

ANÁLISE TÉRMICA DE UM AMBIENTE ATRAVÉS DA DINÂMICA DOS FLUIDOS COMPUTACIONAL

Fabício Celinski (1); Gerson H. Dos Santos (2); Nathan Mendes (3)

Pontifícia Universidade Católica do Paraná - PUCPR/ CCET

Laboratório de Sistemas Térmicos

Rua Imaculada Conceição, 1155, Curitiba-Pr, 80215-901,

Tel: 041-330-1691

(1) fab.c@pop.com.br

(2) ghsantos@ccet.pucpr.br

(3) nmendes@ccet.pucpr.br

RESUMO

Neste trabalho descreve-se uma análise da performance térmica de um ambiente através do software CFX. Este programa, através da utilização da DFC (*Dinâmica dos Fluidos Computacional*), pode prever a distribuição da velocidade do fluxo de ar, a temperatura e pressão em qualquer localização do ambiente. Para a simulação, modelou-se uma edificação formada por janelas e porta acopladas com o solo e o piso. Considerando como condição de contorno para as superfícies externas a temperatura e o coeficiente de convecção constantes, apresentam-se na seção de resultados a evolução da temperatura interna, os perfis de temperatura, vetores velocidades e os coeficientes de convecção interno para todas as superfícies da edificação.

ABSTRACT

In this work, a dynamic analysis of building thermal performance using the CFX program is described. CFD programs can be used to provide data such as room air temperature distribution, air speed and pressure fields for building thermal analyses. For the simulation, a building composed of two windows and one door coupled with the ground was modeled. The external convection coefficient and external temperature were considered constant as boundary condition. In the results section, the internal temperature evolution, the temperature and velocity profiles and the internal convection coefficients for all the building surfaces are presented.

1. INTRODUÇÃO

Desde a década de 80, a utilização de ferramentas de CFD (*Computational Fluid Dynamics*) ou DFC (*Dinâmica dos Fluidos Computacional*) tem sido cada vez mais aplicada na simulação de escoamentos de fluidos. Os recentes avanços na capacidade de processamento dos computadores tornaram a análise dos resultados menos trabalhosos, reduzindo tempo de simulações e conseqüentemente o custo. Fortuna (2000) descreve que um dos objetivos básico da DFC é reduzir o número de experimentos e explorar fenômenos que não poderiam ser estudados em laboratório de forma prática.

Em ambientes construídos, a DFC tem sido largamente aplicada na simulação de sistemas de aquecimento, ventilação e de ar-condicionado (HVAC). Através da geometria da edificação, localização de aberturas e características dos ventiladores, a DFC pode prever a distribuição da velocidade do fluxo de ar, a temperatura e pressão em qualquer localização do ambiente. Estes

resultados são obtidos a partir da solução das equações da conservação da massa, quantidade de movimento e energia para cada volume de controle discretizado no domínio.

Beausoleil-Morrison *et al.* (2001) citam que um modelo DFC integrado a construção compreende seis aspectos: *i*) discretização do domínio; *ii*) determinação de um conjunto de equações para representar a conservação de energia, massa, quantidade de movimento e espécie; *iii*) imposição das condições de contorno; *iv*) um solucionador do sistema de equações; *v*) um método para integrar os modelos de fluxo de ar, da DFC e de cálculo térmico da edificação e *vi*) a interpretação dos resultados.

Neste contexto, Maliska (2001) comenta a necessidade de melhoramento nos modelos físicos utilizados na DFC, principalmente nos modelos de turbulência, para a sua utilização na análise do comportamento das edificações. Outra tendência também citada por Maliska (2001) e que deveria ser evitada é a excessiva generalização das ferramentas numéricas, possibilitando deste modo, a elaboração de ferramentas mais robustas e com resultados mais confiáveis.

Entre outros trabalhos utilizando a DFC na simulação de edificações, pode-se citar o de Bonneaud *et al.* (2001). Neste trabalho, modelou-se o fluxo de ar induzido pelo vento em edificações, possibilitando calcular deste modo, as diferenças de pressões que aparecem entre as residências.

Embora o tempo de simulação de edificações através da DFC tenha diminuído com o crescente avanço da capacidade de processamento dos computadores, tempos de simulação superiores a um ano, muitas vezes utilizados na análise térmica de ambiente, podem exigir uma grande capacidade de *hardware*. Neste caso, modelos mais simplificados tornam-se mais adequados.

Hudson e Underwood (1999) apresentaram um modelo matemático para simulação de edificações, o qual pode ser representado, devido às suas características análogas, a um circuito elétrico resistivo e capacitivo. O modelo é julgado adequado para edificações de alta inércia térmica, pois se trata de um modelo predominantemente capacitivo. Esse modelo tampouco considera os ganhos decorrentes de insolação.

Alguns trabalhos na literatura (Athienitis *et al.*, 1990 e Dion *et al.*, 1991) abordam o problema de simulação térmica em sistemas de climatização em edificações, com o objetivo de analisar estratégias de controle avançado.

Mendes *et al.* (2000) elaboraram um modelo simplificado para análise de estratégias de controle em sistemas de aquecimento para edificações de baixa inércia térmica, fazendo com o que o sistema de controle analisado trabalhasse em condições mais rígidas do que as efetivamente encontradas em uma situação real.

Mendes e Santos (2001) analisaram a performance higrotérmica de um ambiente utilizando uma formulação global para as equações da conservação de massa e de energia para a edificação.

No entanto, todos esses trabalhos não se preocupam com uma formulação diferencial detalhada para possível análise de desconforto localizado e correntes de ar indesejadas dentre outros. Assim, neste artigo, procura-se analisar alguns parâmetros físicos tais como temperatura interna, coeficiente de convecção interna, vetores velocidade e temperatura no envoltório de uma edificação, através do software comercial CFX. Como condição de contorno para as superfícies externas, consideraram-se constantes a temperatura e o coeficiente de convecção. Efeitos de radiação não foram considerados nesse caso.

2. MODELO FÍSICO

Para a simulação da edificação através do CFX, considerou-se um ambiente (Fig. 1) com 25 m^2 de área e de 2,5 m de altura, possuindo 1 janela de dimensões (1,5 x 1) m e uma porta de dimensões (0,8 x 2,10) m na fachada frontal. Inseriu-se uma segunda janela de (1,5 x 1) m na fachada oeste. O teto plano e as paredes verticais foram considerados formados por tijolos.

O domínio do solo (Fig.2) estendeu-se a uma distância de 2,5 m das laterais da edificação e a 4 m da superfície superior. Considerou-se um piso de 0,35 m formado por tijolos.

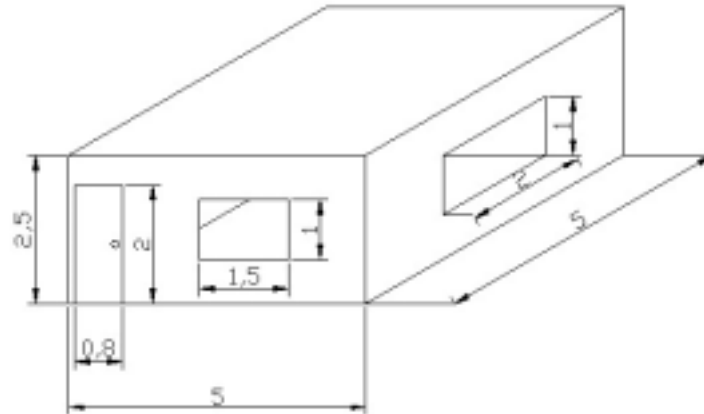


Figura 1: Dimensões do ambiente utilizado para a simulação (m).

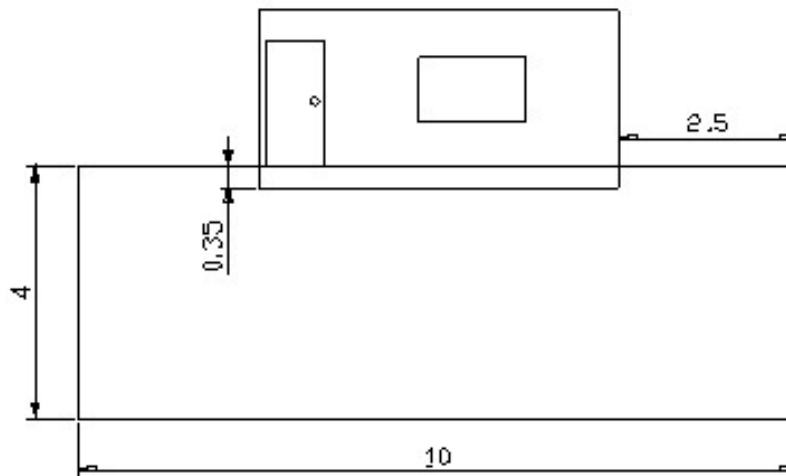


Figura 2: Domínio do solo (m).

Para facilitar a modelagem do envoltório, considerou-se a mesma espessura para as janelas, porta e paredes da edificação. Contudo, considerou-se no caso das janelas e porta, uma condutividade equivalente a espessura real adotada. Na Tab. 1 encontram-se as propriedades dos materiais utilizados na simulação.

Tabela 1: Propriedade dos Materiais.

Domínio	Material	k (W/mK)	ρ (kg/m ³)	c_p (J/kgK)	L (m)	k_{eq} (W/mK)	c_{peq} (J/kgK)
Solo	argila	0,52	2050	1840	-	-	-
Piso	tijolo	0,72	1920	835	0,35	-	-
Parede	tijolo	0,72	1920	835	0,19	0,72	835
Porta	madeira	0,16	720	1255	0,035	0,8686	231,18
Janela	vidro	1,4	2500	750	0,005	9,8	107,14

Onde K é a condutividade térmica, ρ , densidade, C_p , calor específico, L , comprimento, K_{eq} , condutividade equivalente e C_{peq} , o calor específico equivalente.

Consideraram-se como condições de contorno para as superfícies externas dos domínios, inclusive para o solo, um coeficiente de convecção de 12 W/m²K e uma temperatura de 25°C, ambas constantes. No domínio do solo, as superfícies laterais e inferior foram consideradas adiabáticas. Para as condições iniciais do modelo, utilizou-se uma pressão de 92 kPa e uma temperatura de 20°C. Adotou-se o modelo de turbulência κ - ϵ para o ar interno a edificação (Maliska, 2001) e um passo de tempo de 1800 s.

3. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Observa-se na Fig. 3, a evolução da temperatura média da edificação com o tempo. Para o período de simulação de 41 horas o CFX utilizou 96 horas de processamento em um microcomputador ATHLON AP 1800 MHz, 512 MB RAM.

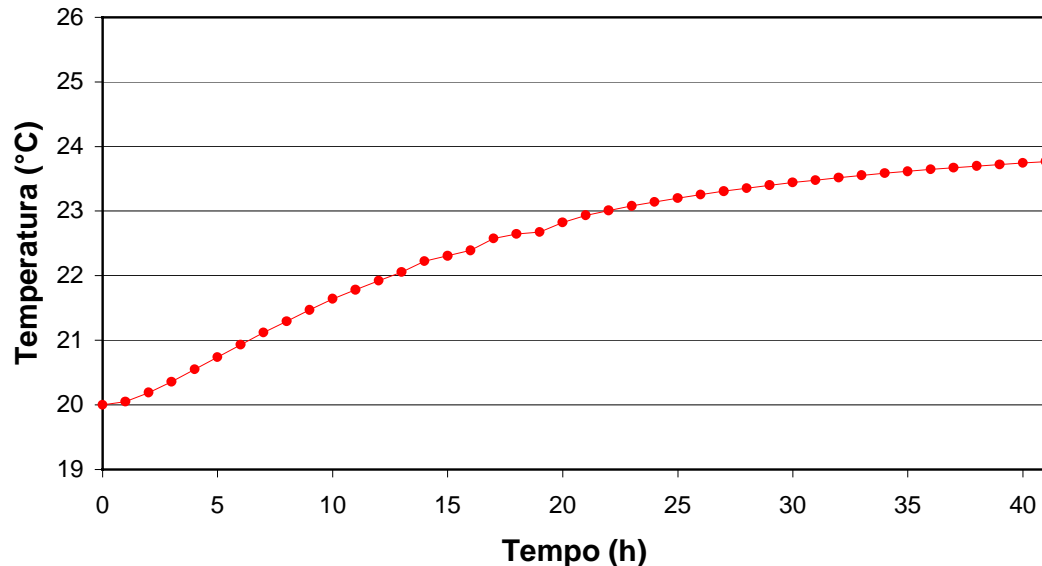


Figura 3: Evolução da temperatura média interna em um período de 40 horas.

Na Fig. 4 são determinadas as temperaturas médias das superfícies internas da janela, parede, porta, teto e piso. Observa-se o efeito da maior difusividade térmica para as janelas e porta da edificação.

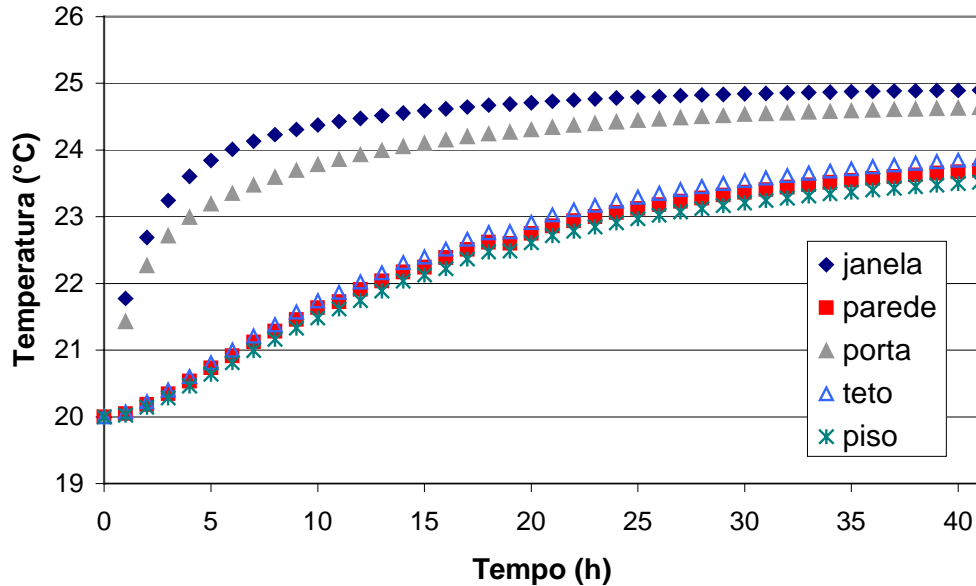


Figura 4: Temperatura média na janela, parede, porta, teto e piso ao longo do tempo.

A partir dos dados dos fluxos de calor e das temperaturas, pode-se determinar os coeficientes de transferência de calor por convecção interno para cada superfície. Na Fig. 5 são apresentados os coeficientes de convecção para cada superfície da edificação. Atribuem-se os pequenos valores ao processo de convecção natural predominante em uma edificação sem aberturas.

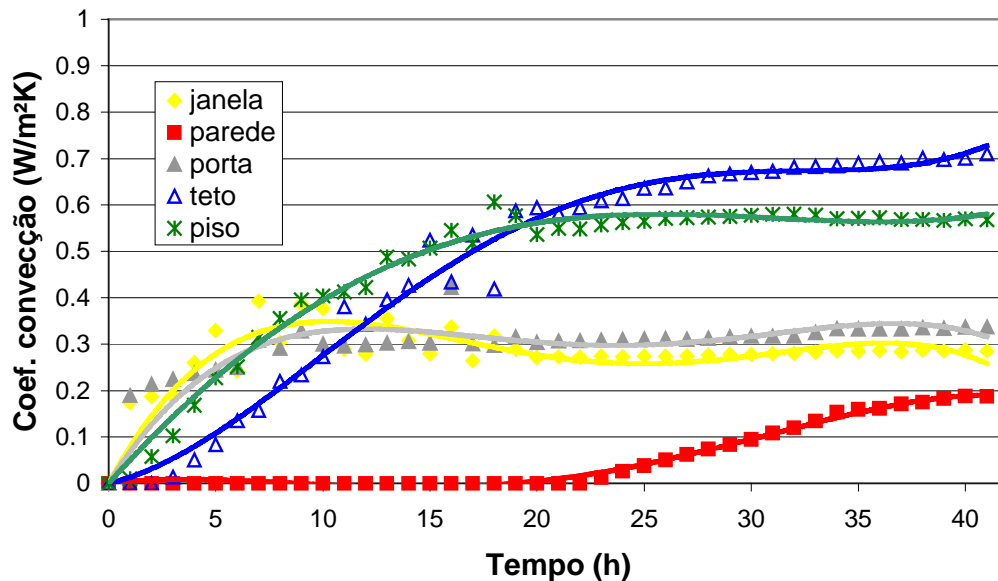


Figura 5: Coeficiente de convecção para as superfícies internas da edificação .

Na Tab. 2 descreve-se o ajuste polinomial para o coeficiente de convecção interno para cada superfície.

Tabela 2: Ajuste polinomial para o coeficiente de convecção.

Superfície	Equação
Janela	$y = -2E-06x^4 + 0.0002x^3 - 0.0071x^2 + 0.0861x$
Parede	$y = -6E-07x^4 + 5E-05x^3 - 0.001x^2 + 0.0054x$
Porta	$y = -2E-06x^4 + 0.0002x^3 - 0.0056x^2 + 0.0738x$
Teto	$y = 1E-06x^4 - 0.0001x^3 + 0.0028x^2 + 0.0106x$
Piso	$y = 3E-07x^4 - 5E-06x^3 - 0.0012x^2 + 0.0516x$

A Fig. 6 mostra a distribuição de temperatura para os domínios do ar, paredes e o solo. Verifica-se na Fig. 6 que o fluxo de calor do solo para o ambiente interno se concentra no perímetro da edificação, como previamente observado por Bahnfleth (1989).

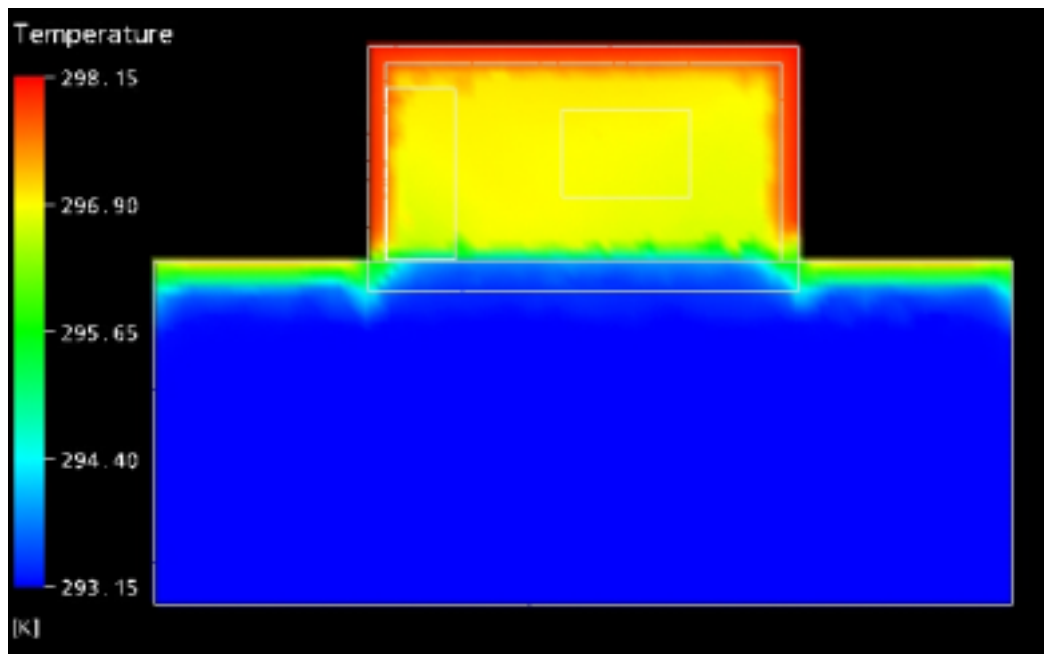


Figura 6 : Perfil de temperatura para um plano central ao domínio do solo e da edificação após 40 horas de simulação.

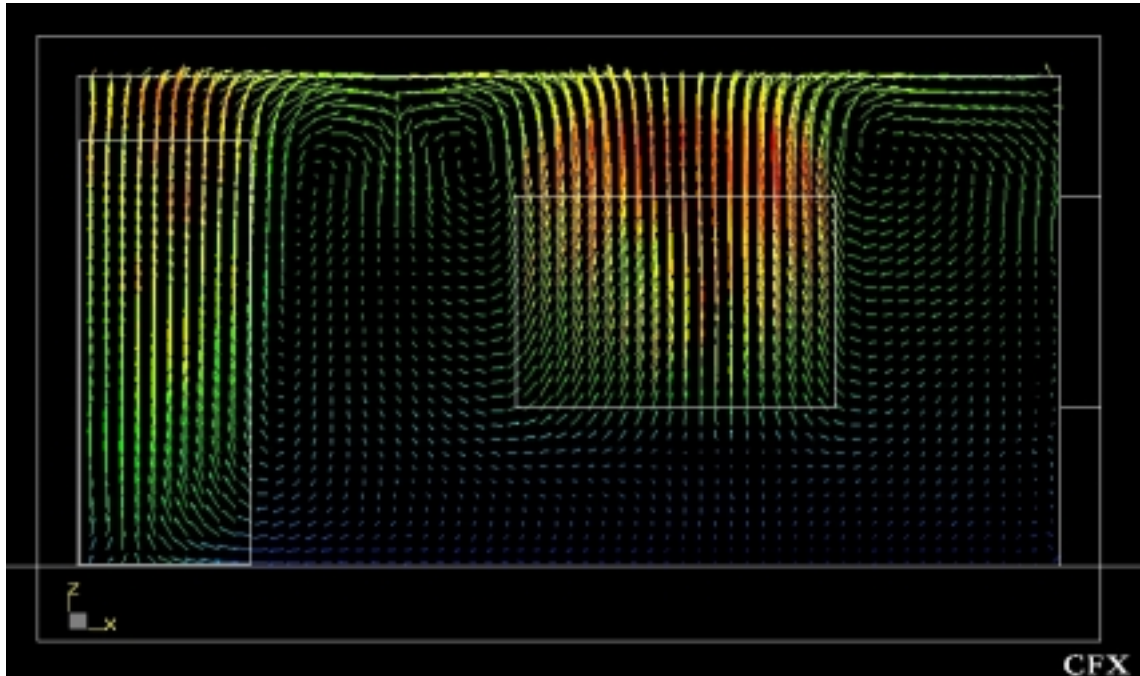


Figura 7 : Vetores velocidade em um plano adjacente a superfície frontal da edificação após 40 horas de simulação.

Observa-se na Fig. 7 a aceleração ascendente do fluxo de ar devido as forças de empuxo provocadas pela alta difusividade térmica das janelas e da porta.

4. CONCLUSÕES

Neste artigo analisou-se a performance térmica de um ambiente através do software CFX. Perfis de temperaturas na edificação e no solo, coeficientes de convecção interna, vetores velocidades e a evolução da temperatura média interna com o tempo foram obtidas.

Observou-se a alta difusividade térmica das janelas e da porta, sendo responsável pela aceleração ascendente do fluxo de ar nestas regiões, devido às forças de empuxo. Para o solo, verificou-se que o fluxo de calor para o ambiente interno se concentra no perímetro da edificação, como previamente observado na literatura.

Em trabalhos futuros, pretende-se analisar efeitos de insuflamento de ar proveniente de sistemas de climatização, e o transporte de poluentes, realizado através de ventilação forçada ou natural.

5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ATHIENITIS, A.K., STYLIANOU, M. and SHOU, J. (1990). A Methodology for Building Thermal Dynamics Studies and Control Applications, ASHRAE Transactions - SL-90-14-4.
- BAHNFLETH, W. P. (1989). Three-Dimensional Modelling of Slab- on- Grade Heat Transfer, Building Simulation Conference – IBPSA 89, p. 133-138.
- BEAUSOLEIL-MORRISON, I., CLARK, J. A., DENEV, J., MACDONALD, I. A., MELIKOV, A., STANKOV, P.(2001). Further Developments in the Conflation of CFD and Building Simulation, International Building Performance Simulation Association Conference – IBPSA '01, p. 1267-1273, Rio de Janeiro, Brazil.

- BONNEAUD, F., MUSY, M., DEPECKER, P. Simulation of the Wind in Hot and Humid Climates Cities: Evaluation of the Natural Ventilation Potential of the Housing in Urban Blocks. International Building Performance Simulation Association Conference – IBPSA'01, p. 109-116, Rio de Janeiro, Brazil.
- CFX – 5. Version 5.5. (2002). AEA Technology Engineering Software Ltd.
- DION, J.M., DUGARD, L., FRANCO, A., NGUYEN MINH TRI and REY, D. (1991). MIMO Adaptive Constrained Predictive Control Case Study: An Environment Test Chamber, Automatica, Vol. 27, N° 4, pp. 611-626, Great Britain.
- FORTUNA, A. O. (2000). Técnicas Computacionais para Dinâmica dos Fluidos. Editora da Universidade de São Paulo, São Paulo.
- HUDSON, G. and UNDERWOOD, C.P. (1999). A Simple building modelling procedure for MATLAB/SIMULINK, Proceedings of the 6th International Conference on Building Performance Simulation (IBPSA'99), September, Kyoto-Japan, pp. 777-783.
- MALISKA, C. R. (2001). Issues on the Integration of CFD to Building Simulation Tools, International Building Performance Simulation Association Conference – IBPSA'01, p. 29-40, Rio de Janeiro, Brazil.
- MENDES N., SANTOS G. (2001). Dynamic Analysis of Building Hygrothermal Behavior, International Building Performance Simulation Association Conference – IBPSA'01, p. 117-123, Rio de Janeiro, Brazil.
- MENDES, N., ARAÚJO, H.X. e OLIVEIRA, G.H.C. (2000). O Problema do Controle de Temperatura em Aquecimento de Edificações, VIII Encontro Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído (ENTAC 2000), Abril 23-28, Salvador-Brasil.