através do primeiro desumidificador dessecante rotativo que gira lentamente e no qual o ar é desumidificado e simultaneamente aquecido pela liberação do calor de adsorção do ponto 1 ao 2. O ar de processo quente e pouco úmido é então resfriado ao passar pelo primeiro trocador de calor sensível rotativo fornecendo ar frio e com baixa umidade no ponto 3. O ar de processo é então forçado a atravessar o segundo desumidificador rotativo do qual sai no ponto 4, seco, porém com temperatura elevada. O ar de processo quente e seco é então resfriado ao passa pelo segundo trocador de calor sensível rotativo fornecendo ar frio e seco no ponto 5. O ar de insuflamento frio e seco tem sua temperatura ainda mais reduzida ao atravessar o umidificador adiabático saindo no ponto 6 com baixa temperatura e baixíssima umidade absoluta e nesta condição o mesmo é fornecido ao ambiente climatizado.

O ar de retorno na condição do ambiente climatizado (ponto 7) é exaurido na mesma quantidade do ar de insuflamento e forçado a passar através do umidificador adiabático onde tem sua temperatura reduzida tornando-se frio no ponto 8. O ar de retorno frio passa através do segundo trocador de calor sensível onde é aquecido do ponto 8 ao 9, este aquecimento se dá pela retirada de calor do fluxo de ar de processo. O ar de retorno relativamente quente é ainda mais aquecido ao passar pelo aquecedor, o qual fornece calor suficiente ao fluxo de ar de retorno para atingir no ponto 10 a temperatura de regeneração do adsorvente. O ar de retorno quente passa através do desumidificador rotativo retirando a umidade e consequentemente regenerando o adsorvente. O ar quente e úmido no ponto 11 é expelido para o ambiente externo.

Para o funcionamento do primeiro trocador de calor e para a regeneração do primeiro desumidificador é necessário a utilização de uma terceira corrente de ar, que é captada nas condições do ambiente externo (ponto 12) e forçada a atravessar o trocador de calor sensível onde sai no ponto 13 para entrar no aquecedor onde recebe calor suficiente para regenerar o desumidificador (ponto 14) e que subseqüentemente é expelido para o ambiente externo no ponto 15.

## 3. Estudo de Caso

Com o objetivo de verificar a possibilidade de obtenção de conforto térmico em regiões de clima quente e úmido, estudou-se o caso para um clima de temperatura de bulbo seco de 30 °C e umidade relativa de 75%. A vazão de ar de insuflamento para o ambiente climatizado foi de 10.000 m<sup>3</sup>/h no modo ventilação, ou seja, 100% de ar externo.

Em sistemas de resfriamento dessecante, o principal componente é o desumidificador cilíndrico rotativo. Apesar de ter sido desenvolvido uma modelagem matemática e programa computacional para a simulação dos processos de transferência de calor e massa envolvidos nos rotores adsorventes, neste trabalho foi utilizado um programa computacional fornecido por um fabricante de rotores “Rotor Source Inc”. Isto foi decorrente da ausência de propriedades específicas dos materiais e dados construtivos dos rotores, omitidos pelo fabricante. Com o prosseguimento dos trabalhos, com a montagem prevista de um protótipo, o modelo desenvolvido será então usado e através de experimentos e de estimativa de parâmetros deverá ser ajustado. Para estimativa da performance do processo de adsorção no desumidificador dessecante, foram analisados os modelos PPS 1070x200, PPS 1220x200 e PPS 1525x200 capazes de suprir a vazão de ar definida. As temperaturas de regeneração disponibilizadas para utilização no programa computacional da “Rotor Source” foram de 120 °C, 140 °C e 160 °C.

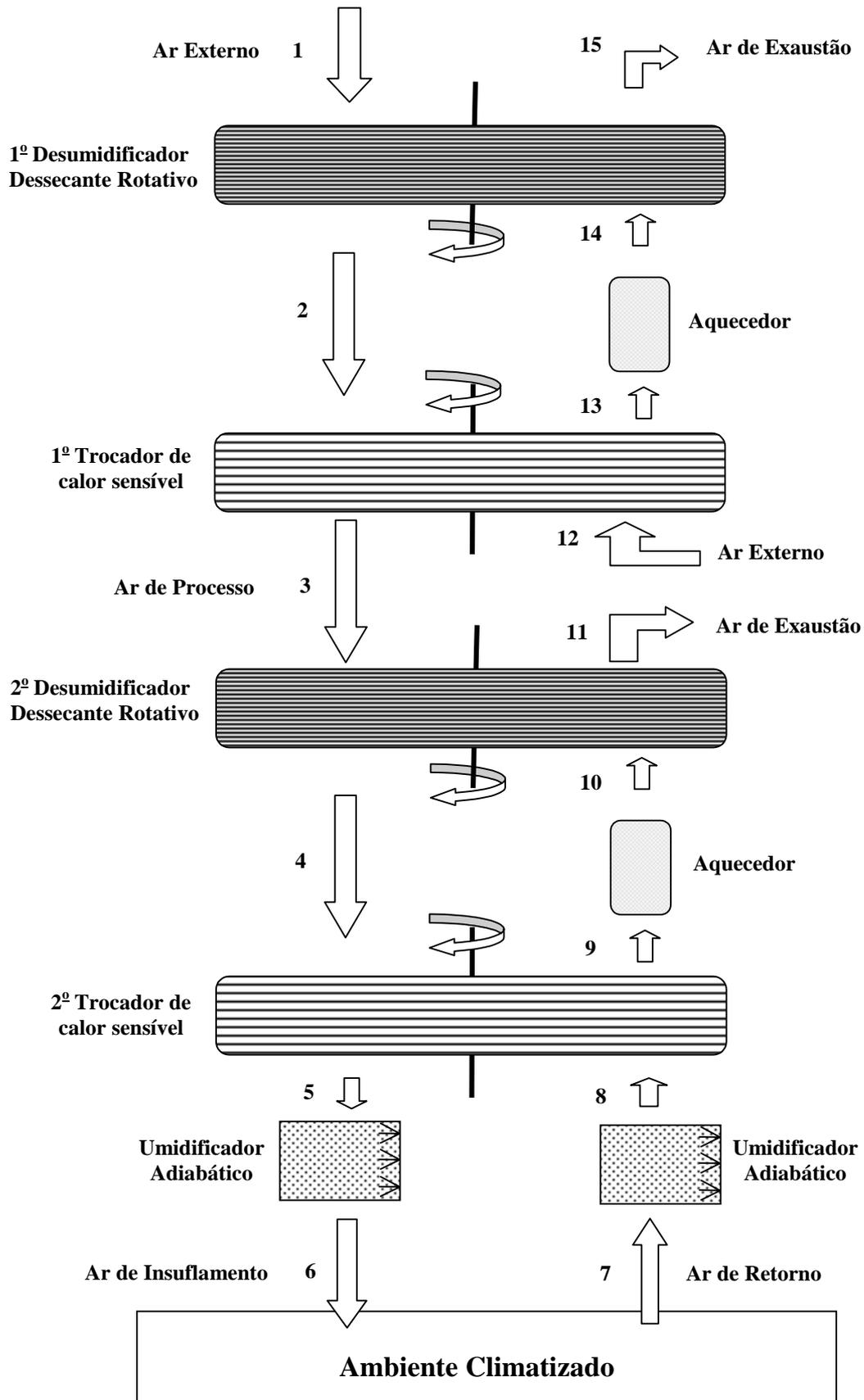


Figura 1. Esquema do sistema de condicionamento de ar por adsorção com dois desumidificadores cilíndricos rotativos.

As dimensões básicas dos desumidificadores estudados estão descritas na própria definição do modelo, ou seja, o modelo PPS 1070x200 possui diâmetro de 1070mm (1,07m) por 200mm (0,2m) de espessura, os modelos PPS 1220x200 e PPS 1525x200 possuem também 200mm de espessura com diâmetros de 1220mm (1,22m) e 1525mm (1,525m), respectivamente.

O desumidificador é dividido em 2 zonas. Uma é a zona de regeneração que abrange a faixa angular de  $\theta = 0^\circ$  à  $90^\circ$  e a outra é a zona de adsorção ou processo ( $\theta = 90^\circ$  à  $360^\circ$ ) durante a rotação do desumidificador. As velocidades dos fluxos de ar de processo e de regeneração atravessando o desumidificador são iguais, sendo que o fluxo de ar necessário para regeneração é 1/3 do ar de retorno. Entretanto em virtude dos modelos testados apresentarem dimensões diferentes, as velocidades das correntes de ar são de aproximadamente 4 m/s para o modelo PPS 1070x200; 3 m/s para o modelo 1220x200 e 2 m/s para o modelo PPS 1525x200. Os desumidificadores dessecantes cilíndricos rotativos utilizados na estimativa giram a 15 rph, tendo como adsorvente a sílica gel impregnada numa matriz metálica.

Nos trocadores de calor sensível cilíndricos rotativos, os fluxos de ar quente e frio passam em contracorrente, com eficiência estimada em 80% de acordo com Kodama *et al.* (1999).

A condição de conforto térmico escolhida para o ambiente climatizado foi a de temperatura de bulbo seco 25 °C com 55% de umidade relativa.

A Figura 2, mostra através da representação na carta psicométrica, as mudanças nas condições do ar de processo e do ar de retorno para o ciclo de condicionamento adsorativo utilizando a configuração com dois desumidificadores, de acordo com a Fig. (1). Os valores verificados foram obtidos do desumidificador PPS 1525x200 com temperatura de regeneração de 140 °C.

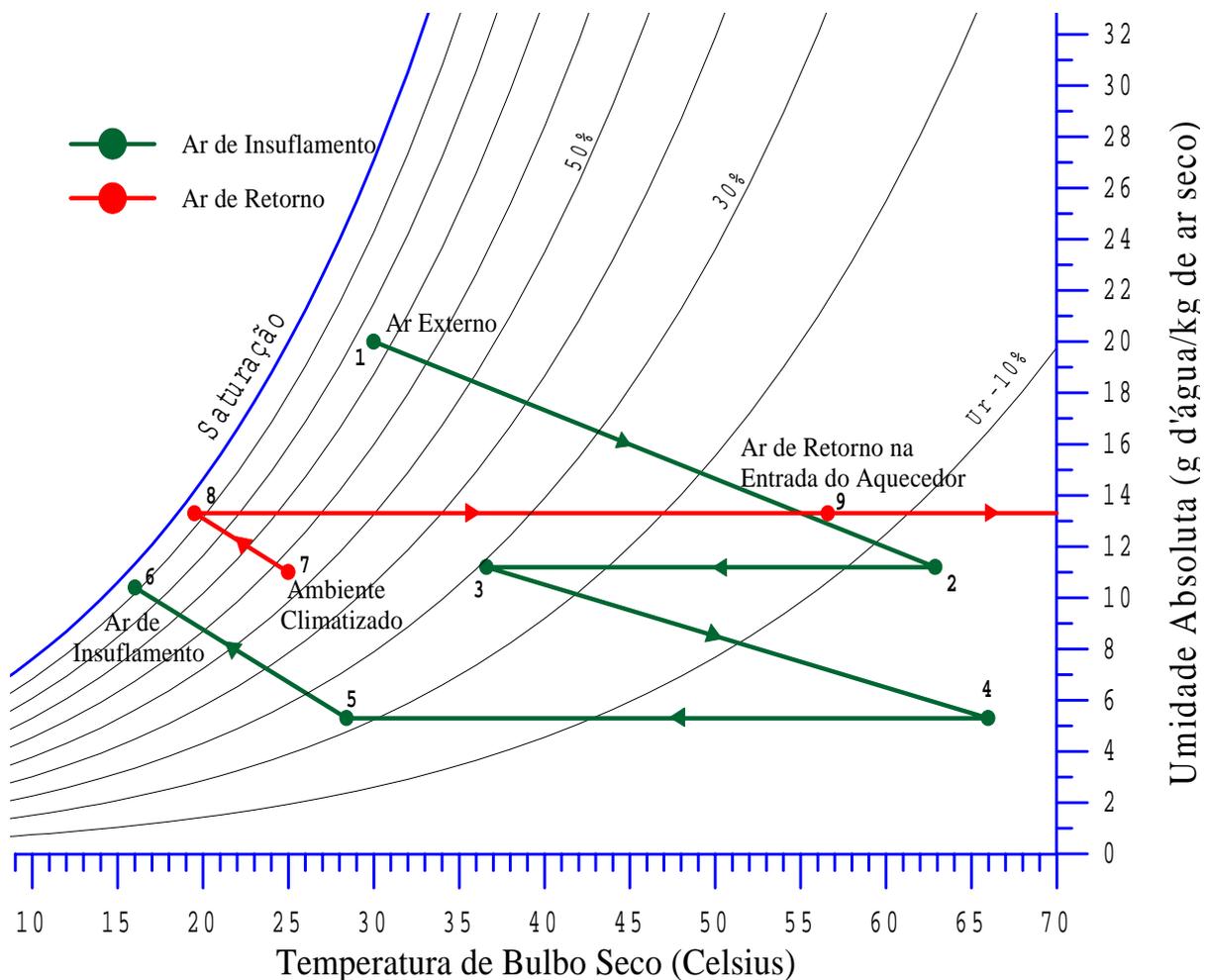


Figura 2. Esquema psicométrico do sistema de resfriamento dessecante em ciclo aberto com dois desumidificadores.

#### 4. Parâmetros Térmicos do Sistema

Vários trabalhos (Kang e Maclaine-Cross, 1989; Chau e Worek, 1995 e Kodama *et al.*, 1999) expressam o efeito frigorífico (*CE*) para o ciclo de condicionamento de ar dessecante como sendo a diferença de entalpias entre o ar de insuflamento (ponto 6) do ciclo na Fig. (1) e o ar de retorno (ponto 7), conforme a eq. (1):

$$CE = h_7 - h_6 \quad (1)$$

onde:  $CE$  é o efeito frigorífico dado em kJ/kg.

$h_6$  e  $h_7$  são as entalpias específicas do ar nos pontos 6 e 7, respectivamente em kJ/kg.

A capacidade de resfriamento ( $CR$ ) do ambiente é o produto do efeito frigorífico pela fluxo de massa de ar de fornecimento. Portanto, a capacidade de resfriamento do ambiente climatizado pode ser calculada pela seguinte expressão:

$$CR = \dot{m}CE \quad (2)$$

onde:  $CR$  é a capacidade de resfriamento dado em kW.

$\dot{m}$  é o fluxo de massa do ar de insuflamento em kg/s.

A taxa de calor total de regeneração ( $\dot{Q}_{regT}$ ) é a soma da taxa de calor de regeneração do 1º desumidificador ( $\dot{Q}_{reg1}$ ) e da taxa de calor de regeneração do 2º desumidificador ( $\dot{Q}_{reg2}$ ).

A taxa de calor para regeneração do 1º desumidificador ( $\dot{Q}_{reg1}$ ) é o produto do fluxo de massa de regeneração pela diferença de entalpia específica ( $h_{14} - h_{13}$ ). A mesma pode ser calculado pela expressão:

$$\dot{Q}_{reg1} = \dot{m}_{reg1}(h_{14} - h_{13}) \quad (3)$$

onde:  $\dot{Q}_{reg1}$  é a taxa de calor de regeneração para o 1º desumidificador dado em kW.

$\dot{m}_{reg1}$  é o fluxo de massa do ar de regeneração do 1º desumidificador em kg/s.

A taxa de calor para regeneração do 2º desumidificador ( $\dot{Q}_{reg2}$ ) é o produto do fluxo de massa de regeneração pela diferença de entalpia específica ( $h_{10} - h_9$ ). A mesma pode ser calculado pela expressão:

$$\dot{Q}_{reg2} = \dot{m}_{reg2}(h_{10} - h_9) \quad (4)$$

onde:  $\dot{Q}_{reg2}$  é a taxa de calor de regeneração para o 2º desumidificador dado em kW.

$\dot{m}_{reg2}$  é o fluxo de massa do ar de regeneração do 2º desumidificador em kg/s.

Portanto, das equações 2 e 3, tem-se que a taxa de calor total de regeneração é:

$$\dot{Q}_{regT} = \dot{m}_{reg1}(h_{14} - h_{13}) + \dot{m}_{reg2}(h_{10} - h_9) \quad (5)$$

onde:  $\dot{Q}_{regT}$  é a taxa de calor de regeneração total, dado em kW.

O coeficiente de performance térmica ( $COP$ ) é a razão da capacidade de resfriamento pela energia fornecida ao ar de regeneração do dessecante. O COP pode ser calculado pela seguinte equação:

$$COP = \frac{CR}{\dot{Q}_{regT}} \quad (6)$$

Utilizando-se um regenerador de calor através de um trocador de calor, pode ser aproveitado o ar quente após o processo de reativação do dessecante que deixa sair do 1º desumidificador para aplicá-lo através de trocador de calor no fluxo de reativação de 2º desumidificador e vice-versa. Com isto, O coeficiente de performance térmico recuperado ( $COP_{reg}$ ) pode ser definido como a razão da capacidade de resfriamento ( $CR$ ) pela taxa de calor regenerado fornecida ao ar de reativação. Taylor (2000), estimou que a utilização de recuperação de calor pode propiciar uma diminuição do calor de reativação por um fator de 2,9. Dessa forma pode-se tomar o  $COP_{reg}$  como sendo:

$$COP_{reg} = \frac{CR}{\dot{Q}_{regT} / 2,9} \Rightarrow COP_{reg} = \frac{2,9CR}{\dot{Q}_{regT}} \quad (7)$$

### 5. Resultados e Discussão

As Tabelas 1, 2 e 3 apresentam os valores de temperatura de bulbo seco, umidade absoluta e entalpia para os pontos do ciclo de sistema de resfriamento dessecante com desumidificadores cilíndricos rotativos mostrados na Fig. (1) e representados no exemplo típico da carta psicométrica da Fig. (2).

Tabela 1. Propriedades psicométricas para diversos pontos do ciclo em função das três temperaturas de regeneração do desumidificador modelo PPS 1070x200.

Ponto no Ciclo	Modelo PPS 1070x200								
	T <sub>regen.</sub> = 120 °C			T <sub>regen.</sub> = 140 °C			T <sub>regen.</sub> = 160 °C		
	T (°C)	w (g/kg)	h (kJ/kg)	T (°C)	w (g/kg)	h (kJ/kg)	T (°C)	w(g/kg)	h( kJ/kg)
1 e 12	30	20	81,3	30	20	81,3	30	20	81,3
2	53,4	13,5	88,7	57,1	12,7	90,5	62,2	12,2	94,4
3	34,7	13,5	69,5	35,4	12,7	68,2	36,4	12,2	67,9
4	56,1	8,8	79,3	60	7,6	80,1	64,5	7	83,1
5	26,4	8,8	48,9	27,2	7,6	46,7	28,1	7	46,1
<b>6</b>	<b>21</b>	<b>11</b>	<b>49,1</b>	<b>20</b>	<b>10,6</b>	<b>47</b>	<b>19,5</b>	<b>10,5</b>	<b>46,4</b>
7	25	11	53,1	25	11	53,1	25	11	53,1
8	19	13,4	53,2	19	13,4	53,2	19	13,4	53,2
9	48,7	13,4	83,8	51,8	13,4	87	55,4	13,4	90,7
10	120	13,4	150,1	140	13,4	177,6	160	13,4	198,3
13	48,7	20	100,76	51,7	20	103,9	55,8	20	107,3
14	120	20	175	140	20	195,9	160	20	216,7

Verificando-se a condição do ar de insuflamento (ponto 6), do modelo 1070x200 mostrado na Tab. (1), observa-se que a umidade absoluta do ar insuflado é menor que a estipulada para o ambiente climatizado no caso das temperaturas de regeneração de 140 °C e 160 °C, o que aliada à menor temperatura do ar insuflado possibilita a obtenção do conforto térmico. Entretanto, para o caso de temperatura de regeneração de 120 °C, o ar de insuflamento está na condição limite de umidade absoluta, e apresentando uma temperatura de bulbo seco muito próxima do esperado para o ambiente climatizado.

Tabela 2. Propriedades psicométricas para diversos pontos do ciclo em função das três temperaturas de regeneração do desumidificador modelo PPS 1220x200.

Ponto no Ciclo	Modelo PPS 1220x200								
	T <sub>regen.</sub> = 120 °C			T <sub>regen.</sub> = 140 °C			T <sub>regen.</sub> = 160 °C		
	T (°C)	w (g/kg)	h (kJ/kg)	T (°C)	w (g/kg)	h (kJ/kg)	T (°C)	w(g/kg)	h( kJ/kg)
1 e 12	30	20	81,3	30	20	81,3	30	20	81,3
2	55,3	13	89,4	59,8	12	91,4	67,5	10,8	96,2
3	35	13	68,5	36	12	67	37,5	10,8	65,4
4	56,3	8,5	78,7	62,5	6,6	80,1	69	5,2	83
5	26,5	8,5	48,3	27,7	6,6	44,6	29	5,2	42,4
<b>6</b>	<b>21</b>	<b>10,7</b>	<b>48,4</b>	<b>18</b>	<b>10,6</b>	<b>44,9</b>	<b>16</b>	<b>10,5</b>	<b>42,7</b>
7	25	11	53,1	25	11	53,1	25	11	53,1
8	19	13,4	53,2	19	13,4	53,2	19	13,4	53,2
9	48,8	13,4	83,9	53,8	13,4	89	59	13,4	94,4
10	120	13,4	150,1	140	13,4	177,6	160	13,4	198,3
13	50,3	20	102,4	53,8	20	106,1	60	20	112,5
14	120	20	175	140	20	195,9	160	20	216,7

Para o modelo 1220x200, as condições para obtenção de conforto térmico são mais favoráveis, visto que a umidade absoluta do ar de insuflamento está abaixo da umidade absoluta estipulada para o ar no recinto climatizado nas três opções de temperatura de regeneração. No entanto, a temperatura de 21°C do ar de insuflamento para a temperatura de regeneração de 120 °C, está muito próxima do limite para o ambiente climatizado. Para as temperaturas de regeneração de 140 e 160 °C, as temperaturas de 18 e 16 °C respectivamente, apresentam-se razoavelmente abaixo da temperatura estipulada para o ambiente climatizado.

Tabela 3. Propriedades psicométricas para diversos pontos do ciclo em função das três temperaturas de regeneração do desumidificador modelo PPS 1525x200.

Ponto no Ciclo	Modelo PPS 1525x200								
	T <sub>regen.</sub> = 120 °C			T <sub>regen.</sub> = 140 °C			T <sub>regen.</sub> = 160 °C		
	T (°C)	w (g/kg)	h (kJ/kg)	T (°C)	w (g/kg)	h (kJ/kg)	T (°C)	w(g/kg)	h( kJ/kg)
1 e 12	30	20	81,3	30	20	81,3	30	20	81,3
2	57,4	12,4	90	62,9	11,2	92,5	75,3	8,9	98,8
3	35,5	12,4	67,5	36,6	11,2	65,5	39,1	8,9	62,6
4	56,1	8	77,2	66	5,3	80,2	75	2,8	82,7
5	26,5	8	47,2	28,4	5,3	42,1	30	2,8	37,3
6	20	10,7	47,3	16	10,4	42,4	14	9,3	37,6
7	25	11	53,1	25	11	53,1	25	11	53,1
8	19	13,4	53,2	19	13,4	53,2	19	13,4	53,2
9	48,8	13,4	83,9	56,6	13,4	92	64	13,4	99,6
10	120	13,4	150,1	140	13,4	177,6	160	13,4	198,3
13	51,9	20	104,1	56,3	20	108,7	66,2	20	119
14	120	20	175	140	20	195,9	160	20	216,7

No modelo PPS 1525x200, apenas a condição do ar de insuflamento para a temperatura de regeneração de 120 °C, encontra-se próximo aos limites do ar climatizado. Para as demais temperaturas de reativação, as condições do ar de insuflamento satisfazem plenamente o conforto desejado.

Os parâmetros como efeito frigorífico, capacidade de resfriamento do sistema, coeficiente de performance e o coeficiente de performance regenerado, calculados segundo as Eq. (1), Eq. (2), Eq. (6) e Eq. (7), respectivamente, são mostrados na Tab. (4) para os diversos modelos de desumidificador e nas diferentes temperaturas de regeneração.

Tabela 4. Parâmetros térmicos obtidos no estudo do sistema dessecante.

Parâmetro Térmico	Modelo PPS 1070x200			Modelo PPS 1220x200			Modelo PPS 1525x200		
	T <sub>reg</sub> 120°C	T <sub>reg</sub> 140°C	T <sub>reg</sub> 160°C	T <sub>reg</sub> 120°C	T <sub>reg</sub> 140°C	T <sub>reg</sub> 160°C	T <sub>reg</sub> 120°C	T <sub>reg</sub> 140°C	T <sub>reg</sub> 160°C
COP	0,09	0,10	0,10	0,10	0,14	0,15	0,13	0,19	0,23
COP <sub>reg</sub>	0,25	0,29	0,29	0,29	0,41	0,43	0,38	0,55	0,66
CE(kJ/kg)	4,0	6,1	6,7	4,7	8,2	10,4	5,8	10,7	15,5
CR (kW)	13,1	20	22	15,4	26,9	34,1	19	35,1	50,8

Verifica-se que em regiões de clima quente e úmido, o sistema de resfriamento dessecante utilizando dois desumidificadores cilíndricos rotativos com temperatura e umidade absoluta do recinto climatizado estipuladas em 25 °C e 11 g/kg respectivamente, apresenta para o COP termodinâmico, calculado a partir da Eq. (6), valores muito baixos, chegando no máximo a 0,23. Porém, o sistema permite uma recuperação do calor de reativação, proporcionando um COP<sub>reg</sub> com valores que pode alcançar 0,66.

O efeito frigorífico para o sistema utilizando os três modelos do desumidificador Rotor Source calculado de acordo com a Eq. (1) com as três temperaturas de regeneração utilizadas, está mostrado na Fig. (3).

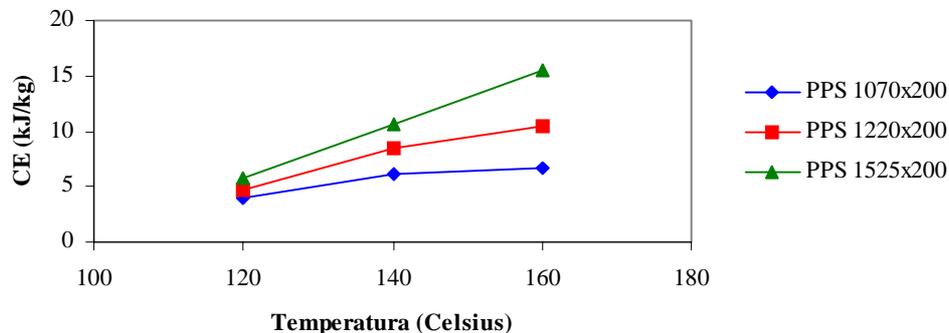


Figura 3. Efeito frigorífico do sistema de resfriamento dessecante estudado, para os diversos modelos em diferentes temperaturas de regeneração.

Verifica-se na Fig. (3) que o efeito frigorífico cresce com o aumento do tamanho de desumidificador e com o aumento da temperatura de regeneração. Para a temperatura de regeneração de 120 °C a variação no CE é pequena, porém acentua-se nas temperaturas de 140 °C e 160 °C. Com relação ao aumento do CE de um modelo de desumidificador para outro, deve-se à maior quantidade de dessecante contida no modelos maiores. Por outro lado,

umentando-se a temperatura de regeneração, uma parcela maior de água é desorvida na zona de regeneração do desumidificador, propiciando uma maior adsorção d'água na zona do ar de processo. Aliando-se os dois fatores, a condição do ar no ponto de insuflamento é de menor temperatura de bulbo seco e menor umidade absoluta, o que resulta num maior efeito frigorífico.

## 6. Conclusão

Este trabalho relata o estudo da utilização de condicionamento de ar por adsorção em ciclo aberto com utilização de rotores dessecantes. Para clima quente e úmido fica evidente a necessidade de utilização de dois rotores desumidificadores para se conseguir alcançar temperatura e umidade compatíveis com condições de conforto térmico ambiental. Os estudos mostram a viabilidade técnica e a simplicidade operacional dos equipamentos necessários além da grande vantagem de ser um sistema corretamente ecológico e de utilizar energia para regeneração que pode ser oriunda de resíduo industrial, energia solar, gás natural e em sistema de cogeração. Uma pequena parcela de energia elétrica se faz necessária apenas para movimentação de ventiladores e bombas de água. Um  $COP_{reg}$  de 0,66 foi alcançado na temperatura de regeneração de 160°C para o sistema contendo dois desumidificadores *Rotor Source, Inc.* modelo PPS 1525x200. O efeito frigorífico deste modelo atingiu 15,5 kJ/kg. Portanto, numa vazão de 10.000 m<sup>3</sup>/h o sistema pode fornecer uma capacidade de resfriamento de até 50 kW. Verificou-se que as maiores temperaturas de regeneração melhoram a performance do sistema e os COPs calculados são compatíveis com sistemas por absorção e poderão ser melhorados com a continuidade dos trabalhos. Finalmente o estudo permitiu o dimensionamento de um protótipo a ser construído e instrumentado para dar continuidade ao trabalho.

## 7. Agradecimentos

Os autores agradecem auxílios CNPq Processos N° 522.559/95-6 e N° 471039/01-2

## 8. Referências

- Ben Abdallah, N., Kemp, S. L., Hosatte, S. and Styllanou, M., 1999, "Development of a Procedure for the Assessment of the Performance of Desiccant-Evaporative Cooling Systems", Proceedings of International Sorption Heat Pump Conference, Munich, Germany, pp. 99-107.
- Chau, K. C. and Worek, M. W., 1995, "Interactive Simulation Tools for Open-Cycle Desiccant Cooling Systems", ASHRAE Transactions, Vol. 101, pp. 1-9.
- Harriman, L. G., Witte, M. J., Czachorski, M. and Kosar, D. R., 1999, "Evaluating Desiccant Systems For Ventilating Commercial Buildings", ASHRAE Journal, pp. 28-37.
- Jurinak, J. J., Mitchell, J. W. and Beckman, W. A., 1984, "Open Cycle Desiccant Air Conditioning as an Alternative to Vapor Compression Cooling in Residential Applications", ASME Journal of Solar Energy Engineering, Vol. 106, pp. 252-260.
- Kang, T. S., Maclaine-Cross, I. L., 1989, "High Performance, Solid Desiccant, Open Cooling Cycles", ASME Journal of Solar Energy Engineering, Vol. 111, pp. 176-183.
- Kodama, A., Goto, M., Hirose, T., and Kuma, T., 1995, "Performance Evaluation for a Thermal Swing Honeycomb Rotor Adsorber Using A Humidity Chart", Journal of Chemical Engineering of Japan, Vol. 28, No. 1, pp. 19-24.
- Kodama, A., Jin, W., Goto, M., Hirose, T. and Kuma, T., 1999. "Open Cycle Adsorption Cooling System with a Thermal Swing Honeycomb Dehumidifier", Journal of Chemical Engineering of Japan, Vol. 32.
- Löf, G. O. G., Cler, G. and Brisbane, T., 1988, "Performance of a Solar Desiccant Cooling System", ASME Journal of Solar Energy Engineering, Vol. 110, pp. 165-171.
- Taylor, R., 2000, "Aplicação de Sistema com Desiccant Cooling em Supermercado", Revista Climatização, setembro/2000, pp. 44-46.
- Van den Bulck, E., Mitchell, J. W. and Klein, S. A., 1986, "The Use of Dehumidifiers in Desiccant Cooling and Dehumidification Systems", ASME Journal of Solar Energy Engineering, Vol. 108, pp. 684-692.
- Zheng, W. and Worek, W. M., 1993, "Numerical Simulation of Combined Heat and Mass Transfer Processes in a Rotary Dehumidifier", Numerical Heat Transfer, Part A, Vol. 23, pp. 211-232.

Zheng, W. and Worek, W. M. and Novosel, D., 1995, "Effect of Operating Conditions on Optimal Performance of Rotary Dehumidifiers", ASME Journal of Energy Resources Technology, Vol. 117, pp. 62-66.

## OPEN CYCLE DESICCANT COOLING SYSTEM FOR HIGH HUMID CLIMATE

### **Aleksandro Guedes de Lima**

Centro Federal de Educação Tecnológica da Paraíba  
UFPB/CT/CPGM  
[agl@cefetpb.br](mailto:agl@cefetpb.br)

### **José Espínola Júnior**

Centro Federal de Educação Tecnológica de Sergipe/UNED/COIN  
UFPB/CT/CPGM  
[espinola@les.ufpb.br](mailto:espinola@les.ufpb.br)

### **Francisco Marcondes**

Universidade Federal do Ceará, Centro de Tecnologia, Departamento de Engenharia Mecânica e de Produção, 60.455-760, Fortaleza, CE, Brasil.  
[marconde@dem.ufc.br](mailto:marconde@dem.ufc.br)

### **José Maurício Gurgel**

Universidade Federal da Paraíba, Centro de Tecnologia, Departamento de Tecnologia Mecânica, 58059-900, João Pessoa, PB, Brasil.  
[gurgel@les.ufpb.br](mailto:gurgel@les.ufpb.br)

**Abstract.** *Desiccant cooling systems are very attractive as far as the environment protection is concerned by utilizing only water as working fluid. The work presents an open cycle desiccant air conditioning system for moist climate including the simultaneous procedures of adsorption and regeneration cycles. The air device consisted of adsorbent rotors, sensible heat exchangers wheels, evaporative coolers with water spray, air ventilators and other components. The adsorbent rotor regeneration can be performed by the utilization of waste heat, solar energy, natural gas and cogeneration heat. The components are simple and the maintenance is easy. The present work shows studies of a system for operation in high humidity climate. Herein is presented a configuration with two dehumidifiers rotors to achieve ideal thermic comfort environment.*

**Keywords.** *Adsorption, desiccant rotor, silica-gel, refrigeration.*