

ANÁLISE DO DESEMPENHO DE UM DESUMIDIFICADOR POR ADSORÇÃO APLICADO AO CONDICIONAMENTO DE AR PARA CONFORTO

José Rui Camargo (autor para correspondência)

Universidade de Taubaté – Departamento de Engenharia Mecânica

Rua Daniel Danelli, s/nº - Jardim Morumbi

12060-440 - Taubaté – SP

e-mail: rui@mec.unitau.br

Sebastião Cardoso

Universidade de Taubaté – Departamento de Engenharia Mecânica

Rua Daniel Danelli, s/nº - Jardim Morumbi

12060-440 - Taubaté – SP

Jerônimo dos Santos Travelho

Universidade de Taubaté – Departamento de Engenharia Mecânica

Rua Daniel Danelli, s/nº - Jardim Morumbi

12060-440 - Taubaté – SP

Resumo. *Este trabalho apresenta uma análise dos parâmetros que afetam o desempenho de um desumidificador por adsorção, tipo cilindro rotativo, quando utilizado como componente de um sistema evaporativo-adsortivo aplicado ao condicionamento de ar para conforto. São analisadas as influências da temperatura e umidade tanto do ar de processo quanto do ar de reativação, da velocidade dos fluxos de ar através do desumidificador, da temperatura de reativação e da relação entre as vazões do ar de processo e de reativação (R/P). A análise é feita em um desumidificador comercialmente disponível, variando-se as condições dos fluxos de ar na entrada e verificando-se as condições na saída por meio de dois softwares disponibilizados por fabricantes de equipamentos de desumidificação por adsorção. Conclui-se, entre outras, que menores temperaturas de reativação e menores relações R/P levam o ar de processo a uma condição termodinâmica mais favorável à aplicação desejada.*

Palavras-chave: *desumidificação por adsorção, resfriamento evaporativo, condicionamento de ar.*

1. INTRODUÇÃO

Adsorção é o termo usado para descrever o fenômeno no qual moléculas de um fluido concentram-se espontaneamente sobre uma superfície sólida. Este fenômeno ocorre como resultado de forças não balanceadas agindo entre a superfície sólida e o fluido, que atraem e retêm as moléculas do fluido. O sólido sobre o qual ocorre a adsorção denomina-se *adsorvente*, a espécie química retida pelo adsorvente denomina-se *adsorvato* e o fluido em contato com a superfície denomina-se *adsortivo*.

Adsorventes são materiais sólidos porosos, com uma grande área de superfície interna por unidade de massa e, estruturalmente, lembram esponjas rígidas. A água adsorvida é contida por condensação dentro dos capilares formados na própria estrutura cristalina do material. A capacidade

de um adsorvente para atrair umidade depende do tamanho de seus poros e da relação entre a quantidade de água em sua superfície e o conteúdo de umidade do ar. Essa diferença reflete-se na pressão de vapor na superfície e no ar (Harriman, 1990).

Teoricamente admite-se que na superfície dos corpos sólidos existem forças desbalanceadas que exercem atração entre as moléculas líquidas e gasosas (Parker, 2000). Basicamente essas forças incluem forças de dispersão (atrativas), forças repulsivas de pequeno alcance e forças eletrostáticas. As forças de dispersão (também chamadas de forças de van der Waals) aparecem devido à rápida flutuação na densidade do elétron dentro de cada átomo, o que induz um momento de dipolo elétrico nas vizinhanças do átomo, levando a uma atração entre os átomos.

Cal (1995) classifica o tamanho dos poros da seguinte forma: microporo (menos que 2 nm), mesoporo (entre 2 e 50 nm) e macroporo (mais que 50 nm). A base para esta classificação é que cada tamanho de poro corresponde a diferentes efeitos de adsorção. A interação potencial em microporos é muito maior que em poros grandes devido à proximidade das paredes do poro, resultando em um aumento do potencial de adsorção. Uma molécula adsorvida dentro de um microporo é retida por forças de adsorção originadas, aproximadamente, dos dez átomos mais próximos à superfície. As forças nas moléculas do adsorvato são função da distância entre os átomos do adsorvato e do adsorvente e da polaridade desses átomos. Dentro de mesoporos ocorre uma condensação capilar e na faixa de macroporos a pressão relativa do adsorvato (P_v/P_{vs}) torna-se muito próxima da unidade (P_v é a pressão parcial do adsorvato – vapor d'água, no caso - e P_{vs} é sua pressão de saturação de vapor).

Assim, a adsorção física envolve forças intermoleculares relativamente fracas entre a umidade do ar e a superfície do dessecante, sendo um processo tipicamente exotérmico (Dobson, 1987). A força de aderência da adsorção pode ser medida pelo calor de adsorção. Quanto maior este calor mais forte é a força de aderência e mais difícil a remoção da umidade subsequentemente.

A umidade é usualmente removida aquecendo o dessecante até temperaturas entre 50°C e 320°C, expondo-o a um fluxo de ar de reativação. A temperatura de reativação depende do tipo de material adsorvente utilizado e da aplicação. A energia calorífica para a reativação pode ser obtida por eletricidade, vapor d'água, ar quente ou outra fonte de calor. Quando disponíveis, deve-se considerar o uso de fontes de energia econômicas, como em sistemas de cogeração.

2. CICLO DESSECANTE

A característica essencial dos dessecantes é a baixa pressão de vapor na sua superfície. Se o dessecante está resfriado e seco, a pressão de vapor em sua superfície é baixa, e ele pode atrair umidade do ar, o qual apresenta uma grande pressão de vapor quando está úmido.

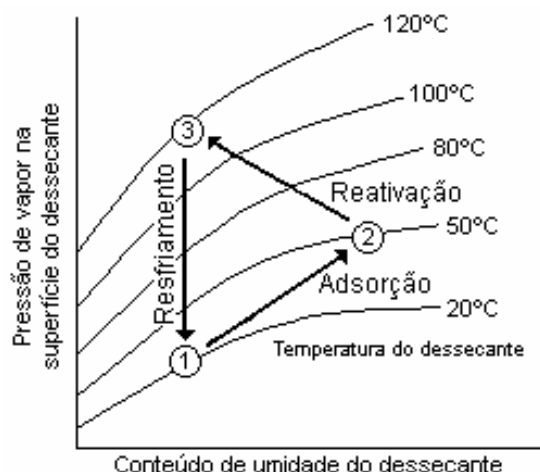


Figura 1. Ciclo dessecante

O ciclo dessecante completo é ilustrado genericamente na Fig. (1). No ponto 1 a pressão de vapor na superfície do dessecante é baixa porque ele está seco e resfriado. Como o dessecante coleta a umidade do ar ao redor sua superfície muda para a condição do ponto 2. Sua pressão de vapor, nesta condição, é igual aquela do ar ao redor devido a umidade e calor. No ponto 2, o dessecante não pode coletar mais umidade pois não existe diferença de pressão entre sua superfície e o vapor no ar. A seguir o dessecante é aquecido por uma nova corrente de ar. A pressão de vapor na superfície do dessecante torna-se muito alta – maior do que a do ar ao redor – então a umidade sai da superfície para o ar para equilibrar a diferença de pressão. No ponto 3, o dessecante está seco, mas uma vez quente, sua pressão de vapor ainda é muito alta para coletar umidade do ar. Para restabelecer sua baixa pressão de vapor, o dessecante é resfriado – voltando ao ponto 1 no diagrama e completando o ciclo, podendo, então, coletar umidade novamente.

3. PRINCIPAIS TIPOS DE DESSECANTES

O comportamento de adsorção dos adsorventes sólidos depende: (1) de sua área de superfície total, (2) do volume total de seus capilares, e (3) da faixa de diâmetros dos capilares. Uma grande área de superfície dá ao adsorvente uma capacidade maior em baixas umidades relativas. Capilares grandes provem uma alta capacidade para água condensada, que dá ao adsorvente uma maior capacidade em altas umidades relativas.

Alguns adsorventes sólidos podem ser fabricados com tolerâncias precisas, com diâmetros de poros que podem ser rigidamente controlados, ou seja, podem ser feitos sob medida para adsorver uma molécula de um diâmetro específico. A água, por exemplo, tem um diâmetro molecular efetivo de 3,2 nm. Um adsorvente com um diâmetro específico médio de 4.0 nm adsorve água, mas quase não tem capacidade para moléculas maiores. Esta característica de adsorção seletiva é útil em muitas aplicações.

Os adsorventes sólidos mais utilizados são o dióxido de silício (SiO_2 – sílica-gel), as zeólitas e a alumina ativada (Al_2O_3). Tais substâncias são geralmente depositadas em um substrato de fibra de vidro, celulose ou alumínio. A aparência é a de um fino favo de mel estriado.

A *sílica-gel* é formada quando um silicato solúvel é neutralizado por ácido sulfúrico. Retirando-se a água, obtém-se um sólido poroso. Sua composição química pode ser expressa como $\text{SiO}_2 \cdot n\text{H}_2\text{O}$. Sua principal aplicação industrial como adsorvente é a retirada de umidade de correntes gasosas. Tem como vantagens um custo relativamente baixo e relativa simplicidade estrutural.

Zeólitas são silicatos hidratados de alumínio do grupo dos alcalinos terrosos. Podem ser encontrados na natureza ou sintetizados. A estrutura cristalina das zeólitas é formada pela união de tetraedros de SiO_4 e AlO_4 que formam poliedros característicos. Esses poliedros arranjam-se tridimensionalmente dando origem a poros de dimensões moleculares e uniformes. Esses poros tem superfície de diâmetro uniforme, com dimensões aproximadas de 2 a 4,3 angstroms (GSA Resources, 2002). As diferentes configurações moleculares determinam um grande número de tipos de zeólitas, cada um com um diâmetro de poro característico. *Zeólitas sintéticas*, também denominadas *peneiras moleculares*, são feitas de silicato de alumínio cristalizado em um processo térmico. Controlando a temperatura do processo e a composição dos materiais ingredientes é possível um controle da estrutura e das características da superfície do adsorvente.

4. TIPOS DE DESUMIDIFICADORES

Existem várias configurações de desumidificadores dessecantes, mas os tipos mais utilizados são o tipo torre e o tipo cilindro rotativo.

A Fig. (2) mostra um desumidificador dessecante tipo torre e a Fig. (3) mostra o esquema de um desumidificador tipo cilindro rotativo, também conhecido como tipo *honeycomb* (Harriman, 1990). No tipo torre, um dessecante sólido, como sílica gel, é depositado em uma torre vertical. O ar de processo passa através da torre transferindo sua umidade para o dessecante seco. Após o dessecante ter se saturado de umidade o ar de processo é desviado para uma segunda torre de

secagem e a primeira torre é aquecida e purgada de sua umidade através de uma corrente de ar de reativação. Como a desumidificação e a reativação tem lugar em compartimentos selados separados a torre de desumidificação é freqüentemente usada para gases de processo pressurizados. Esse sistema permite atingir temperaturas de ponto de orvalho muito baixas (Torrey e Westerman, 2002).

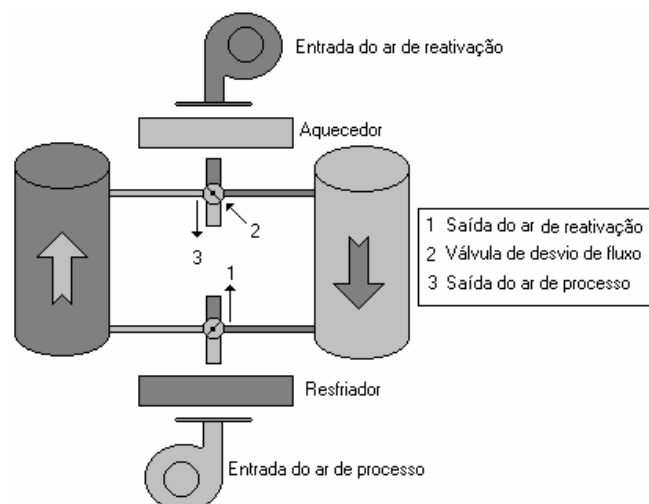


Figura 2. Desumidificador tipo torre

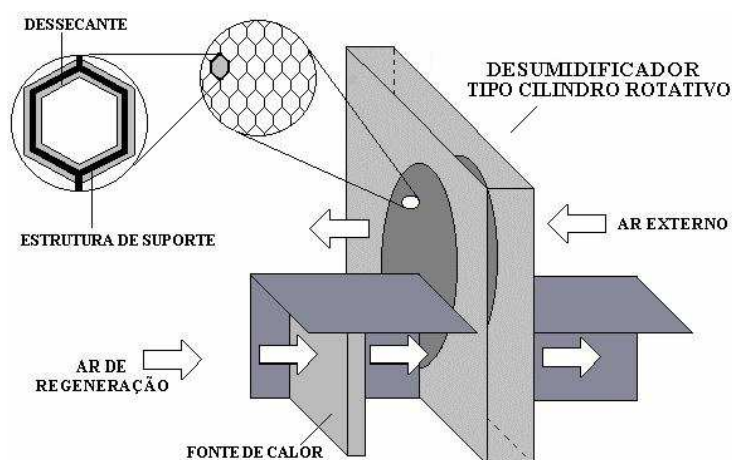


Figura 3. Desumidificador tipo cilindro rotativo

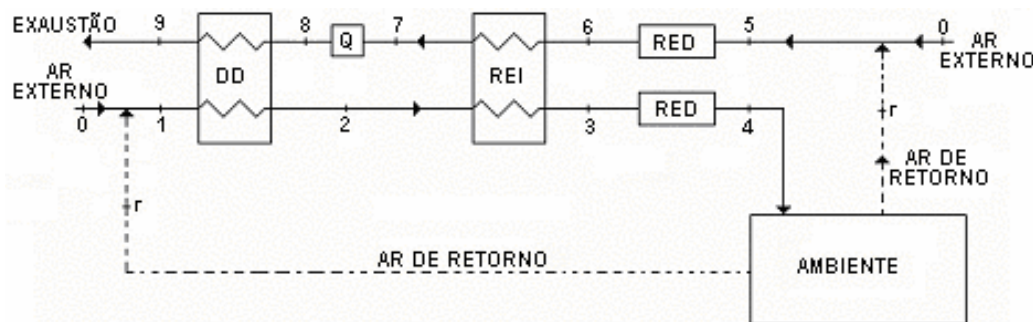
No desumidificador tipo *honeycomb* utiliza-se um cilindro rotativo impregnado com o material dessecante. O fluxo de ar externo passa através de uma parte do cilindro, sendo desumidificado, enquanto o fluxo de ar de reativação, aquecido, circula em contracorrente, removendo a umidade.

5. DESEMPENHO DE UM DESUMIDIFICADOR ADSORTIVO

Nos últimos anos vêm se desenvolvendo novas tecnologias relativas ao processo de desumidificação por adsorção aplicado ao resfriamento em sistemas de condicionamento de ar, tais como apresentados por Shen e Worek (1996), Belding e Delmas (1997), Jalalzadeh-Azar (2000), Jalalzadeh et al (2000), Vineyard et al (2000), Jain et al (2000) e Zhenqian e Mincheng (2000).

Camargo (2003) apresenta uma proposta de um sistema de resfriamento evaporativo acoplado a um desumidificador adsorativo. A Fig. (4) mostra a configuração do sistema, que é composto por um desumidificador dessecante rotativo acoplado a dois resfriadores evaporativos diretos e a um

indireto. Nesta configuração o ar externo é primeiramente misturado com ar de retorno e passa pelo desumidificador perdendo calor latente (umidade) e ganhando calor sensível (temperatura). Logo após o ar é resfriado primeiramente em uma unidade REI e após em uma unidade RED, sendo introduzido no ambiente condicionado em condições de temperatura e umidade satisfatórias ao conforto térmico humano. O ar de reativação do adsorvente é composto também de uma mistura de ar externo com ar de retorno que primeiramente é resfriado em um RED e depois em um REI.



DD	Desumidificador Dessecante Rotativo
Q	Fonte de Calor de Reativação
RED	Resfriador Evaporativo Direto
REI	Resfriador Evaporativo Indireto

Figura 4. Diagrama esquemático do sistema proposto por Camargo (2003)

6. VARIÁVEIS DE OPERAÇÃO DE UM DESUMIDIFICADOR POR ADSORÇÃO

Os principais parâmetros que afetam o desempenho dos desumidificadores dessecantes são a relação R/P (relação vazão de ar de reativação/ ar de processo), a umidade do ar de processo na entrada, a temperatura do ar de processo na entrada, a velocidade do ar de processo através do dessecante, a temperatura do ar de reativação, a umidade do ar de reativação, a velocidade do ar de reativação através do dessecante e a quantidade de dessecante em contato com a corrente de ar.

Para melhor compreensão da influência desses parâmetros, neste trabalho examina-se o caso básico de um desumidificador tipo cilindro rotativo operando em uma condição pré-estabelecida e compara-se com o mesmo sistema operando em condições diversas. A Fig. (5) mostra os fluxos de ar em cada lado do desumidificador.

No caso básico, os dados de entrada para o ponto 1 da Fig. (5) foram: $TBS = 28,85^{\circ}C$; $TBU = 21,84^{\circ}C$ e $w = 0,01351 \text{ kg}_w/\text{kg}_{ar} = 13,51 \text{ g}_w/\text{kg}_{ar}$, que são as condições da mistura de 50% de ar externo com 50% de ar de retorno do ambiente condicionado (condição ARI), para São Paulo. As condições de saída do desumidificador foram determinadas a partir das condições de entrada utilizando dois softwares disponibilizados por fabricantes de equipamentos de desumidificação por adsorção: *Novelair Technologies - Desiccant Wheel Selection Program – Versão 1.0.5* e *Munters Cargocaire DH Selection Program – Versão 9.5a*.

Para esta simulação utilizou-se, no software, o dióxido de silício (sílica-gel) como material adsorvente. Este material tem como característica uma baixa temperatura de reativação.

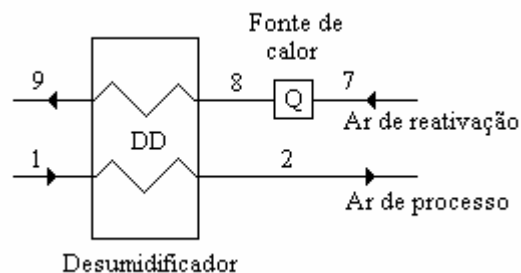


Figura 5. Fluxos de ar de processo e de reativação

Para discutir as variáveis que afetam o desempenho considera-se que o desumidificador está operando em equilíbrio, ou seja, a energia total no lado de processo é balanceada pela energia do lado da reativação. No caso básico a potência necessária à reativação é de 51 kW.

As condições termodinâmicas, na pressão atmosférica padrão, são mostradas na Tab. (1).

Tabela 1. Condições termodinâmicas dos fluxos de ar

PONTO	1	2	7	8	9
TBS (°C)	28,85	48,22	49,00	115,50	65,20
w (g _w /kg _{ar})	13,51	7,78	18,47	18,47	33,34

6.1. Influência da relação R/P (vazão de ar de reativação/ar de processo)

A Fig. (6) mostra a influência dos fluxos de massa do ar de reativação e do ar de processo nas condições de saída do ar de processo do desumidificador. Nesta simulação variou-se a relação R/P, mantendo-se constante a temperatura de reativação em 115,5°C.

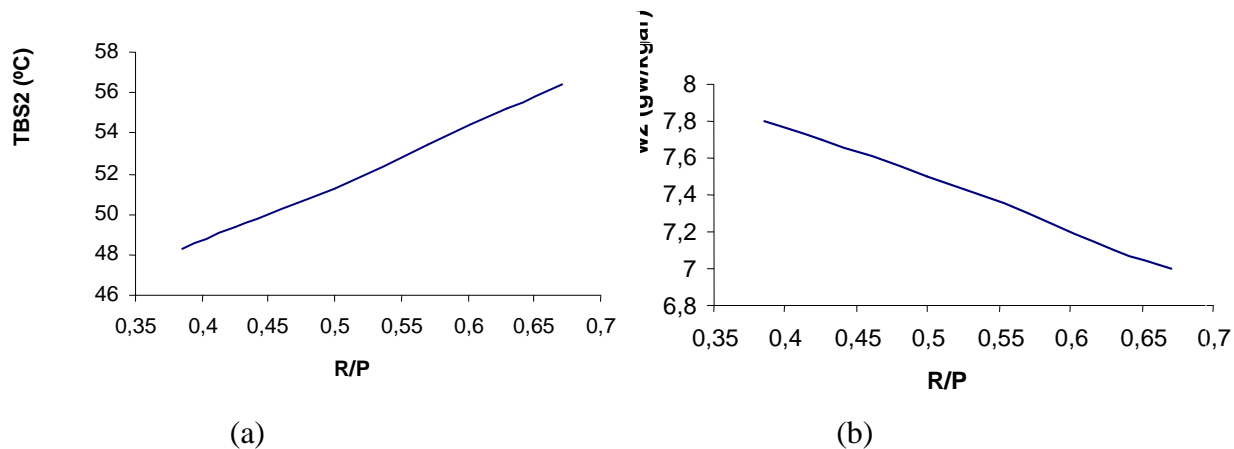


Figura 6. Influência dos fluxos do ar de reativação e do ar de processo

A Fig. (6a) mostra a influência de R/P na temperatura de bulbo seco do ar de insuflamento na saída do desumidificador TBS₂ (ponto 2 da Fig. 5) e a Fig. (6b) mostra a influência de R/P na umidade absoluta do ar de insuflamento na saída do desumidificador w₂.

Pode-se observar que uma menor relação R/P leva a uma menor temperatura do ar de processo na saída do desumidificador, o que é desejável quando o desumidificador é utilizado em um sistema de condicionamento de ar para conforto. Uma menor relação R/P proporciona, ainda, um menor consumo de energia para a reativação. Para as condições estudadas a variação de R/P de 0,385 para 0,670 leva a uma variação na potência de reativação de 51,7 kW para 90 kW.

6.2. Influência da umidade do ar de processo na entrada

Considerando-se uma mudança do teor da umidade original do ar de entrada no lado do processo o efeito na umidade de saída será o que segue: a) se o nível de umidade na entrada é menor que 13,51 g_w/kg_{ar}, na saída será menor que 7,78 g_w/kg_{ar}. Por exemplo, se o ar entra a 28,05°C e 10 g_w/kg_{ar}, sairá com 5,24 g_w/kg_{ar}. A temperatura de saída do ar será de 47,44°C ao invés de 48,22°C. Assim, o aumento da temperatura do ar de processo é proporcional a quantidade de umidade removida do ar. No caso básico o desumidificador removeu 5,73 g_w/kg_{ar}. No segundo caso, a umidade removida foi de 4,76 g_w/kg_{ar} e, então, a temperatura de saída é menor do que no caso básico e b) se a umidade de entrada é maior do que no caso básico, o ar deixará o desumidificador um pouco mais úmido, mas também mais quente, uma vez que mais umidade será removida. Por exemplo, se o ar entra a 28,85°C e 17 g_w/kg_{ar} ele sairá a 48,83°C e 10,48 g_w/kg_{ar}. Neste caso 6,52

$\text{g}_w/\text{kg}_{\text{ar}}$ são removidas do ar, o que explica porque o ar estará mais quente do que quando apenas $5,73 \text{ g}_w/\text{kg}_{\text{ar}}$ são removidas.

6.3. Influência da temperatura do ar de processo na entrada

No caso básico, a temperatura do ar de processo na entrada é $28,85^\circ\text{C}$, conforme Tab. (2). Reduzindo-a para 26°C a umidade na saída do desumidificador será $7,44 \text{ g}_w/\text{kg}_{\text{ar}}$ ao invés de $7,78 \text{ g}_w/\text{kg}_{\text{ar}}$. Neste caso a remoção de umidade será de $(13,51 - 7,44) = 6,06 \text{ g}_w/\text{kg}_{\text{ar}}$. O desempenho na remoção da umidade é melhor porque o dessecante está mais frio e, por isso, tem uma menor pressão de vapor na superfície, podendo atrair e reter mais umidade do que no caso básico. Ao contrário, se a temperatura de entrada é aumentada para 31°C , o ar de saída do processo não será tão seco, tendo um conteúdo de umidade igual a $8,03 \text{ g}_w/\text{kg}_{\text{ar}}$. Neste caso, a remoção de umidade será igual a $(13,51 - 8,03) = 5,48 \text{ g}_w/\text{kg}_{\text{ar}}$. Assim, mantendo-se todas as outras variáveis constantes, menores temperaturas de entrada melhoram o desempenho. Isto tem algumas implicações tais como: a) se altas temperaturas são esperadas deve-se prever um desumidificador de maior capacidade ou selecionar um dessecante que tenha menor sensibilidade à temperatura e b) o efeito benéfico de uma baixa temperatura de entrada é menor quando o ar tem um conteúdo de umidade menor. Por exemplo, abaixo de $2,0 \text{ g}_w/\text{kg}_{\text{ar}}$ o efeito é muito pequeno e, então, pré-resfriar o ar de 18°C para 12°C vai reduzir a umidade na saída em apenas $0,01 \text{ g}_w/\text{kg}_{\text{ar}}$, o que provavelmente não é suficiente para justificar o investimento em um equipamento de resfriamento.

6.4. Influência da velocidade do ar de processo através do desumidificador

Alterando-se a vazão do ar de processo altera-se a velocidade do mesmo através do desumidificador. Quando mais lentamente o ar se move pelo leito do dessecante, menor será a umidade na saída. No caso básico o ar se move através do desumidificador a uma velocidade de $3,08 \text{ m/s}$, saindo com uma umidade de $7,78 \text{ g}_w/\text{kg}_{\text{ar}}$. Se a velocidade for reduzida para $2,2 \text{ m/s}$ a umidade de saída será de $7,47 \text{ g}_w/\text{kg}_{\text{ar}}$ ao invés de $7,78 \text{ g}_w/\text{kg}_{\text{ar}}$. Se a velocidade do ar for aumentada o ar de saída será mais úmido.

Algumas implicações de mudanças na velocidade do ar de processo do ar são: a) se a umidade na saída deve ser baixa, a velocidade do ar de processo é um parâmetro crítico e devem-se instalar equipamentos para monitorar a corrente de ar e controlar o sistema de modo a evitar variações não planejadas na velocidade e b) se a taxa de remoção da umidade da corrente de ar é mais importante do que o ponto de orvalho do ar na saída, então altas velocidades resultarão em equipamentos menores e mais econômicos.

6.5. Influência da temperatura do ar de entrada para reativação

A temperatura do ar de reativação tem um forte efeito no desempenho, pois quanto mais quente está o dessecante, mais facilmente ele desprende a umidade. Essencialmente, quanto mais seco o dessecante se tornar na reativação, mais umidade ele poderá absorver da corrente de ar de processo.

No caso básico assume-se a temperatura de reativação como $115,5^\circ\text{C}$, o que produz uma umidade de saída no lado de processo de $7,78 \text{ g}_w/\text{kg}_{\text{ar}}$. Se a temperatura de reativação for aumentada para 140°C , o ar de processo na saída se torna mais seco, deixando a umidade com $7,37 \text{ g}_w/\text{kg}_{\text{ar}}$.

A Fig. (7) mostra a influência da temperatura de reativação do adsorvente na condição de saída do ar de processo (ar que será insuflado no ambiente). A Fig. (7a) mostra a influência da temperatura de reativação na temperatura do ar de insuflamento na saída do desumidificador TBS₂ (ponto 2 da Fig. 5). Nesta simulação variou-se a temperatura de reativação o que levou a diferentes relações R/P. A Fig. (7b) mostra a influência da temperatura de reativação na umidade absoluta do ar de insuflamento na saída do desumidificador w_2 . Analisando-se os valores obtidos, observa-se que o gradiente de aumento de temperatura é maior que o de desumidificação. A variação no teor de

umidade é de 2% e o de variação de temperatura é 6%. Para aplicações em resfriamento evaporativo, portanto, é melhor trabalhar com a temperatura de reativação mínima.

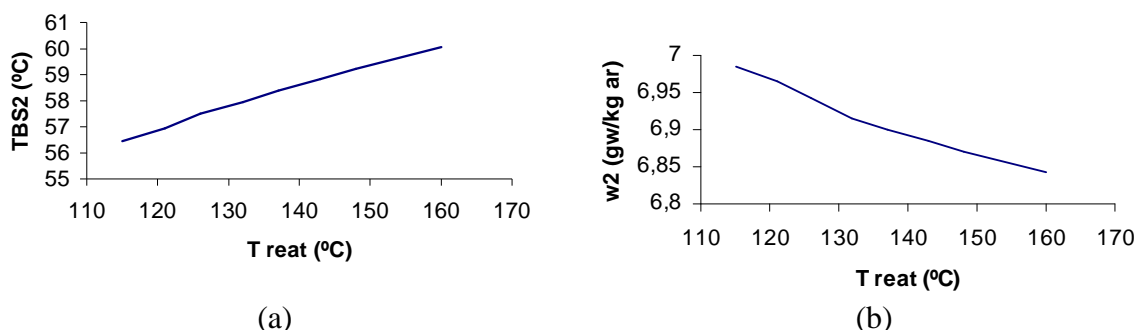


Figura 7. Influência da temperatura de reativação

Assim, o efeito da temperatura de reativação mostra que: a) se condições muito secas na saída são necessárias, devem-se utilizar altas temperaturas de reativação; b) desumidificadores dessecantes podem utilizar fontes de calor de baixa temperatura para a reativação mas, nesse caso, o desumidificador será maior do que aquele que utiliza uma fonte de energia de reativação de alta temperatura para produzir a mesma condição de saída do ar de processo

6.6. Influência da umidade do ar de entrada para reativação.

A Tab. (2) mostra a variação da temperatura e da umidade absoluta do ar de processo (ponto 2 da Fig. 5) em função da variação da umidade do ar de reativação (ponto 7).

Observa-se que, enquanto a umidade do ar de reativação varia de 1,0 g_w/kg_{ar} até 40,0 g_w/kg_{ar} a temperatura do ar de processo varia muito pouco (de 48,11 °C para 48,33 °C), bem como sua umidade (de 8,07 g_w/kg_{ar} para 7,94 g_w/kg_{ar}), mostrando que a sílica-gel é um material adsorvente muito pouco sensível às variações da umidade do ar de reativação.

Tabela 2. Influência da umidade do ar de reativação no ar de processo

w_7 (g _w /kg _{ar})	1,0	5,0	10,0	16,0	20,0	30,0	40,0
TBS_2 (°C)	48,33	48,27	48,27	48,22	48,22	48,17	48,11
w_2 (g _w /kg _{ar})	8,07	7,67	7,71	7,76	7,79	7,86	7,94

6.7. Influência da velocidade do ar de reativação através do desumidificador

Em um desumidificador tipo cilindro rotativo é importante manter tanto o fluxo de ar de reativação quanto a sua temperatura proporcionais à carga de umidade que está sendo removida pelo dessecante. Se a carga de umidade do dessecante aumenta, mais energia deve ser aplicada para garantir uma reativação completa e para manter o sistema em equilíbrio.

O efeito de uma menor velocidade do ar de reativação é similar a ter uma temperatura de reativação mais baixa, porque o calor líquido disponível para o dessecante é uma função do fluxo de ar multiplicado pela diferença de temperatura entre o ar e o dessecante. Em outras palavras, altas temperaturas e grandes correntes de ar de reativação entregam mais calor ao dessecante, o que quer dizer que ele pode adsorver mais umidade do ar de processo porque o material estará completamente seco na reativação. Entretanto, se a temperatura na entrada da reativação permanecer constante e a corrente de ar aumentar além do mínimo necessário para fornecer calor ao dessecante, a energia estará sendo desperdiçada, pois o ar de reativação deixa o desumidificador mais quente do que o necessário, levando o calor para o meio externo (temperatura mais alta no ponto 9 da Fig. 5). Assim, o fluxo de ar de reativação deve ser controlado corretamente para evitar velocidades do ar maiores do que as esperadas através do dessecante.

6.8. Influência da quantidade de dessecante em contato com a corrente de ar.

A quantidade de umidade removida do ar depende da quantidade de dessecante com que o ar entra em contato enquanto se move através do desumidificador. Mais dessecante significa maior quantidade de umidade removida. Existem duas maneiras de colocar mais dessecante em contato com o ar: utilizar um cilindro mais largo ou aumentar a rotação do cilindro. Qualquer das estratégias implicará em um custo energético adicional. Aumentando a largura da roda, aumentará a perda de carga, aumentando o custo de energia do ventilador. Aumentando a rotação, haverá um aumento na capacidade da unidade, mas também aumentará o consumo de energia. Por exemplo, no caso básico a rotação do cilindro é de 18 RPH para uma velocidade do ar de processo de 3,08 m/s. Aumentando-se velocidade do ar para 3,96 m/s a rotação aumentará para 24 RPH quando se mantém constante a temperatura de reativação.

7. CONCLUSÕES

Este trabalho analisa a influência de várias variáveis de operação no desempenho do desumidificador adsorativo e pode-se constatar que: a) uma menor relação R/P conduz a uma menor temperatura do ar de processo na saída do desumidificador e a um menor consumo de energia para a reativação; b) uma umidade do ar de processo, na entrada, maior que a esperada conduz a uma maior temperatura na saída do desumidificador; c) menores temperaturas de entrada melhoram o desempenho na remoção de umidade do desumidificador pois o dessecante terá uma menor pressão de vapor na superfície, podendo atrair e reter mais umidade; d) aumentando a velocidade do ar de processo através do desumidificador ele sairá menos seco pois reduzirá seu tempo de contato com o material adsorativo; e) um aumento na temperatura de reativação leva a um aumento na temperatura do ar de processo. Para aplicações em resfriamento evaporativo é melhor operar com a temperatura de reativação mínima; f) a temperatura do ar de processo varia muito pouco com a variação da umidade do ar de reativação quando o material adsorvente é a sílica-gel; g) a quantidade de umidade removida no desumidificador depende da quantidade de material dessecante com que o ar entra em contato enquanto se move através do desumidificador; h) para cada aplicação deve-se analisar as características próprias do material dessecante tal como sua capacidade de adsorção em função do tempo, entre outras.

8. REFERÊNCIAS

- Belding, W. A., Delmas, M. P. F., 1997, "Novel Desiccant Cooling System Using Indirect Evaporative Cooler", ASHRAE Transactions, vol. 103, part 1, p.841-847.
- Cal, M. P., 1995, "Characterization of Gas Phase Adsorption Capacity of Untreated and Chemically Treated Activated Carbon Cloths", Thesis of Doctor of Philosophy, University of Illinois at Urbana-Champaign, Illinois, USA.
- Camargo, J. R., 2003, "Sistemas de Resfriamento Evaporativo e Evaporativo-Adsorativo Aplicados ao Condicionamento de Ar", Tese de doutorado, Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Engenharia de Guaratinguetá, Guaratinguetá, SP.
- Dobson, R. L., 1987, "Protection of Pharmaceutical and Diagnostic Products Through Desiccant Technology", Journal of Packaging Technology. Vol. 1, n. 4, August 1987, Technical Publications, Inc., 14p.
- GSA Resources, 2002, "Zeolites", disponível em www.gsaresources.com/zeolite.htm. Acessado em 29/05/2002.
- Harriman, L. G., 1990, "The Dehumidification Handbook", Munters Cargocaire, 2nd ed. Amesbury, MA, 194p.
- Jain, S., Dhar, P. L., Kaushik, S. C., 2000b, "Experimental Studies on the Dehumidifier and Regenerator of a Liquid Desiccant Cooling System", Applied Thermal Engineering, 20 (2000), p.253-267.

- Jalalzadeh-Azar, A. A., 2000, "Consideration of Transient Response and Energy Cost in Performance Evaluation of a Desiccant Dehumidification System", ASHRAE Transactions: Research, Minneapolis, USA, p.210-216.
- Jalalzadeh-Azar, A. A., Steele, W. G., Hodge, B. K., 2000, "Performance Characteristics of a Commercially Available Gas-Fired Desiccant System", ASHRAE Transactions: Research, 106 (1), Minneapolis, USA, p.95-104.
- Parker Training, 2000, "Tecnologia Pneumática Industrial", apostila M1001 BR, Parker Hannifin Corporation, 164p.
- Shen, C. M., Worek, W. M., 1996, "The Second-Law Analysis of a Recirculation Cycle Desiccant Cooling System: Cosorption of Water Vapor and Carbon Dioxide", Atmospheric Environment, vol. 30, n.9, p.1429-1435.
- Torrey, M., Westerman, J., 2000, "Desiccant Cooling Technology Resource Guide", Science Applications International Corporation, Jan., 101p.
- Vineyard, E. A., Sand, J. R.; Durfee, D. J., 2000, "Parametric Analysis of Variables that Affect the Performance of a Desiccant Dehumidification System", ASHRAE Transactions: Research, 106 (1), Minneapolis, USA, p.87-94.
- Zhenqian, C., Mincheng, S., 2000, "Indirect Evaporative Cooling and Desiccant Dehumidifying Using Advanced Heat Pipe Heat Exchangers", Proceedings of Conditioning in High Buildings'2000, IIF/CAR, 24/27 ot 2000, Shanghai, p.318-321.

PERFORMANCE ANALYSIS OF A DESICCANT DEHUMIDIFIER APPLIED TO AIR CONDITIONING FOR COMFORT

José Rui Camargo

University of Taubaté – Mechanical Engineering Department
 Rua Daniel Danelli, s/nº - Jardim Morumbi
 12060-440 - Taubaté – SP
 e-mail: rui@mec.unitau.br

Sebastião Cardoso

University of Taubaté – Mechanical Engineering Department
 Rua Daniel Danelli, s/nº - Jardim Morumbi
 12060-440 - Taubaté – SP

Jerônimo dos Santos Travelho

University of Taubaté – Mechanical Engineering Department
 Rua Daniel Danelli, s/nº - Jardim Morumbi
 12060-440 - Taubaté – SP

Abstract. *This paper presents an analyses of the parameters that influence the rotating wheel desiccant dehumidifier's performance, when used as a component of an evaporative-adsorptive system applied to air conditioning for comfort. It is analysed the temperature and humidity influence of the process and the reactivation air, the air speed through the dehumidifier, the reactivation temperature and the reactivation and process air flows relationship (R/P). The analysis is made on a dehumidifier available in the marketing, by means of two softwares of adsorption dehumidifier equipment manufacturers. It is concluded, among others, that lesser reactivation temperatures and lesser R/P relationship take the process air to a better thermodynamic condition to the desirable application.*

Key-words: *desiccant dehumidification, evaporative cooling, air conditioning.*