



## XVI ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO

Desafios e Perspectivas da Internacionalização da Construção  
São Paulo, 21 a 23 de Setembro de 2016

# VENTILAÇÃO NATURAL DE EDIFÍCIOS: REVISÃO CRÍTICA DA NORMALIZAÇÃO E DAS METODOLOGIAS DE PREDIÇÃO<sup>1</sup>

AMARAL, Daniel O. (1); ASSIS, Eleonora Sad (2)

(1) UFMG, e-mail: danielamaral.arquiteto@yahoo.com.br; (2) UFMG, e-mail: eleonorasad@yahoo.com.br

## RESUMO

Grande parte do território brasileiro possui climas amenos, favorecendo a ventilação natural das edificações durante boa parte do ano. Entretanto, mesmo em edificações residenciais, tem-se percebido uma tendência nacional ao uso da climatização artificial, aumentando desnecessariamente o consumo de energia. Além de um adequado desempenho térmico das envoltórias em cada região climática, o correto dimensionamento da ventilação natural nos ambientes é importante para prover conforto térmico. Para tanto, é necessário identificar os parâmetros existentes na normalização e os melhores métodos de predição da ventilação natural que possam dar subsídio às várias etapas do projeto da edificação. Objetiva-se aqui levantar e analisar a normalização brasileira e internacional de ventilação e os métodos disponíveis de predição. O método utilizado foi o da pesquisa bibliográfica em documentos nacionais e internacionais (dissertações, teses e artigos de periódicos), analisando qualitativamente o material encontrado segundo a matriz PLOR (Potencialidades, Limites, Oportunidades e Riscos). Dentre os métodos de predição se destacam os de simulação computacional, pois apresentam as melhores relações de custo-benefício e fornece resultados confiáveis e representativos.

**Palavras-chave:** Ventilação natural. Critério de projeto. Normalização. Método de predição.

## ABSTRACT

Much of Brazil has mild climates, favoring natural ventilation of buildings during much of the year. However, even in residential buildings, we have observed a national trend to the use of artificial air conditioning, unnecessarily increasing energy consumption. In addition to a proper thermal performance of the building fabric in each climatic region, the correct sizing of natural ventilation in the rooms is important to provide thermal comfort. Therefore, it is necessary to identify the parameters in standardization and the best natural ventilation prediction methods that can give subsidy to the various stages of the building design process. This paper aims to identify and analyze Brazilian and international standardization of ventilation and the available prediction methods. The method used was the bibliographical research in national and international documents (dissertations, thesis and journal articles), qualitatively analyzing the material found under the SWOT matrix (Strengths, weaknesses, opportunities, and threats). Among the prediction methods, stand out computer simulation, since they have the best cost-benefit ratios and provides reliable and representative results.

**Key words:** Natural ventilation. Design criteria. Standards. Prediction methods.

<sup>1</sup> AMARAL, Daniel O.; ASSIS, Eleonora Sad; Ventilação natural de edifícios: Revisão crítica da normalização e das metodologias de predição. In: ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 16., 2016, São Paulo. **Anais...** Porto Alegre: ANTAC, 2016.

## 1 INTRODUÇÃO

Grande parte do território brasileiro possui climas amenos, favorecendo a ventilação natural das edificações durante boa parte do ano. O uso da ventilação natural em edifícios residenciais é uma prática habitual no país, mas é feita usualmente de forma empírica e se atendo apenas ao que as legislações municipais ou a normalização técnica exigem. A adoção de estratégias de ventilação natural em países de clima ameno como o Brasil é importante para prover conforto térmico aos usuários, e é reconhecida pela ABNT:NBR 15220-3:2005, que coloca a ventilação natural como estratégia a ser adotada em todas as zonas bioclimáticas brasileiras, apenas com ressalvas às zonas 4,6 e 7, onde ela deve ser feita apenas quando a temperatura do ar externo estiver menor que a temperatura do ar interno.

Apesar da viabilidade do uso da ventilação natural como forma de condicionamento passivo de edificações no Brasil, segundo o levantamento feito por Nelson Solano Vianna em 2001, sobre o estado da arte em pesquisa na área de conforto ambiental, a área de ventilação natural era tema de apenas 3,3% da pesquisa nacional. Esse levantamento foi conduzido em pesquisas de Pós-graduação, artigos em eventos técnicos da área e em revistas especializadas nacionais até o ano de 2001. Nos anais dos dois maiores eventos técnicos da área mais recentes, o Encontro Nacional de Tecnologia no Ambiente Construído 2014 e o Encontro Nacional de Conforto no Ambiente Construído 2015 é possível perceber que a situação não mudou muito. No primeiro, no tema específico Conforto Ambiental e Eficiência Energética apenas 7,9% tratavam da ventilação natural e no ENCAC 2015 era de apenas 6,9% do total.

As pesquisas em ventilação natural são de grande importância para que seja possível, através do conhecimento gerado, a criação de parâmetros normativos mais assertivos na predição da ventilação natural na fase de projeto e na obtenção de conforto térmico dos usuários. De forma complementar, a divulgação dessas pesquisas e uma certa tradução do conteúdo para uma linguagem mais acessiva, permitiria uma disseminação maior desse conhecimento e a utilização do mesmo por parte dos projetistas.

## 2 OBJETIVO

Objetiva-se aqui discutir os parâmetros existentes na normalização em ventilação em edificações residenciais, levantar e analisar os métodos disponíveis de predição da ventilação natural devido à pressão de vento, para compreender as características de cada método, seus potenciais e limitações.

## 3 METODOLOGIA

O método utilizado foi o da revisão de literatura em documentos nacionais e internacionais (leis, normas, regulamentos, dissertações, teses e artigos de periódicos), buscando um entendimento do estado da arte na pesquisa em

ventilação natural. Foram levantados os parâmetros normativos, e em seguida os métodos de predição da ventilação natural.

Para a análise dos métodos de predição da ventilação natural foi utilizada a chamada matriz PLOR (Potencialidades, Limites, Oportunidades e Riscos), analisando qualitativamente o material encontrado. Ela permite ao usuário da modelagem encontrar na matriz um auxílio nos parâmetros e dados de entrada dos modelos e na interpretação dos resultados, evitando situações que reforçam seus limites e riscos (PONTES et al. 2015). Essa matriz permite também ao usuário conhecer os processos envolvidos na modelagem e do próprio fenômeno físico que envolve a ventilação natural.

## 4 RESULTADOS

### 4.1 Parâmetros e normalização existentes

Nesta subseção serão apresentadas as que tratam da ventilação de edificações residenciais. As normas brasileiras analisadas são: a Norma de Desempenho Térmico de Edificações ABNT:NBR15220:2005, a Norma de Desempenho de Edificações Habitacionais ABNT:NBR 15.575:2013, a Norma de Instalações de Ar Condicionado – Sistemas Centrais e Unitários ABNT:NBR 16401-3:2008 e o Regulamento Técnico da Qualidade para o Nível de Eficiência Energética de Edificações Residenciais – RTQ-R de 2012. No caso das normas estrangeiras serão analisadas a norma norte-americana ASHRAE 62.1 e as normas europeias existentes apresentadas por Dimitroulopoulou (2012).

Os requisitos da ASHRAE 62.1 fazem uma distinção entre ambientes ventilados mecanicamente e naturalmente. Para o primeiro grupo são fornecidos valores de vazões mínimas para cada tipo de uso do ambiente em função da sua ocupação e área. Considerando um quarto de 12 metros quadrados, com um pé direito de 2,50m, e com dois ocupantes a taxa de renovação mínima seria de 30,96 m<sup>3</sup>/h, o que corresponderia a aproximadamente uma troca de ar por hora<sup>2</sup>. Para ambientes ventilados naturalmente os parâmetros são qualitativos, como a razão entre a área da abertura e do piso e com a profundidade do ambiente. As normas europeias apresentadas possuem valores que vão de 0,5 a 1,5 trocas de ar por hora para ambientes climatizados artificialmente. As normas da Alemanha e Itália, dentre as estudadas, foram as únicas que apresentaram valores específicos para espaços ventilados naturalmente, sendo esses valores menores que aqueles exigidos para espaços mecanicamente ventilados.

A NBR 16.401 possui a mesma lógica da ASHRAE 62.1, inclusive com valores de renovação de ar iguais às dela. Os códigos de obras dos municípios, a NBR 15.220 e o método prescritivo da NBR 15.575 dão como parâmetros apenas as relações entre a área de abertura e do piso. Os pré-requisitos de ventilação natural do RTQ-R exigem além da razão área de abertura e do

---

<sup>2</sup> Os valores em L/s foram convertidos em m<sup>3</sup>/h para permitir o cálculo da troca de ar por hora (ACH)

piso, a relação entre as áreas de entrada e saída do ar. No método de simulação computacional previsto na NBR 15.575, para comprovar o desempenho térmico da envoltória, os ambientes de permanência prolongada são simulados para os dias típicos de inverno e de verão e as temperaturas mínimas e máximas encontradas devem atender aos critérios estabelecidos na norma. Neste caso a ventilação natural deve ser considerada com uma ou cinco renovações de ar por hora. No caso da metodologia de simulação computacional do RTQ-R deve ser feita uma simulação anual para comprovar que a edificação é capaz de prover conforto térmico, e é sugerido o uso do método airflownetwork para modelar a ventilação natural.

## **4.2 Métodos de predição de ventilação natural**

### **4.2.1 Modelos em túnel de vento**

As pesquisas em ventilação natural utilizando experimentos com modelos em escala em túneis de vento começaram a partir dos anos 50 e tinham como objetivo investigar os fluxos de ar através das aberturas e seu impacto na ventilação natural de edifícios (KARAVA, 2008). Inicialmente desenvolvidos para estudos em aerodinâmica espacial e de aeronaves, os túneis de vento começaram a ser adaptados e utilizados para estudos em aerodinâmica de edifícios e contextos urbanos. A principal adaptação nos túneis é relativa à capacidade do mesmo representar as características do vento dentro da camada limite, onde ele se apresenta turbulento e com velocidades de vento variando em altura, os chamados perfis de vento.

Grande parte do conhecimento produzido sobre a ventilação natural em edifícios se deve a experimentos em túneis de vento (TOLEDO, 1999). Neles é possível estudar desde modelos de grandes áreas urbanas até a escala de escoamento interno de um ambiente. Os estudos que vão da escala urbana até a fachada dos edifícios têm como dados mais comumente obtidos os campos de pressão nas fachadas dos modelos em escala. Obtidos esses dados, é possível através dos modelos teóricos, calcular as vazões de ar e velocidade do ar interno. Já através dos estudos na escala interna de um ambiente ou da edificação é possível obter diretamente os dados de velocidade do ar interno, o que segundo Carey e Ethridge (1999) geram maior precisão nos resultados.

Dentre as principais limitações encontradas na literatura (COOK, 1974; CAREY E ETHERIDGE, 1999; PASSE E BATTAGLIA, 2015) são: a dificuldade em representar os perfis de ventos, a rugosidade do entorno edificado e o perfil turbulento do vento dentro da camada limite; o uso de modelos teóricos para calcular os dados de vazão e velocidades do ar interno, a necessidade de um grande controle sobre o ambiente e as condições de ensaio para que não sejam gerados dados incorretos; e o alto custo desse tipo de experimento.

#### 4.2.2 Métodos prescritivos

Como afirmado no item anterior, os modelos empíricos ou teóricos de predição da ventilação natural são baseados em dados extraídos de experimentos realizados em túneis de vento e em descrições dos princípios físicos que regem a fluidodinâmica. Os modelos empíricos contam com constantes e exponentes retirados dos experimentos em túneis de vento e possuem sua aplicabilidade restrita a condições semelhantes às dos experimentos. Os modelos teóricos por sua vez, são baseados nos princípios de conservação de massa e energia, assumindo simplificações, tais como estabilidade e simetria no fluxo de ar, que geram equações mais fáceis de serem aplicadas prescritivamente (PASSE E BATTAGLIA, 2015). Segundo Srebric (2011), os modelos semi-empíricos são modelos teóricos calibrados por coeficientes empíricos, e representam a forma mais simples predição de ventilação natural através dos chamados modelos single zone, capazes de representar apenas uma zona ou ambiente por vez.

Os modelos prescritivos encontrados na literatura levantada (TOLEDO, 1999; ALLARD, 1998; BITTENCOURT E CÂNDIDO, 2008; SREBRIC, 2011; PASSE E BATTAGLIA, 2015) determinam o fluxo de ar interno em função das seguintes variáveis: área da abertura, velocidade do vento incidente, o coeficiente de perda de pressão ao passar pela abertura (coeficiente de descarga), e a diferença entre os coeficientes de pressão na entrada e saída do ar. As diferenças entre esses modelos são devidos à inserção de outras variáveis, como relações entre as áreas de entrada e de saída, densidade do ar, gravidade; devido às condições em que foram realizados os experimentos; e à condição de ventilação que se pretende avaliar, ventilação cruzada ou por uma única fachada. Os modelos prescritivos são capazes de oferecer uma primeira e rápida estimativa do desempenho da ventilação, e podem ser aplicados nas fases iniciais de projeto, porém, os projetistas devem ter em mente suas restrições e aplicabilidades (ALLARD, 1998).

#### 4.2.3 Modelos AirFlowNetwork (AFN)

Os modelos de energia são baseados em modelos nodais, e as relações de troca de calor e massa são resolvidas entre eles. De forma semelhante é considerada a ventilação natural através dos modelos de AFN, onde o fluxo de ar entre os nós é calculado através da diferença de pressão entre eles. Com isso é possível se calcular dados como a pressão, fluxo de ar no ambiente, temperatura, umidade, e as trocas de calor sensível e latente.

Os valores de pressão necessários para o cálculo são obtidas através dos Coeficientes de Pressão ( $C_p$ ), que são uma razão da pressão exercida em uma determinada superfície em relação à velocidade do vento incidente através de um número adimensional, sendo assim possível determinar a pressão resultante a partir de qualquer velocidade de vento que incida sobre esta superfície. Os  $C_p$  padrão utilizados pelos softwares são resultantes de bancos de dados, sendo os mais comuns o AIVA e o ASHRAE Handbook (WANG et al. 2012). Esses bancos de dados são alimentados por

compilações de  $C_p$  medidos em campo ou em túnel de vento – classificados através de regressões de acordo com parâmetros como a altura do edifício, relação entre altura, largura e comprimento da geometria do edifício, condições de entorno, como estar inserido em área rural ou em ambiente urbano adensado, por exemplo.

#### 4.2.4 Modelos de Computational Fluids Dynamics (CFD)

O modelo CFD é baseado na discretização do volume do edifício em pequenos subvolumes, onde são solucionadas para cada vértice as equações de Navier-Stokes, nomeadas equações de conservação de massa, energia e momento para assim derivar os campos de velocidade do ar e temperatura (ALLARD, 1998). Entre as variáveis consideradas nessas formulas estão: densidade do fluido, velocidade, viscosidade ( atrito), força exercida, tempo, espaço (x,y,z), temperatura, forças tensões normais e de cisalhamento.

CFD é considerado a técnica mais complexa e demorada, mas também a mais flexível. [...] o processo é demorado e apenas algumas situações típicas de vento, ao invés de todos os casos possíveis, são considerados na prática. Isto é o porquê do CFD ser mais comumente usado para testar comportamentos térmicos de um edifício em condições extremas, como por exemplo uma tarde quente de verão. Esta prática é considerada uma visão limitada porque os projetistas precisam entender como um edifício se comporta durante o ano todo e com qual frequência os ocupantes podem estar insatisfeitos com as condições interiores". (Wang et al, 2012)

Os modelos de CFD são capazes de mostrar detalhadamente como o fluido, se comporta de acordo com as condições de contorno descritas na modelagem. Entretanto esse alto grau de detalhamento exige um custo computacional muito elevado, inviabilizando estudos anuais. Portanto nos estudos encontrados na literatura o CFD é utilizado para definir as condições de contorno dos modelos de energia (ME), como o cálculo dos  $C_p$ 's, ou para estudos de escoamento do ar e estratificação da temperatura no interior de edifícios.

#### 4.2.5 Simulações conjuntas: AFN + CFD

Foram encontradas na literatura várias referências de estudos utilizando a metodologia de associação dos modelos de simulação descritos nos itens 4.2.3 e 4.2.4. O estudo de Wang et al. (2012) tem como objetivo a definição de uma metodologia de obtenção dos coeficientes de pressão através de simulações em CFD para alimentar as simulações dos ME. A justificativa segundo Wang et al. (2012) é que "os valores de  $C_p$  usados atualmente na maior parte dos softwares de modelos de energia são baseados em bancos de dados de  $C_p$  ou modelos analíticos, que ignoram o efeito do contexto urbano e da própria forma do edifício. ". Com os resultados da simulação CFD foram extraídos os valores de  $C_p$  para cada uma das aberturas do edifício que foram inseridos no ME. Como resultado das simulações do ME

foram comparados os valores obtidos da temperatura do ar e da vazão de ar no ambiente em um modelo com os valores padrão de  $C_p$  dos softwares de ME e em outro modelo com os valores de  $C_p$  obtidos com a simulação em CFD. Os resultados mostraram que a simulação com os valores padrão de  $C_p$  subestimaram o potencial da ventilação natural.

O estudo de Wang e Wong (2009) teve como objetivo uma metodologia de simulação conjunta entre ME e CFD para melhor predição de condições internas de um cômodo em relação à ventilação natural. Neste estudo foi considerado o ambiente sem influências do entorno. Primeiro foram simulados os cenários no ME para a definição das condições de contorno a serem usadas na simulação de CFD, tais como, as temperaturas das faces internas, a velocidade e pressão de vento em cada uma das aberturas. Foram comparados os resultados de uma simulação toda feita em CFD, que foi utilizada como referência de validação, com os resultados de duas formas de simulação conjunta, uma usando os valores de velocidade de vento nas aberturas e outra usando os valores de pressão de vento nas aberturas. Os resultados mostram que as simulações que utilizam os valores de pressão de vento nas aberturas como dado de entrada para a simulação CFD se aproximam mais dos resultados da simulação referência, tanto para os valores de velocidade do ar no interior do ambiente quanto para o comportamento do volume de ar interno em relação aos perfis de escoamento.

#### 4.3 Análise PLOR

Após o levantamento das características de cada tipo de metodologia de predição da ventilação natural como mostrado acima, foi aplicado o método PLOR e gerado o quadro a seguir. (QUADRO 1)

Quadro 1 – Matriz PLOR das metodologias de predição de ventilação natural

Metodologia	Potencialidades	Limites	Oportunidades	Riscos
<b>Prescritivos</b>	Fácil entendimento e aplicação.	Cálculo de apenas uma zona. Não considera entorno.	Facilmente aplicável nas etapas iniciais de projeto.	Simplificação do cálculo e dos dados de entrada tendem a obtenção de resultados imprecisos.
<b>Túnel de vento</b>	Permite representação do entorno, estudos de escoamento no entorno do edifício e no interior, gera dados instatâneos	Custo elevado e difícil acesso. Dificuldade em representar os perfis de velocidade do vento e o fluxo turbulento de ar existentes na camada limite.	Gerar dados primários para o desenvolvimento de modelos empíricos e teóricos.	Necessidade de grande controle sobre o experimento para não gerar dados incorretos.

<b>AFN</b>	Simulação de multi-zonas com integração entre elas. Resultados confiáveis. Facilidade de gerar dados anuais	Considera o volume de ar como um ponto, gerando valores médios. Dependência da entrada criteriosa de dados como $C_p$ , para gerar resultados confiáveis	Uso de dados externos como dados de entrada para simulação do impacto da ventilação no conforto térmico.	Cuidado na construção do modelo e na entrada de dados para evitar distorções.
<b>CFD</b>	Simulação espacial que permite gerar dados sobre o volume e não um ponto médio.	Necessidade de conhecimento técnico, representa cenários específicos, alto custo computacional para simulações anuais	Permite a compreensão detalhada e visual do que acontece com todo o volume estudado	Imperícia na entrada de dados e definição das condições de contorno pode gerar distorções nos resultados
<b>AFN + CFD</b>	Usa as potencialidades de cada modelos. Permite obter dados mais precisos com menor custo computacional que o CFD	Necessidade de conhecimento prévio do fenômeno físico e da metodologia de simulação conjunta	Redução do custo computacional e aumento da precisão dos resultados.	Imperícia na entrada de dados e definição das condições de contorno pode gerar distorções nos resultados

Fonte: Os autores

## 5 CONCLUSÃO

Devido ao nível de desenvolvimento desses países e a expressiva adoção do condicionamento artificial, na norma norte americana, a ASHRAE 62.1, e nas normas europeias, a maior preocupação evidenciada é com as taxas mínimas de renovação de ar necessárias para a dispersão e exaustão dos poluentes gerados no interior das edificações. A fixação de um valor mínimo de renovação de ar tenta equilibrar a garantia da qualidade interna do ar com o consumo energético dos sistemas de climatização artificial, uma vez que a admissão de ar externo significa ganho ou perda de calor, em sistemas de resfriamento e de aquecimento, respectivamente. Já os parâmetros prescritivos existentes na normalização brasileira não são capazes de garantir o desempenho da ventilação e sua contribuição para o conforto térmico dos usuários das edificações. É necessária a criação de parâmetros que relacionam, por exemplo, o clima local, o entorno edificado, a disponibilidade de ventos, a orientação da edificação.

Dentre os métodos de predição levantados e analisados através da matriz PLOR, é possível avaliar a aplicabilidade de cada um ao que se pretende fazer. Os túneis aerodinâmicos permitem a representação do fenômeno de

forma muito próxima à realidade, permitindo se analisar todas as possibilidades, desde a escala urbana ao interior de um cômodo, porém são pouco acessíveis e de alto custo. Os modelos prescritivos permitem análises iniciais e pré-dimensionamentos de forma fácil e rápida, porém possui limitações devido às simplificações assumidas na sua modelagem. Os modelos computacionais vêm ganhando espaço nos últimos anos com o desenvolvimento da capacidade computacional das máquinas. Eles permitem análises complexas com alto grau de confiabilidade, principalmente em simulações conjuntas. Entretanto é necessário conhecimento específico na área para que o profissional seja capaz de criar modelos corretos.

Não foram considerados neste trabalho, e seguem como sugestão de continuidade da revisão bibliográfica, as metodologias de obtenção e controle dos dados de entrada, e dos parâmetros a serem considerados na construção dos modelos.

## AGRADECIMENTOS

Gostaríamos de agradecer a CAPES pelo financiamento desta pesquisa, e à FAPEMIG pelo auxílio financeiro.

## REFERÊNCIAS

ABNT ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15220** – Desempenho térmico de edificações. Rio de Janeiro, 2005.

\_\_\_\_\_. **NBR 15575** – Edificações Residenciais - Desempenho. Rio de Janeiro, 2013.

\_\_\_\_\_. **NBR 16401**– Instalações de Sistemas de ar-condicionado – Sistemas centrais e Unitários. Rio de Janeiro, 2008.

AIVC – AIR INFILTRATION AND VENTILATION CENTRE. **A guide to energy efficient ventilation**. AIVC, 1996.

ALLARD, F. (ed.). **Natural Ventilation in Buildings**. Londres: James & James, 1998.

ASHRAE – AMERICAN SOCIETY OF HEATING, REFRIGERATING AND AIR-CONDITIONING ENGINEERS - **Standard 62.1**: Ventilation for Acceptable Indoor Air Quality. Atlanta: ASHRAE; 2007.

BRASIL. Lei 10.295, de 17 de outubro de 2001. Dispõe sobre a Política Nacional de Conservação e Uso Racional de Energia e dá outras providências. **Diário Oficial da União**, Brasília, ano 138, nº 200, 18 de outubro de 2001.

BITTENCOURT, L.; CÂNDIDO, C. **Introdução à ventilação natural**. [3<sup>a</sup> ed.]. Maceió: EDUFAL, 2008. 173p.

CÂNDIDO, C. et al. **Air movement acceptability limits and thermal comfort in Brazil's hot climate zone**. Building and Environment, 2010;(45): 222-229.

CAREY, P.S., ETHERIDGE, D.W., 1999. **Direct wind tunnel modeling of natural ventilation for design purposes.** Building Service Engineering Research and Technology 20 (3), 131-142.

COOK, N.J. **A boundary layer wind tunnel for building aerodynamics,** J. Ind. Aerodynamics, 1 (1975) 3-12.

DIMITROUPOULOU, C. **Ventilation in European dwellings:** A review. Building and Environment, 2012; (47): 109-125;

SREBRIC, Jelena. Ventilation performance prediction. In: HENSEN, Jan. L. M.; LAMBERTS, Roberto (org.). **Building Performance Simulation for Design and Operation.** Londres: Spon Press, 2011.

KARAVA, Panagiota. **Airflow Prediction in Buildings for Natural Ventilation Design: Wind Tunnel Measurements and Simulation.** 2008. 243 f. Tese (Doutorado). Department of Building, Civil, and Environmental Engineering. Concordia University Montreal, Canada. 2008.

LAMBERTS, R.; DUTRA, L.; PEREIRA, F.O.R. **Eficiência energética na arquitetura.** [3.ed.] Rio de Janeiro, 2014.

MINISTÉRIO DAS MINAS E ENERGIA - **Balanço Energético Nacional 2015** – Ano base 2014: Relatório Síntese. Rio de Janeiro, 2015.

PASSE, Ulrike; BATTAGLIA, Francine. **Designing spaces for natural ventilation;** An architect's guide. New York: Routledge, 2015.

PONTES, et al. **Análise de sensibilidade e avaliação da estrutura do modelo BALSEQ em condições distintas de clima, solo e vegetação.** Revista Brasileira de Recursos Hídricos. 2015; (20): 46-54;

TOLEDO, Eustáquio. **Ventilação natural das habitações.** Coordenação da publicação brasileira por Alexandre Toledo. Maceió: EDUFAL, 1999.

WANG et al. **Simulating naturally ventilated buildings with detailed CFD-based wind pressure database.** In: SimBuild 2012, 5th National Conference of IBPSA-USA, Madison, WI.

WANG, L.; WONG, N.H. **Coupled simulations for naturally ventilated rooms between building simulation (BS) and computational fluid dynamics (CFD) for better prediction of indoor thermal environment.** Building and Environment, 2009; (44): 95-112;