

METODOLOGIA PARA DETERMINAÇÃO QUALITATIVA DA QUEDA DE PRESSÃO EM PAINEL EVAPORATIVO UTILIZADO EM UNIDADE DE RESFRIAMENTO EVAPORATIVO DIRETO ATRAVÉS DO CÓDIGO CFX

Liomar de Oliveira Cachuté

liomar.cachute@ig.com.br

José Carlos Pereira Novaes

novaes.josecarlos@mpsa.com

Carlos Alberto Chaves

carlosachaves@yahoo.com.br

José Carlos Lombardi

lombardi@inf.unitau.br

José Rui Camargo

rui@mec.unitau.br

Universidade de Taubaté, Departamento de Engenharia Mecânica, Rua Daniel Danelli, s/n, Cep 12060-440 Taubaté-SP.

Resumo.

Este trabalho apresenta a simulação do processo de resfriamento evaporativo direto, fazendo uso das práticas da Dinâmica dos Fluidos Computacional, através do programa de simulação computacional ou código CFX, utilizando painel evaporativo disponível no mercado. Seu objetivo é a visualização do processo de queda de pressão, através da simulação do escoamento no qual está inserido, levando em consideração suas características dimensionais, variáveis de estado desenvolvendo assim, uma ferramenta de avaliação de painéis de contato utilizando o programa ou código CFX.

Palavras-Chave: Simulação computacional, Dinâmica dos Fluidos Computacional, Resfriamento evaporativo, Código CFX, Painel evaporativo.

1. INTRODUÇÃO

O método de simulação numérica aplicada às áreas de Mecânica dos Fluidos e Transferência de Calor, conhecido como DFC (Dinâmica dos Fluidos Computacional) ou CFD (“Computational Fluid Dynamic”), é atualmente uma ferramenta poderosa para a solução de problemas, nestas e em outras áreas do conhecimento científico ou tecnológico, segundo Fortuna, A.R. (2000).

O processo de resfriamento evaporativo, segundo Camargo e Ebinuma (2002), consiste na utilização da evaporação da água através da passagem de um fluxo de ar, provocando a redução na temperatura do ar. Atualmente são conhecidos o resfriamento evaporativo direto e o indireto, sendo que no primeiro, o ar é resfriado e umidificado ao entrar em contato com uma superfície úmida ou jatos de água. Já tipo indireto, o ar se mantém separado do processo de evaporação da água transferindo apenas calor sensível para uma corrente de ar secundária. Este tipo de resfriamento apresenta inúmeras vantagens sobre os processos de condicionamento de ar convencionais: não usam fluidos refrigerantes que agredem o meio-ambiente; apresentam baixo consumo de energia renovam constantemente o ar do ambiente, reduzindo drasticamente a proliferação de fungos e bactérias e tem sua eficiência aumentada na medida em que aumenta a temperatura e diminui a umidade do ar.

Nos trabalhos desenvolvidos por Camargo e Ebinuma (2002), foram mostradas as relações entre as principais grandezas físicas envolvidas no resfriamento evaporativo, permitindo assim a simulação numérica do processo. Castro e Pimenta (2004) abordaram a teoria que rege os princípios de funcionamento de um sistema de resfriamento evaporativo direto por painéis de contato apresentando uma modelagem matemática da transferência de calor e massa em painéis evaporativos.

2. FORMULAÇÃO DO PROBLEMA

Possibilitar a simulação e avaliação qualitativa da queda de pressão em painel evaporativo utilizado em unidade de resfriamento evaporativo direto. A visualização do processo de queda de pressão, com a simulação do escoamento através do painel evaporativo, leva em consideração as características dimensionais e variáveis de estado, desenvolvendo assim, uma ferramenta com possibilidades de aplicação no desenvolvimento deste tipo de painel.

3. MÉTODO

O processo de resfriamento evaporativo direto, utilizando painel evaporativo umedecido, pode ser modelado matematicamente através das equações da transferência de calor e massa, fazendo um balanço de massa e energia relacionado ao fluxo de ar através do painel, mostrado na Fig.1. Nesta modelagem são feitas algumas considerações: o ar seco e vapor de água têm comportamento de gás ideal; o ar é uma mistura de dois gases (ar seco e vapor de água); as perdas de calor para o ambiente são desprezíveis, ou seja, o processo é adiabático; o processo se dá em regime permanente; as variações de energia cinética e potencial são mínimos e, portanto podem ser desprezadas; a água do sistema esta em constante circulação, apresentando temperatura à de bulbo úmido do ar ambiente.

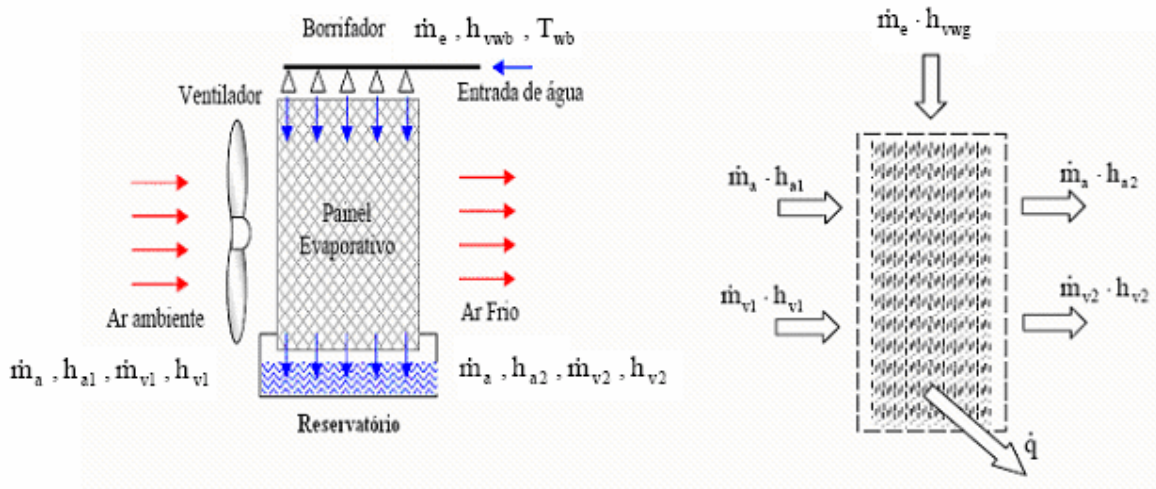


Figura 1 - Balanço de massa e energia relacionadas ao fluxo de ar através do painel evaporativo

Aplicando a 1ª Lei da Termodinâmica ao fluxo de ar através do painel:

$$-\dot{q} + \dot{m}_a h_{a1} + \dot{m}_{v1} h_{v1} + \dot{m}_e h_{vwb} = \dot{m}_a h_{a2} + \dot{m}_{v2} h_{v2} \quad (1)$$

Onde:

$\dot{q}$	Taxa de transferência de calor (W)
$\dot{m}_a$	Vazão mássica de ar seco (kg/s)
$\dot{m}_{v1}$	Vazão mássica de vapor d'água na entrada (kg/s)
$\dot{m}_{v2}$	Vazão mássica de vapor d'água na saída (kg/s)
$\dot{m}_e$	Vazão mássica de vapor d'água evaporado (kg/s)
h_{a1}	Entalpia do ar seco na entrada do painel (J/kg)

h_{a2}	Entalpia do ar seco na saída do painel (J/kg)
h_{vwb}	Entalpia do vapor d'água na temperatura de bulbo úmido(J/kg)
h_{v1}	Entalpia do vapor d'água na entrada do painel (J/kg)
h_{v2}	Entalpia do vapor d'água na saída do painel (J/kg)
cp_a	Calor específico do ar seco (J/kgK)

Para o balanço de massa na corrente de ar:

$$\dot{m}_e = \dot{m}_{v2} - \dot{m}_{v1} \quad (2)$$

Dividindo (2) m_a :

$$\dot{m}_e = \dot{m}_a (w_2 - w_1) \quad (3)$$

Onde w_1 e w_2 são as umidades absolutas do ar na entrada e saída do painel.

Substituindo (3) em (1):

$$\dot{q} = \dot{m}_a (h_{a1} - h_{a2}) + \dot{m}_a (w_1 h_{v1} - w_2 h_{v2}) + \dot{m}_a (w_2 - w_1) h_{vwb} \quad (4)$$

Considerando que a entalpia do vapor de água no ar se encontra no estado saturado:

$$\dot{q} = \dot{m}_a (cp_a (T_1 - T_2) + w_1 (h_{g1} - h_{gwb}) - w_2 (h_{g2} - h_{gwb})) \quad (5)$$

A entalpia e umidade absoluta em (5) podem ser representadas como funções das respectivas temperaturas e sendo as condições de entrada do ar e vazão mássica conhecidas, a taxa de transferência de calor é função apenas da temperatura do ar na saída do painel.

3.1 Queda de pressão no painel evaporativo

Segundo Castro e Pimenta (2004), o fluxo de ar sofre um processo de contração ao passar através do painel, como consequência da redução da área de passagem. Esse processo acarretará uma queda de pressão exercida pelo ar, em razão do seu contato com as paredes da estrutura do painel em forma de colméia e também pelas variações constantes em seu volume, ora contraindo ora expandindo.

Esta queda de pressão pode ser representada em função da pressão dinâmica, resultante do escoamento de ar através do painel, pela seguinte relação:

$$\Delta P = C \frac{(\rho v^2)}{2} \quad (6)$$

Sendo C e ρ constantes características do painel evaporativo, podemos expressar essa relação da queda de pressão ΔP unicamente em função da velocidade do ar através dele (v) e com isso teremos:

$$\Delta P = C_0 v^2 \quad (7)$$

Os fabricantes de painéis evaporativos fornecem informações a respeito da queda de pressão para várias espessuras fabricadas, ou seja, a constante C_0 conforme mostrado Fig.2. Desta forma pode ser verificado que a queda de pressão também pode ser expressa em função da espessura do painel evaporativo.

$$\Delta P = \xi L v^2 \quad (8)$$

Onde L é o comprimento do painel e ξ constante característica do painel evaporativo determinada pelo seu fabricante, segundo Castro e Pimenta (2004).

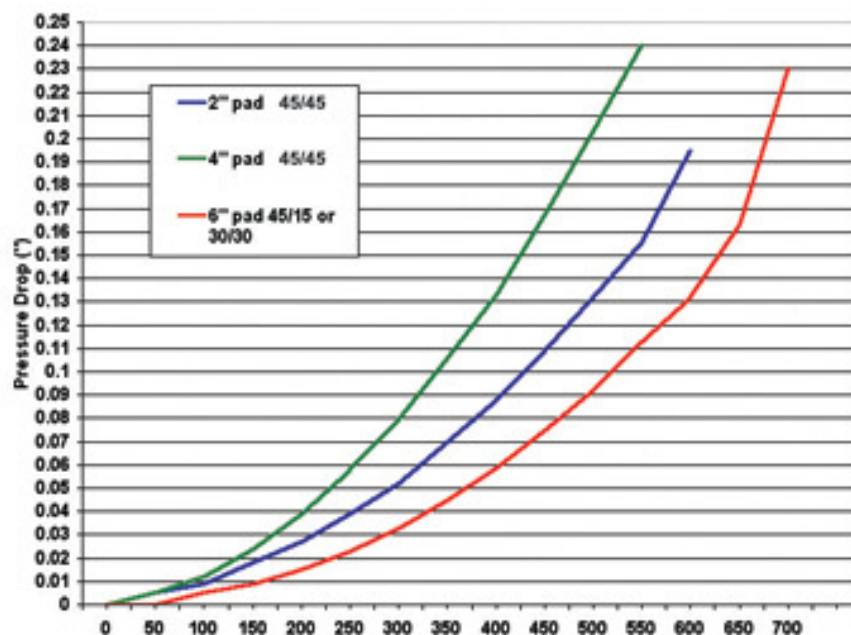


Figura 2 – Curva queda de pressão x velocidade do escoamento (“General Shelters of Texas”)

4. SIMULAÇÃO DO PROCESSO DE RESFRIAMENTO EVAPORATIVO DIRETO

4.1 Parâmetros de simulação

Para a simulação do processo de resfriamento evaporativo direto, foi utilizado um painel evaporativo da empresa “General Shelters of Texas”, modelo 6-30x30, fabricado com folhas de celulose corrugada, estruturada em forma de colméia, colada e impermeabilizada, conforme mostrado na Fig.3. As dimensões do painel são: largura (x) = 0,30m; altura (y) = 0,27m e espessura(z) = 0,15m.

A temperatura de entrada do ar foi fixada em 25°C e a temperatura inicial da água em 18°C.

As velocidades do fluxo de ar através do painel foram de 0,5 m/s a 3,5 m/s. A pressão atmosférica considerada foi de 101,32 kPa. Com os dados obtidos através da curva para painéis com espessura 0,15m (6”), fornecida pelo fabricante, conforme Fig.2 e através da equação (8) foi determinada a constante $\xi = 0,27 \text{ N.s}^2/\text{m}^5$.

Estes parâmetros foram inseridos no programa ou código CFX versão 5.6, que executou o processo de simulação numérica do escoamento de ar através do painel evaporativo, especificado anteriormente e gerou como resultado, as figuras que são apresentadas a seguir.

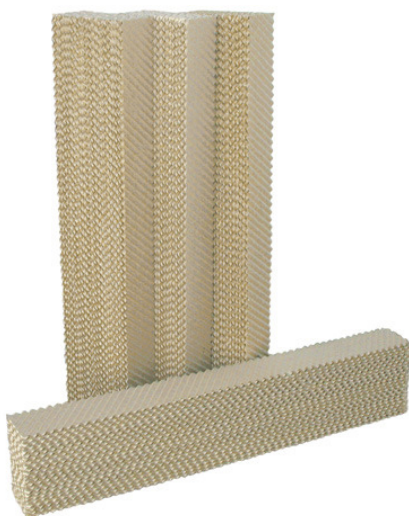


Figura 3 – Painéis evaporativos, fabricante “General Shelters”.

4.2 Figuras obtidas na simulação do processo CFX

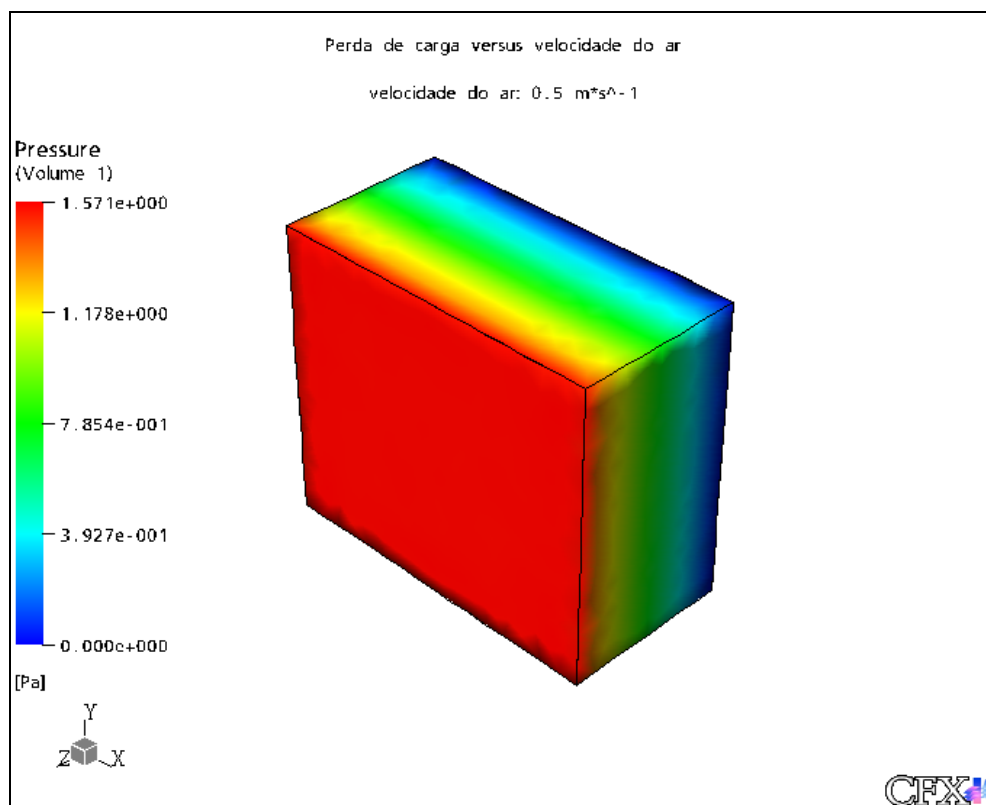


Figura 4 – Queda de pressão x velocidade do ar, $v = 0,5 \text{ m/s}$.

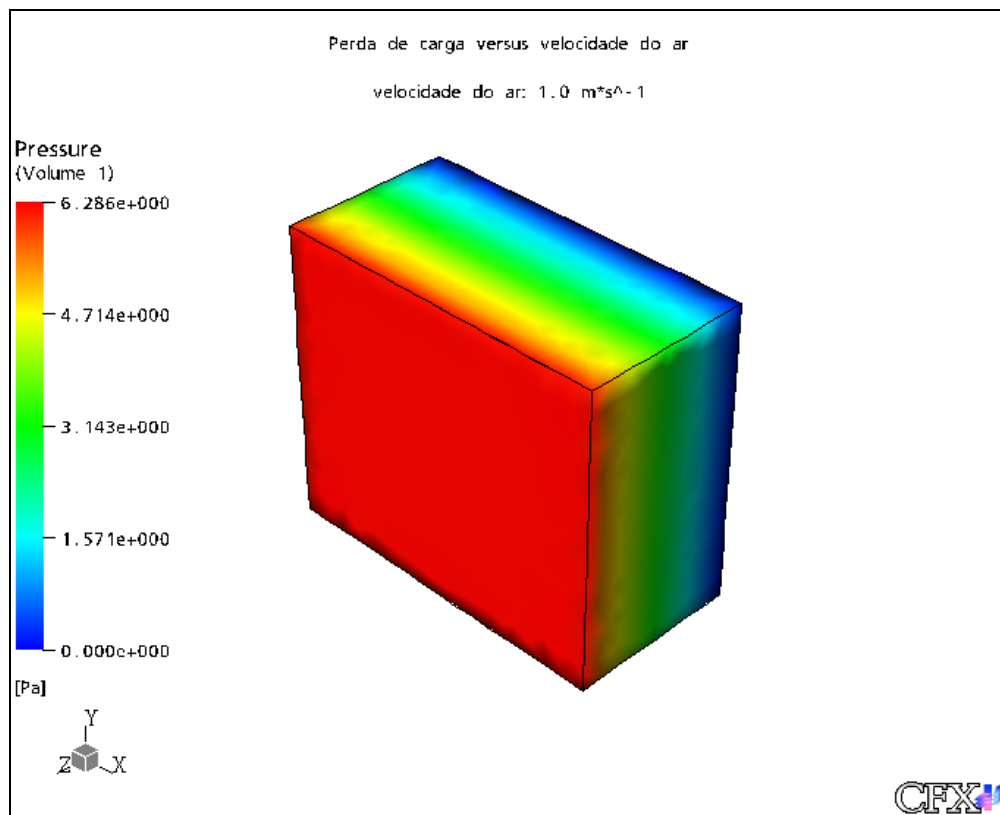


Figura 5 – Queda de pressão x velocidade do ar, $v = 1,0 \text{ m/s}$.

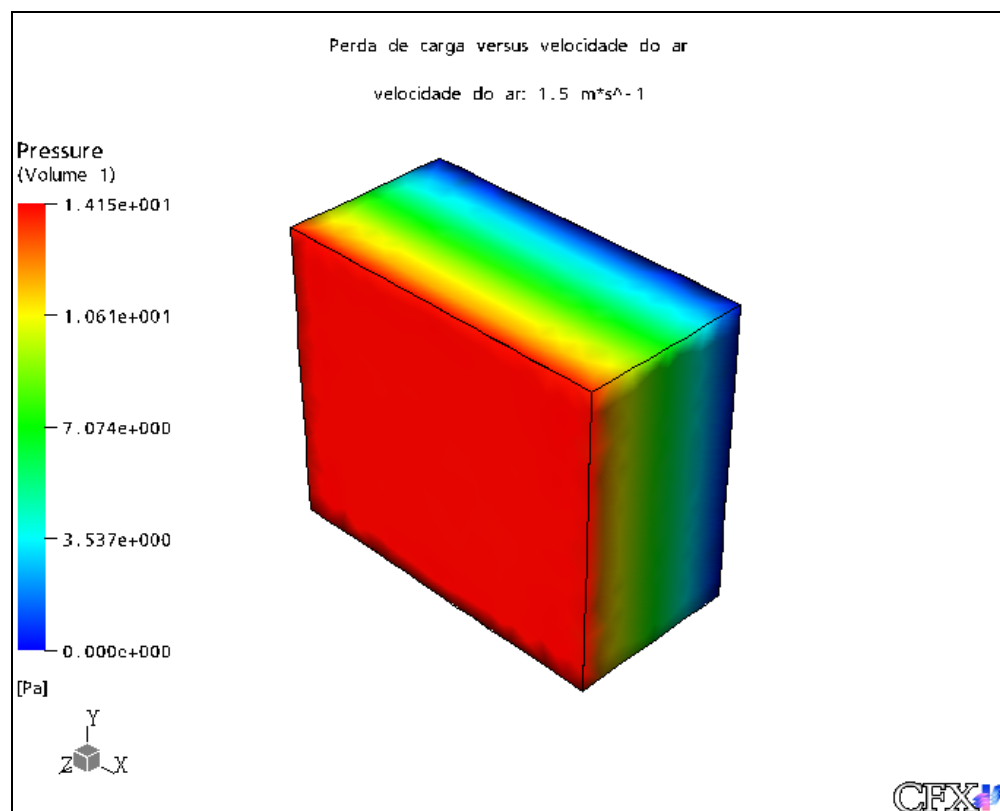


Figura 6 – Queda de pressão x velocidade do ar, $v = 1,5 \text{ m/s}$.

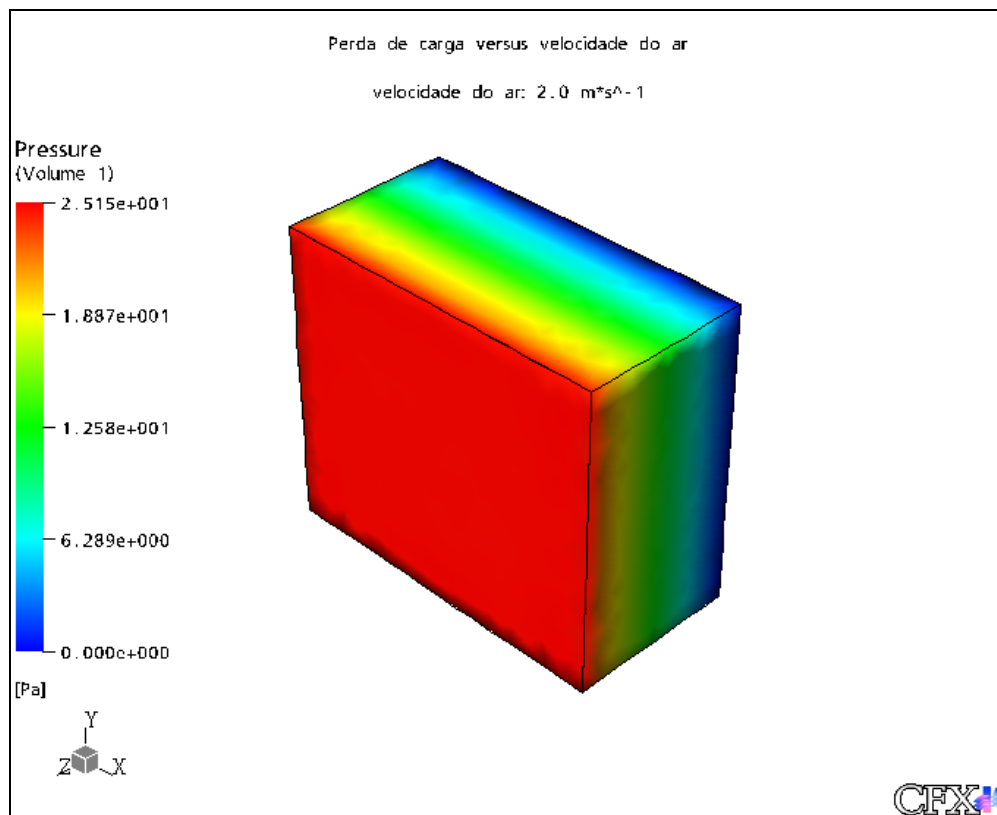


Figura 7 – Queda de pressão x velocidade do ar, $v = 2,0 \text{ m/s}$.

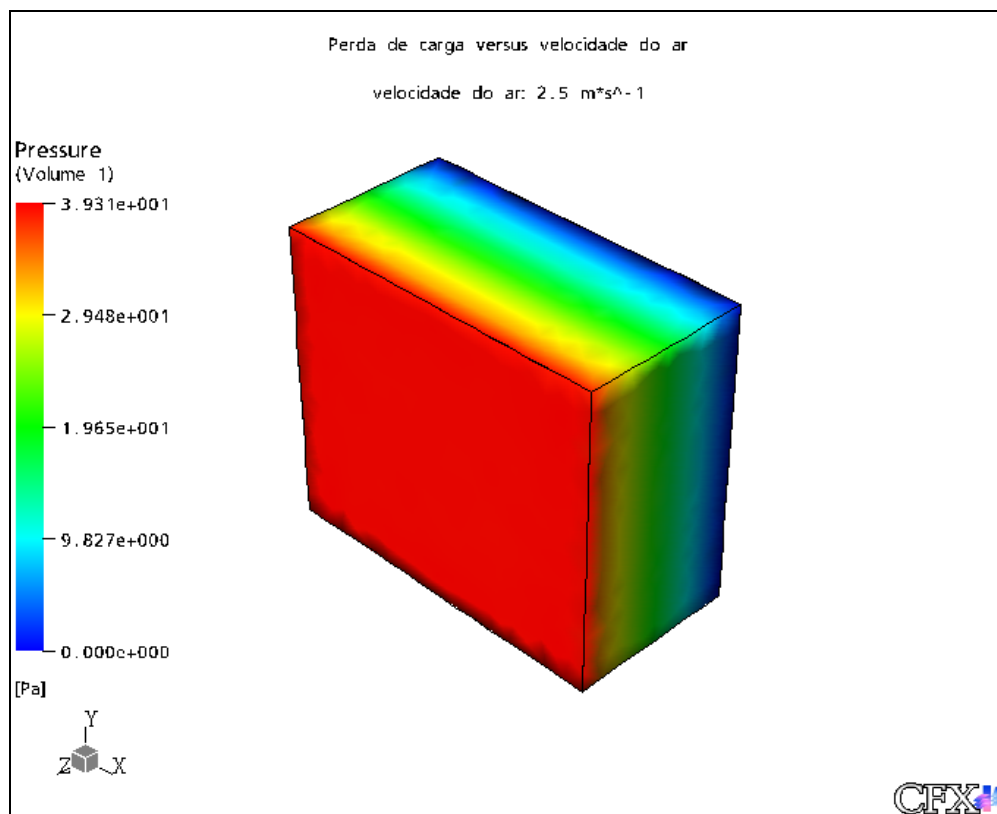


Figura 8 – Queda de pressão x velocidade do ar, $v = 2,5 \text{ m/s}$.

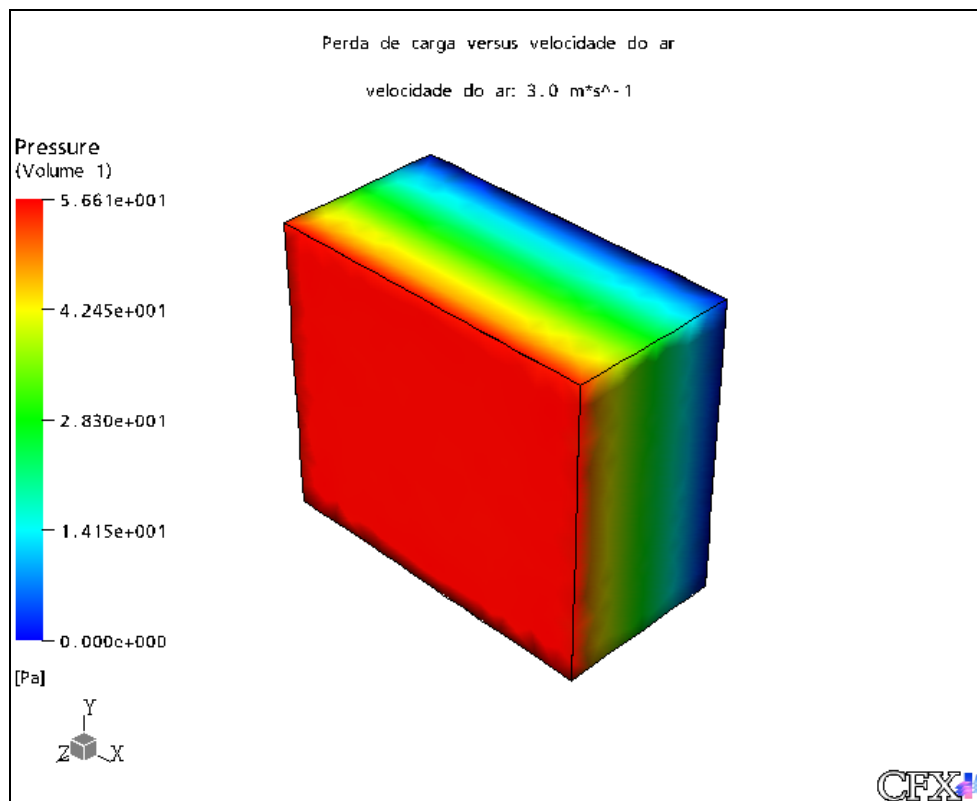


Figura 9 – Queda de pressão x velocidade do ar, $v = 3,0 \text{ m/s}$.

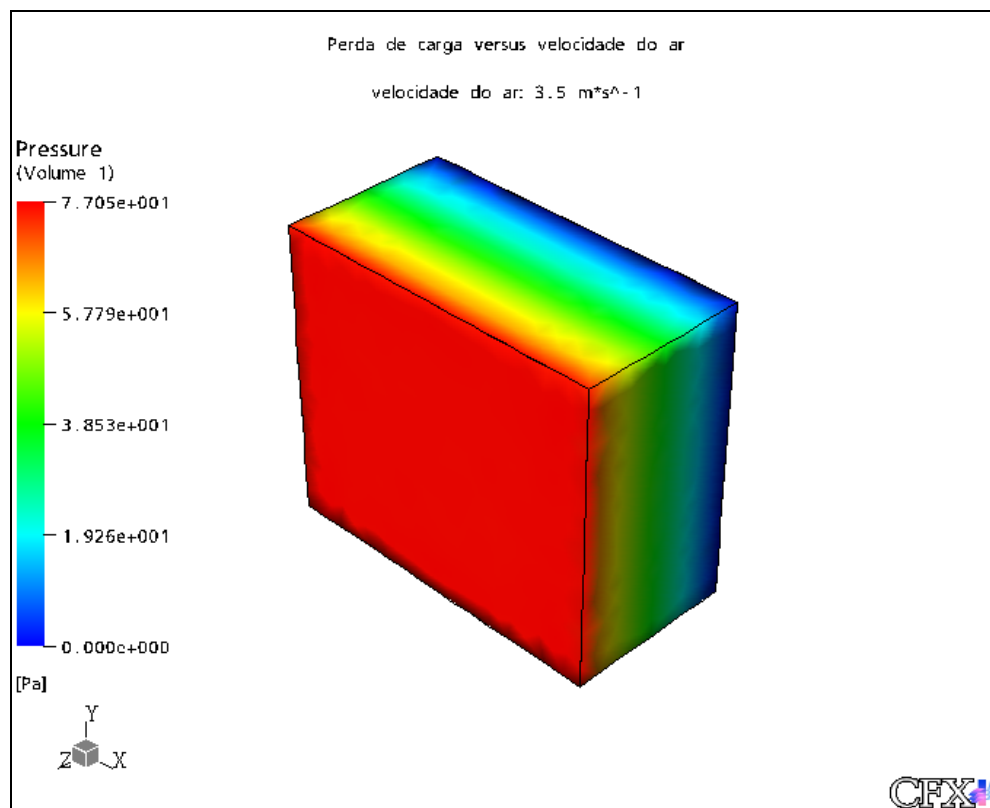


Figura 10 – Queda de pressão x velocidade do ar, $v = 3,5 \text{ m/s}$.

5. COMENTÁRIOS E CONCLUSÕES

O modelo matemático desenvolvido foi aplicado, com auxílio das técnicas disponíveis na área da Dinâmica dos Fluidos Computacional (DFC), a um processo de resfriamento evaporativo direto utilizando o painel evaporativo, conforme catálogo “General Shelters”, com dimensões e geometria especificadas.

Foi realizada a simulação deste processo com a utilização do código CFX com o objetivo de avaliar, de forma qualitativa, a queda de pressão ao longo do fluxo de ar, através do painel evaporativo devidamente umedecido por um fluxo constante de água e com temperatura pré-estabelecida.

Os resultados desta simulação estão representados nas Figuras 4 a 10, permitindo uma razoável visualização da queda de pressão no processo, para as velocidades do ar de 0,5 a 3,5 m/s.

Desta forma podemos concluir que, a metodologia apresentada é uma ferramenta adequada para avaliação deste tipo de painel, utilizado em processo de resfriamento evaporativo direto.

Fica como sugestão para trabalhos futuros, a aplicação desta metodologia com o objetivo de quantificar a queda de pressão, otimizar geometria, avaliar novos materiais de construção e fazer a comparação entre modelos diversos destes painéis.

REFERÊNCIAS

- Camargo, J.R. e Ebinuma, C. D., 2002, Modelo matemático para resfriamento evaporativo direto e indireto para sistemas de condicionamento de ar, IX Congresso Brasileiro de Engenharia e Ciências Térmicas - ENCIT, Caxambu – MG, Brasil, CIT02-0855.
- Castro W.P. e Pimenta, J.M. D, 2004, Modelagem e simulação em painéis evaporativos diretos, 10° Congresso Brasileiro de Ciências Térmicas e Engenharia, ENCIT 2004, ABCM, Rio de Janeiro, RJ, Brasil.
- CFX, “Software for Fluid Dynamics”, ANSY, versão 5.6
- Fortuna, A.R. Técnicas Computacionais para Dinâmica dos Fluidos: Conceitos Básicos e Aplicações, Editora da Universidade de São Paulo, São Paulo, SP, Brasil, 2000.
- General Shelters, General Shelters of Texas, S.B., Ltd. Center, Texas 75935, USA. Disponível em < <http://www.kuulpads.com>>. Acesso : 03 maio 2006.

DIREITOS AUTORAIS

Os autores são os únicos responsáveis pelo conteúdo do material impresso incluído no seu trabalho.

METHODOLOGY FOR QUALITATIVE DETERMINATION OF PRESSURE DROP IN EVAPORATIVE PANEL USED AT DIRECT EVAPORATIVE COOLING UNIT TROUGH THE CFX CODE

Abstract. *This work presents the simulation of the direct evaporative cooling process, doing use of the practices of the CFD, through the program of simulation computational or code CFX, utilizing evaporative panel which it is available in the market. Its objective is the viewing of the drop pressure process, through the simulation of the flow in which is inserted, leading in consideration its dimension characteristics , variables of state, developing thus a contact panels evaluation tool with utilization of program or code CFX.*

Key words: *Numerical simulation, computational fluid dynamics, evaporative cooling, CFX code evaporative panel.*