

SIMULAÇÃO E ANÁLISE DE UM SISTEMA INOVADOR DE CONDICIONAMENTO DE AR USANDO MEIO DESSECANTE

Thomaz Smith Reis

Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais CEFET-MG Dept. de Eng. Mecânica, Amazonas 7675, Belo Horizonte, 30510-000, Tel.: (55) (31)3319-5208, Fax: (55) (31) 3319-5228;
thomasmithr@yahoo.com.br

Paulo Eduardo Lopes Barbieri

Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais CEFET-MG Dept. de Eng. Mecânica, Amazonas 7675, Belo Horizonte, 30510-000, Tel.: (55) (31)3319-5208, Fax: (55) (31) 3319-5228;
barbieri@des.cefetmg.br

José Henrique Martins Neto

Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais CEFET-MG Dept. de Eng. Mecânica, Amazonas 7675, Belo Horizonte, 30510-000, Tel.: (55) (31)3319-5208, Fax: (55) (31) 3319-5228;
henrique@des.cefetmg.br

Resumo: *O trabalho consiste no estudo da aplicação de rodas dessecantes em sistemas de resfriamento evaporativo direto e indireto visando a melhoria do seu desempenho e redução do consumo energético, pois ao contrário dos sistemas convencionais estes não requerem a utilização de compressores. Serão realizadas simulações para a elaboração e implementação dos modelos por meio do software EES (Engineering Equation Solver). Aliado ao desenvolvimento do modelo para sistemas de resfriamento dessecante-evaporativo, pretende-se implantar a plataforma EES nos cursos de Engenharia do CEFET-MG, tal programa computacional foi desenvolvido especificamente para análise energética de sistemas termo-fluidodinâmicos, possuindo sub-rotinas e funções pré-definidas de forma a facilitar a implementação dos códigos. O programa também dispõe de interfaces gráficas que permitem a apresentação dos resultados com bom nível de qualidade. Dessa forma, o trabalho proposto tem como etapas iniciais a auto-aprendizagem e aprimoramento das técnicas de programação em EES, além de uma pesquisa bibliográfica para fundamentação teórica e identificação dos sistemas de ar condicionado que utilizam o processo de resfriamento evaporativo. Num estágio avançado do projeto será elaborado um programa de simulação de um sistema de resfriamento dessecante-evaporativo, o qual permitirá uma análise paramétrica, possibilitando sua aplicação em edificações comerciais, industriais e residenciais.*

Palavras-chave: *dessecante , simulação, refrigeração, resfriamento evaporativo.*

1. INTRODUÇÃO

A crescente necessidade de satisfazer as condições de trabalho e os padrões de conforto gerou um aumento da demanda por condicionamento de ar. Um bom sistema de condicionamento não só deve apresentar consumo energético reduzido como também fornecer ao ambiente o ar condicionado de conforto. O ar condicionado de conforto, mostrado na Figura 1, é definido, segundo a ASHRAE (1989), como o processo de condicionamento de ar objetivando o controle de sua temperatura, umidade, pureza e distribuição, no sentido de proporcionar conforto aos ocupantes do recinto selecionado.

PSYCHROMETRIC CHART - US and SI Units
SEA LEVEL
 Barometric Pressure: 29.921 Inches of Mercury (101.04 kPa)

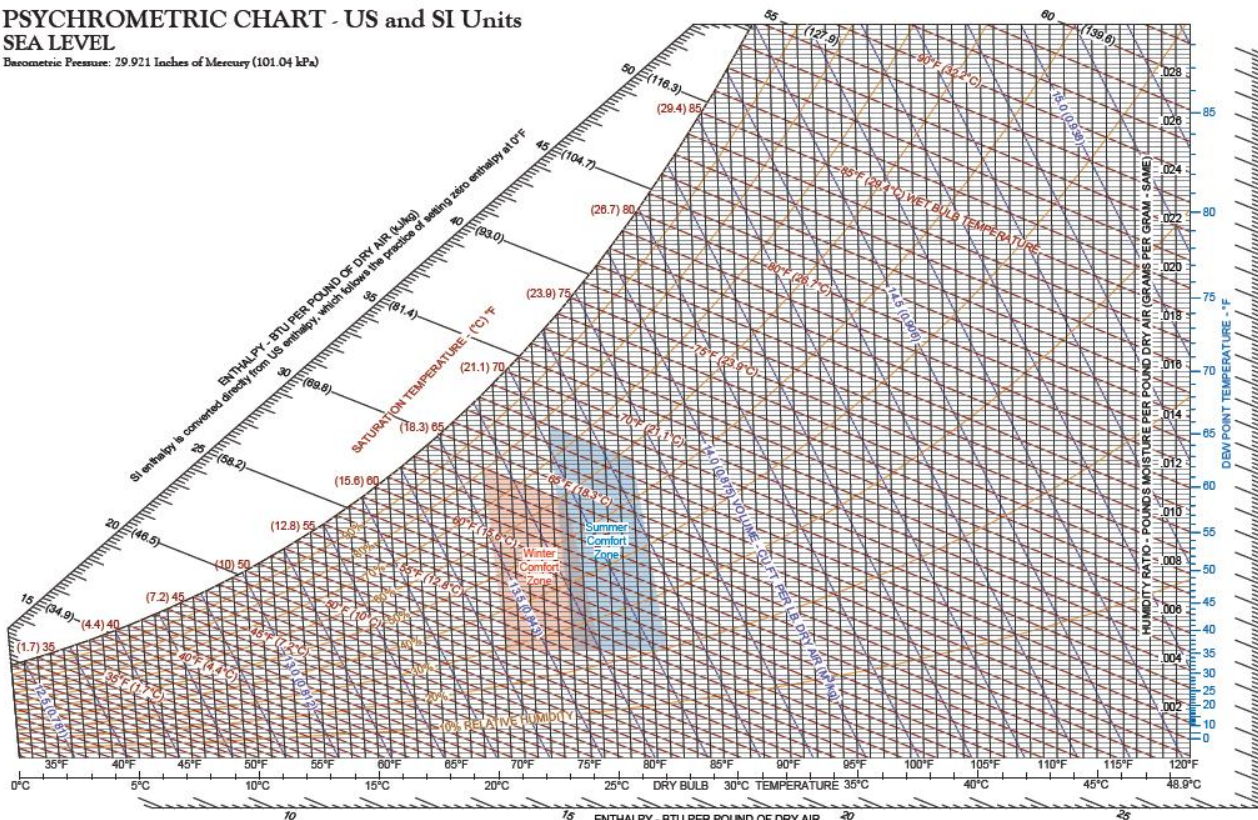


Figura 1: Condições da zona de conforto segundo ASHRAE (1989).

Atualmente a maioria dos sistemas frigoríficos funciona segundo o ciclo de compressão de vapor. Neste ciclo o vapor é comprimido por meio de compressores, os quais, além do elevado custo operacional, possuem um alto consumo de energia, apesar de apresentarem eficiência entre 70% e 88%. Dessa forma, sistemas de condicionamento de ar alternativos vêm sendo desenvolvidos, entre estes se destacam aqueles que utilizam o processo psicrométrico de resfriamento evaporativo direto e/ou indireto. No processo de resfriamento direto, mostrado na Figura 2, o ar entra em contato com o fluido resfriador, geralmente a água, e atinge num processo ideal, o estado de saturação.

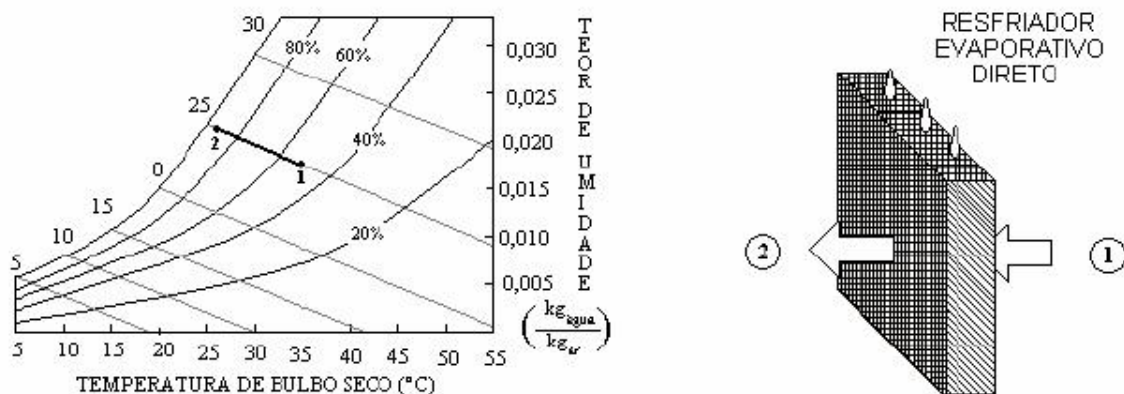


Figura 2: Resfriamento Evaporativo Direto (Camargo, 2003).

No processo de resfriamento indireto, mostrado na Figura 3, a água circula no interior de uma serpentina, ou seja, não há contato direto entre o ar e a água, dessa forma não há variação da umidade absoluta. Em ambos os processos utilizam-se apenas uma bomba hidráulica para

circulação da água e um ventilador para circulação do ar. Dessa forma, em tais sistemas, o consumo de energia é cerca de 10 a 15 vezes menor do que aquele relacionado ao ciclo de compressão de vapor, ou seja, a economia de energia pode atingir 95%.

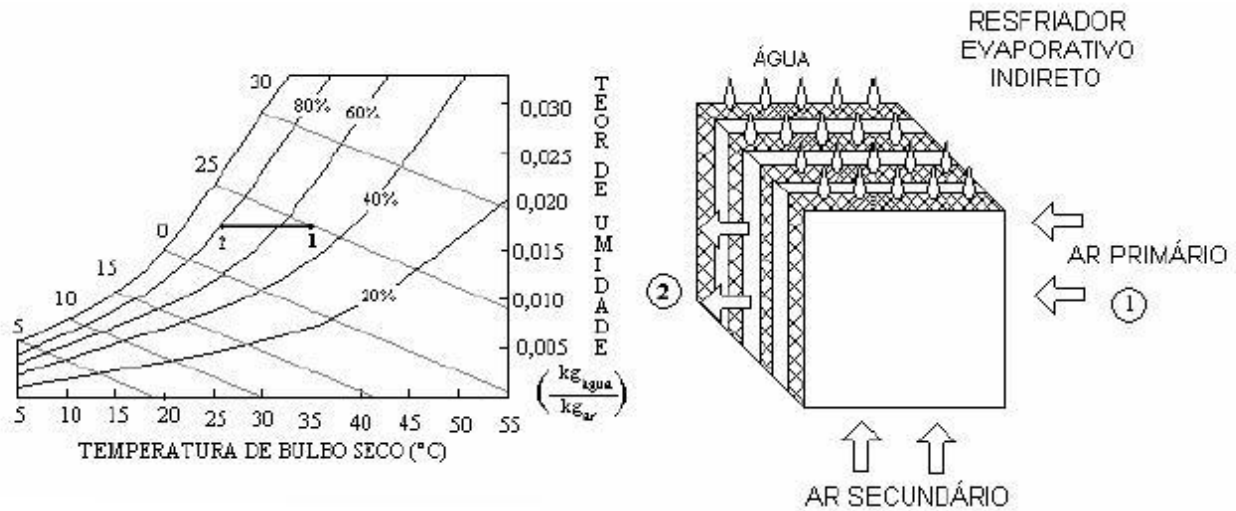


Figura 3: Resfriamento Evaporativo Indireto (Camargo, 2003)

A redução de temperatura, diferença entre a temperatura de entrada e saída do ar no resfriador evaporativo, obtida com o processo de resfriamento evaporativo depende fundamentalmente da umidade relativa do ar. Quanto mais baixa a umidade relativa maior a redução de temperatura obtida. Em grau menor, a redução de temperatura depende também da temperatura de entrada e da pressão barométrica, que por sua vez depende da altitude local. A Tabela 1 mostra a redução de temperatura do ar prevista para o resfriador de ar evaporativo, em função da umidade relativa do ar para temperaturas de entrada do ar de 25°C, 32°C e 37°C. Observando esta tabela pode-se constatar que a redução de temperatura obtida no resfriador evaporativo depende muito mais da umidade relativa do que da temperatura de entrada.

Tabela 1: Redução de temperatura obtida na saída do resfriador evaporativo em função da umidade relativa

Temperatura do Ar	25°C	32°C	37°C
Umidade Relativa [%]	Redução de Temperatura [°C]		
30	8,5	9,5	11,0
40	7,0	8,0	8,5
50	5,5	6,5	7,0
60	4,5	5,0	5,5
70	2,5	2,5	3,0

A temperatura resultante no ambiente depende da carga térmica, da vazão e temperatura do ar insuflado. Normalmente o resfriador evaporativo é dimensionado para que a temperatura no ambiente fique de 2 a 5°C acima da temperatura de saída do resfriador.

Como é mostrado na Tabela 1, o processo de resfriamento evaporativo torna-se eficiente em regiões onde a umidade relativa do ar é baixa, pois nessas condições é possível uma considerável redução de temperatura, a qual permite se atingir a zona de conforto. Entretanto, em regiões de elevada umidade relativa, os resfriadores podem não funcionar de forma adequada, uma vez que a alta umidade impede uma variação significativa de temperatura, e com isso, ocorreria a entrada de ar úmido nos ambientes climatizados. Esse problema pode ser resolvido com a introdução de uma roda dessecante, mostrada na Figura 4. Este tipo de sistema, também conhecido com adsorvente,

remove a umidade do ar por meio de unidades porosas higroscópicas do tipo sílica-gel. Ao entrar em contato com a superfície dessecante, a água presente no ar úmido é condensada e retida na própria estrutura cristalina do material.

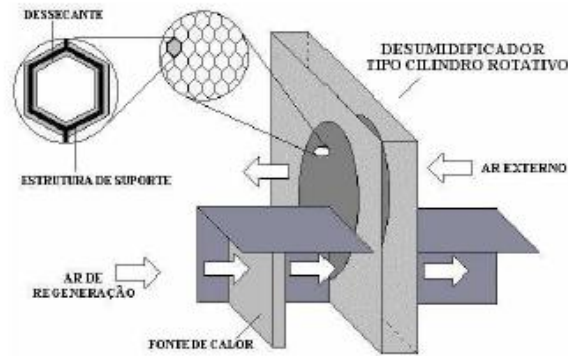


Figura 4: Roda dessecante (Camargo, 2003).

Num processo de desumidificação ideal, mostrado na Figura 5, ocorre um aumento de temperatura, sendo que a entalpia do fluido permanece constante (processos 1-2). Assim, após esse processo, o valor de temperatura é novamente reduzido, de forma significativa, atingindo conseqüentemente a zona de conforto. Além de se reduzir o consumo energético, o sistema dessecante também melhora a qualidade do ar por meio da remoção de bactérias e vapores orgânicos.

O resultado da associação de uma roda dessecante a um sistema dessecante a processos de resfriamento evaporativo direto e indireto é mostrado a seguir:

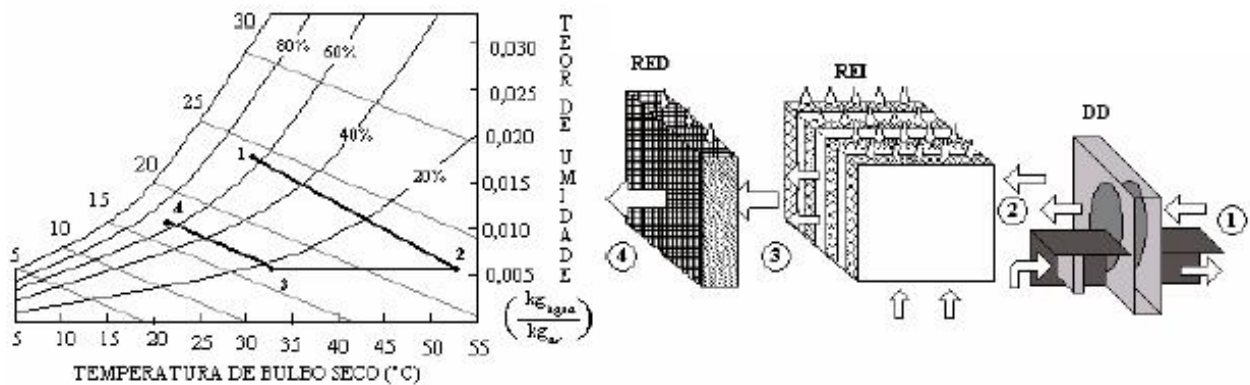


Figura 5: Introdução de uma roda dessecante em processos evaporativos (Camargo, 2003).

O presente trabalho tem como objetivo principal elaborar um programa computacional, utilizando o *software* EES (*Engineering Equation Solver*), para a simulação de um sistema de resfriamento evaporativo que utiliza uma roda dessecante, como mostrado na Figura 5. Atualmente o projeto se encontra em sua fase inicial, ou seja, auto-aprendizagem e aprimoramento das técnicas de programação em EES, além de uma pesquisa bibliográfica para fundamentação teórica e identificação dos sistemas de ar condicionado que utilizam o sistema evaporativo. Dessa forma, será apresentada neste trabalho a plataforma EES e suas características.

Vale salientar que além da simulação de um sistema de resfriamento evaporativo-dessecante, a pesquisa proporcionará a introdução no curso de graduação em Engenharia Industrial Mecânica à plataforma EES.

2. METODOLOGIA

Como mencionado acima a pesquisa se encontra em seu estágio inicial, ou seja, a avaliação e aprendizagem da plataforma EES. Nesse sentido, foi elaborada a simulação de um motor térmico de Carnot, no qual se calcula a transferência de calor e o trabalho realizado. Inicialmente, utilizava-se um fluido fixo e a partir daí, eram calculados os pontos no diagrama T-s de acordo com os parâmetros de entrada, relativos aos valores dos reservatórios de alta e baixa temperatura.

Numa segunda etapa foi implementada, por meio de uma janela do EES que apresenta construção semelhante ao Delphi – *Diagram Window*, a possibilidade de se selecionar o fluido de trabalho. Essa janela funciona como link de atalho aos comandos pré-definidos na janela de equações do EES e a outros dados como tabelas e gráficos. A convergência em uma única tela (*Diagram Window*), mostrada na Figura 6, proporcionou uma visualização mais clara do problema, além de permitir que outros usuários alterem os valores de entrada e saída.

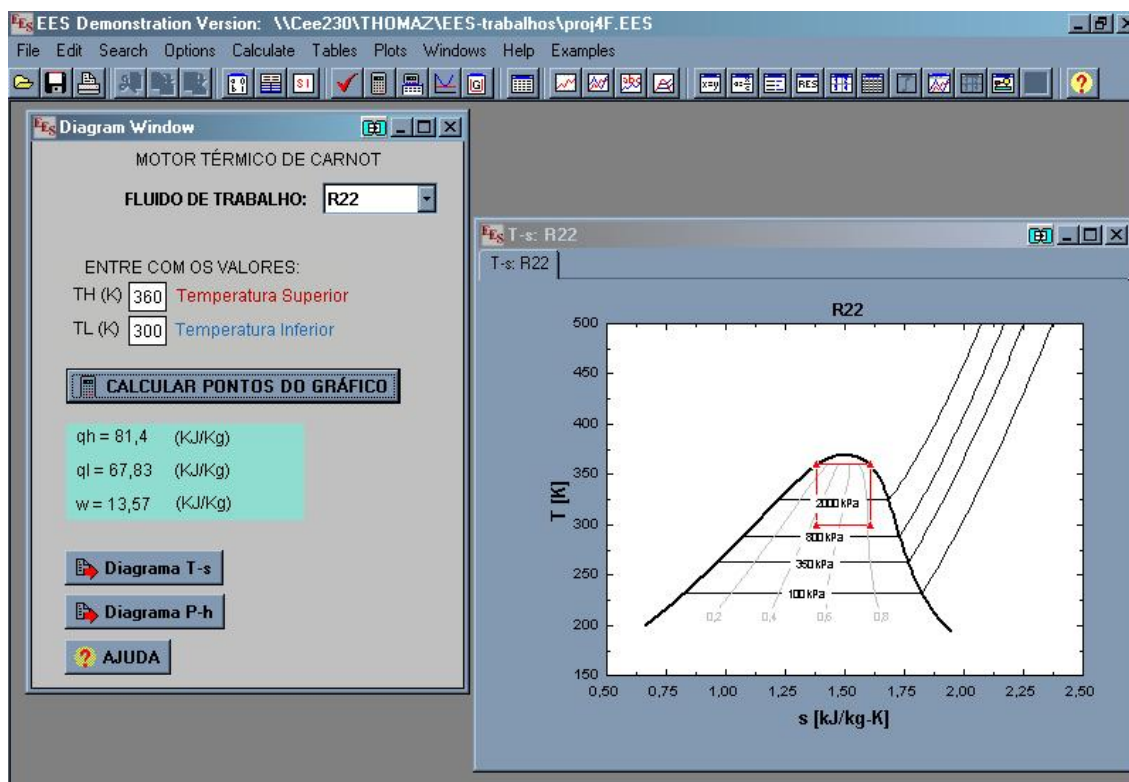


Figura 6: Motor térmico de Carnot.

A partir desse primeiro processo, foi possível se familiarizar com o programa, verificando que este atende às necessidades do presente trabalho, pois incorpora em uma mesma plataforma um banco de dados de propriedades termo-físicas de diferentes fluidos, um ambiente de programação e uma interface gráfica.

Concluída a familiarização do programa computacional iniciou-se a pesquisa bibliográfica sobre os principais trabalhos envolvendo o resfriamento evaporativo, destacando-se o de Camargo (2003), no qual é realizado um estudo das potencialidades e limitações de sistemas de condicionamento de ar por resfriamento evaporativo e evaporativo-adsorativo, visando o conforto térmico e a redução do consumo de energia. Neste trabalho, são propostos sistemas de resfriamento para utilização em regiões onde as condições de conforto não são atingidas apenas pelo resfriamento evaporativo, além de um posterior estudo sobre a aplicação desses sistemas em várias cidades.

Atualmente, um novo procedimento de resfriamento evaporativo vem sendo estudado. Nesse procedimento o ar é resfriado, utilizando-se o ciclo de Maisotsenko ou Ciclo M, no qual o resfriamento evaporativo fracionado, ou seja, o fluido de trabalho, o ar, é dividido em dois fluxos: o primeiro é resfriado e em seguida é misturado ao segundo. Este processo acontece em vários

estágios até que o fluido esteja totalmente saturado e toda a carga seja usada. Depois de passar por todo esse processo, uma quantidade seis vezes maior de calor pode ser removida do fluido de trabalho em relação aos processos de resfriamento convencionais. Pode-se dizer que o Ciclo M é um tipo de processo inovador e ainda pouco conhecido, mas pode aumentar de forma significativa o desempenho dos condicionadores de ar que utilizam o processo de resfriamento evaporativo.

Nesse sentido, na etapa final do projeto, pretende-se elaborar um programa computacional de simulação do Ciclo M e associa-lo a um elemento dessecante.

5. REFERÊNCIAS

- ASHRAE. 1989, “ASHRAE Handbook Fundamentals”, American Society of Heating, Refrigeration and Air Conditioning, Atlanta.
- ASHRAE, 1996, “ASHRAE Handbook Systems and Equipments”, American Society of Heating, Refrigeration and Air Conditioning, Atlanta,
- ASHRAE, 1994, “ASHRAE Refrigeration”, American Society of Heating, Refrigeration and Air Conditioning, Atlanta, 1994.
- ASHRAE, 1995, “ASHRAE Applications”, American Society of Heating, Refrigeration, and Air Conditioning, Atlanta, 1995.
- Camargo, J. R., 2003, “Sistemas de Resfriamento Evaporativo e Evaporativo Adsorptivo Aplicados ao Condicionamento de Ar”, Tese de Doutorado, Faculdade de Engenharia de Guaratinguetá, Universidade Estadual Paulista.
- McQuiston F. C. & Spitler J. D., 1994, “Cooling and Heating Load Calculation”, 2ed., American Society of Heating Refrigeration and Air Conditioning, Atlanta,
- Stoeker, W. F. & Jones J. W., 2002, “Refrigeração Industrial”, McGraw Hill.
- Maisotsenko, V. “The Maisotsenko Cycle: Technical”. Disponível em: <<http://www.idalex.com>>, Acesso em: 15/Out./2006.

SIMULATION AND ANALYSIS OF AN INNOVATIVE CONDITIONED AIR SYSTEM BY USING DESICCANT WHEELS

Thomaz Smith Reis

Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais CEFET-MG Dept. de Eng. Mecânica, Amazonas 7675, Belo Horizonte, 30510-000, Tel.: (55) (31)3319-5208, Fax: (55) (31) 3319-5228;
thomasmithr@yahoo.com.br

Paulo Eduardo Lopes Barbieri

Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais CEFET-MG Dept. de Eng. Mecânica, Amazonas 7675, Belo Horizonte, 30510-000, Tel.: (55) (31)3319-5208, Fax: (55) (31) 3319-5228;
barbieri@des.cefetmg.br

José Henrique Martins Neto

Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais CEFET-MG Dept. de Eng. Mecânica, Amazonas 7675, Belo Horizonte, 30510-000, Tel.: (55) (31)3319-5208, Fax: (55) (31) 3319-5228;
henrique@des.cefetmg.br

Abstract: *The work consists of the study of the application of Desiccant Wheels in systems of direct and indirect evaporative cooling aiming at the improvement of its performance and reduction of the energy consumption, therefore differently of the conventional systems these do not require the use of compressors. Simulations for the elaboration and implementation of the models will be done by means of software EES (Engineering Equation Solver). Ally to the development of the model for systems of desiccant-evaporative cooling, intends itself to implant platform EES in the courses of Engineering of the CEFET-MG. Such computational program was developed specifically for energy analysis of fluid and thermodynamic systems, having possessed sub-routines and daily pay-define functions to facilitate the implementation of the codes. The program also makes use of graphical*

interfaces that allow the presentation of the results with good level of quality. Thus, the considered work has as initial stages the auto-learning and improvement of the techniques of programming in EES, beyond a bibliographical research for theoretical recital and identification of the conditional air systems that use the evaporative system. In an advanced period of training of the project a program of simulation of a system of desiccant-evaporative cooling will be elaborated, which will allow a parametric analysis, making possible its application in commercial, industrial and residential constructions.

Keywords: *desiccant, simulation, refrigeration, evaporative cooling*