

## Ventilação natural em galpões: o uso de lanternins nas coberturas

Ana Amélia Oliveira Mazon

Engenheira Civil, ECM S. A. Projetos Industriais. Belo Horizonte, MG, Brasil.  
E-mail: anaom21@yahoo.com.br

Rodolfo Gonçalves Oliveira da Silva

Graduando em Engenharia Civil, Universidade Federal de Ouro Preto. Ouro Preto, MG, Brasil  
E-mail: rodolfoagos@yahoo.com.br

Henor Artur de Souza

Prof. do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil - área de Construção Metálica - Escola de Minas  
Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto, MG, Brasil. E-mail: henor@em.ufop.br

### Resumo

A ventilação natural no interior das edificações proporciona condições favoráveis de conforto térmico aos ocupantes, além da melhoria da qualidade do ar interno. A eficiência da ventilação natural numa edificação está associada ao número, posição, tipo e tamanho das aberturas existentes para a passagem de ar e também à ação combinada das forças do vento e das diferenças de temperatura. No caso da construção de galpões industriais e edificações comerciais, é usual construir aberturas nas coberturas (lanternins), além daquelas aberturas nas fachadas, para se obter iluminação natural e também melhorar a ventilação natural. Nesse trabalho, estuda-se a ventilação natural em galpões utilizando lanternins. Apresenta-se uma modelagem matemática, associada com o conceito do índice de ventilação natural, para o cálculo da vazão de ar necessária para uma ventilação natural adequada em edificações e também para o cálculo das áreas das aberturas necessárias para suportar uma dada vazão. Ainda por meio de uma abordagem numérica, analisam-se o fluxo de ar no interior do galpão e o perfil da temperatura interna resultantes da simulação. Os resultados obtidos levaram em consideração o grau de conforto térmico necessário no interior do galpão e comprovam a abertura necessária do lanternim calculada para se alcançarem as condições internas de conforto.

**Palavras-chave:** ventilação natural, lanternins, simulação numérica, conforto térmico.

### Abstract

*Natural ventilation inside constructions allows both favorable conditions for thermal comfort to the occupants and quality improvement of the internal air. The efficiency of natural ventilation in a building is associated to the number, position, type and size of the existing openings for the passage of air. It is also associated to the combined action of wind forces and temperature differences. In the case of building industrial hangars and commercial facilities, it is usual to construct openings in the roofs (skylight with an entrance and an exit), besides openings in the facades. This work focuses on the natural ventilation in hangars through the use of skylights in the roofs. It presents a mathematical modeling, associated with the concept of the natural ventilation index. A numerical simulation was used to analyse both the air flow inside the hangar and the internal temperature profile. The airflow and the temperature profile were obtained by simulation. The obtained results took into account the degree of necessary thermal comfort inside the hangar. The results present the necessary size of the opening to obtain adequate internal conditions of comfort.*

**Keywords:** natural ventilation, skylights, numerical simulation, thermal comfort.

# 1. Ventilação natural em ambientes construídos

## 1.1 A necessidade da ventilação

A ventilação natural regula o clima interno de uma edificação por meio de uma troca de ar controlada pelas aberturas. As forças motrizes naturais geram o efeito chaminé, que tem sua origem na diferença de temperatura entre o ar externo e o ar no interior do ambiente construído e pelas diferenças de pressão ocasionadas pela ação do vento. Uma circulação natural de ar adequada, dentro de um ambiente construído, além de auxiliar na diminuição do gradiente térmico, contribui para a renovação do ar interno (remoção dos poluentes do ar interno), que, dependendo do perfil de ocupação do ambiente, pode afetar a produtividade dos ocupantes além de ser prejudicial à saúde.

A velocidade de circulação do ar no interior da edificação e as temperaturas superficiais internas são variáveis que podem ser alteradas, por meio de estratégias arquitetônicas, sem emprego de equipamentos mecânicos, para se obter uma melhor condição de conforto aos ocupantes. Nesse sentido, uma ventilação adequada pelas coberturas, através de lanternins, pode ser uma alternativa eficiente. O emprego de lanternins pode ser ainda mais importante quando

se trata de galpões industriais e edificações comerciais com grandes coberturas e pé-direito elevado (grandes volumes de ar).

A ventilação natural permite projetos espaçosos e iluminados, redução significativa do custo energético da edificação e um clima interno agradável que é uma condição prévia para um bom rendimento do trabalho executado pelas pessoas no interior da edificação. Quando a ventilação natural pode ser uma estratégia suficiente para a obtenção de um ambiente interno confortável, recursos de projeto devem ser utilizados, como: ter cuidados na forma e orientação da edificação; projetar espaços fluidos; facilitar a ventilação vertical (lanternins) e utilizar elementos para direcionar o fluxo de ar para o interior.

## 1.2 Ventilação combinada pelo efeito chaminé e pela ação do vento

A diferença de pressão que provoca a circulação do ar através das aberturas existentes na edificação, do exterior para o interior da edificação e vice-versa, é ocasionada pela diferença de peso entre colunas de ar de mesma altura, mas com temperaturas diferentes, Figura 1 (a). A posição das aberturas da ventilação natural determina a distribuição da temperatura no ambiente interno. Se as duas aberturas estiverem abertas, uma

localizada na parte mais alta da edificação e a outra na parte mais baixa, o ar frio fluirá para o interior do edifício, através da abertura inferior, e o ar quente fluirá para o exterior da edificação, através da abertura superior, como mostrado na Figura 1 (b). Esse tipo de ventilação, chamado de ventilação de deslocamento, cria uma estratificação da temperatura dentro do ambiente.

Embora tenha um efeito muito mais forte para edificações com duas aberturas, uma superior e outra inferior, a ventilação de deslocamento pode também ocorrer em edifícios com uma única abertura, como mostrado na Figura 1 (c). Nesse caso, a abertura serve, tanto como uma entrada, quanto como uma saída de ar. Comparada com a configuração de duas aberturas, uma única abertura proporciona taxas de ventilação mais baixas e o ar ventilado não penetra a uma grande profundidade no espaço interno. Um fluxo de ar mais intenso será induzido quando houver uma grande separação vertical entre as aberturas de entrada e saída de ar e quando há uma grande diferença entre temperaturas internas e externas. A pressão interna mais elevada na abertura superior dirige o fluxo de ar para o exterior e a pressão interna mais baixa na abertura inferior facilita a entrada do ar exterior, que substitui o ar quente que saiu. Esse fluxo dirigido pelo empuxo térmico é o conhecido efeito chaminé (Heiselberg et al., 2001; Allocca et al., 2003; Mazon, 2005).

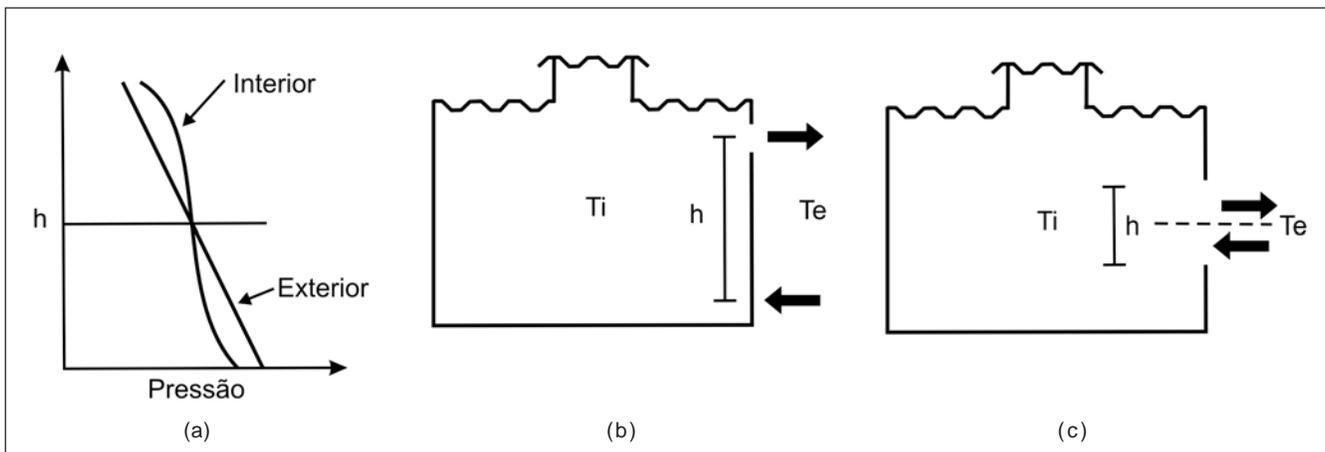


Figura 1 - (a) Distribuição da pressão interna e externa para o fluxo devido ao efeito chaminé. (b) fluxo através de uma abertura inferior e outra superior. (c) fluxo através de uma única abertura. Fonte: Mazon, 2005.

Quando não há vento, o efeito chaminé torna-se o único responsável pela renovação do ar nas edificações e representa a situação mais simples da ventilação natural. Se há incidência de vento, essa ação deve ser conjugada ao efeito chaminé, de forma que essas ações se somem resultando numa ventilação natural mais eficiente. Para que isto ocorra, é fundamental que a configuração do fluxo de ar, no interior da edificação, originária da ação do vento, isoladamente, e o sentido do fluxo proveniente das diferenças de temperatura se somem. Quando não há a conjugação desses dois fenômenos, a oposição dos mesmos pode acarretar alguns inconvenientes, como pressões maiores devido ao vento nas aberturas superiores em relação àquelas provenientes do efeito chaminé, impedindo o escape de fumaça e poeiras geradas internamente, Figura 2 (Toledo, 1999; Alloca et al, 2003; Li et al., 2003).

## 2. Avaliação da ventilação natural em ambientes construídos

### 2.1 Cálculo das aberturas

Consideram-se conhecidos a intensidade e a direção do vento, a temperatura e a pressão do ar externo, as posições relativas das aberturas e a vazão requerida para a ventilação. Admitindo-se regime permanente, perda de carga desprezível no escoamento interno e observando a conservação da massa e da quantidade de movimento, obtém-se, para qualquer número de aberturas pré-estabelecido:

$$A_k = \frac{2 \cdot Q_e \cdot \rho_e \cdot \lambda_k}{\sum_{j=1}^n K_j \cdot \lambda_j \cdot \sqrt{2 \cdot \rho_{ar} \cdot |\Delta P_j|}} \quad (1)$$

onde  $A_k$  é a área individual de cada abertura,  $Q_e$  é a vazão de entrada,  $\rho_e$  é a massa específica do ar exterior,  $\lambda_k$  é a fração de área da abertura requerida em relação a área total das aberturas,  $K_j$  é o coeficiente de vazão de cada área,  $\rho_{ar}$  é a massa específica do ar e  $\Delta P_j$  é a diferença de pressão do ar na abertura  $j$ .

A área de entrada de ar deve ser aproximadamente o dobro da área de saída, pois com essas condições a vazão será aumentada em torno de 25% com relação ao valor obtido em casos em que essas áreas são iguais (Clezar & Nogueira, 1999).

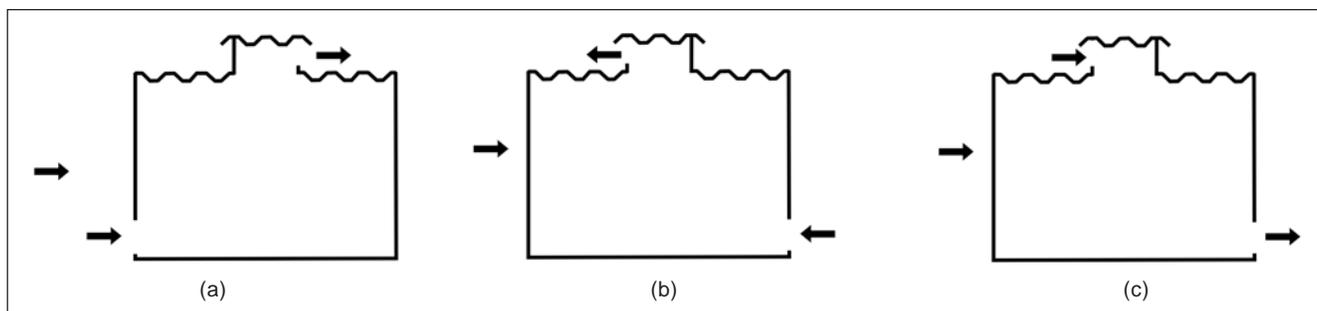
### 2.2 Índice de Ventilação Natural (IVN)

O índice de ventilação natural (IVN) é definido como sendo o quociente da área total das aberturas disponíveis para a saída do ar aquecido pela área do piso interno da edificação, levando em conta os fatores redutores de área de abertura, devido ao atrito e devido à mudança de direção, conforme expressado na equação (2). Esse índice é diretamente proporcional ao grau de conforto térmico do edifício, sendo facilmente calculado a partir da área do piso e da área e do formato das aberturas de ventilação de um edifício, respeitando-se os valores mínimos para pé direito bem como a posição e a uniformidade da distribuição de aberturas

$$IVN = \frac{A_a}{A_p} \times R_{aa} \times R_{da} \times R_{md} \times 100 \quad (2)$$

onde  $A_a$  é a área total das aberturas disponíveis para passagem de ar antes da instalação dos aparatos utilizados para permitir a entrada de luz e proteção contra chuva,  $A_p$  é a área do piso interno da edificação,  $R_{aa}$  é o redutor de área de abertura da passagem de ar,  $R_{da}$  é o redutor devido ao atrito e a presença de tela protetora,  $R_{md}$  é o redutor de mudança de direção (Scigliano & Hollo, 2001). Segundo Scigliano e Hollo (2001), galpões industriais e edificações comerciais atingem níveis plenamente satisfatórios de conforto térmico com um IVN entre 3 e 4.

O lanternim pode ser dimensionado,  $L_{ar}$  (Figura 4 (b)), utilizando-se a relação entre a área de abertura calculada pela equação (1) e o IVN dado pela equação (2), observando-se que a área total para a passagem de saída do ar, que é o somatório das áreas individuais  $A_k$  é igual a  $A_a$ , dada pela equação (2) (Mazon, 2005).



**Figura 2** - (a) Vento auxiliando no efeito chaminé, (b) Ar interno em fluxo ascendente e vento não auxiliando o efeito chaminé, (c) Ar interno em fluxo descendente e vento não auxiliando o efeito chaminé.

### 3. Estudo de caso

Nesse estudo, utiliza-se, como modelo físico, um galpão com quatro aberturas, sendo duas aberturas de entrada (inferiores) e duas aberturas de saída (superiores), como um exemplo típico de galpão comercial, Figura 3. Essa análise pode, no entanto, ser realizada para qualquer número e distribuição de aberturas.

Na Figura 3, mostram-se os parâmetros utilizados no cálculo da área das aberturas, a saber: a velocidade do vento,  $V_\infty$ , a temperatura e a pressão externa do ar e, conseqüentemente, sua massa específica,  $\rho_e$ , e a posição relativa entre as aberturas,  $Z_2$  e  $Z_3$ . Admitindo-se regime permanente, perda de carga desprezível no escoamento interno e observando-se a conservação da massa e da quantidade de movimento, calculam-se as pressões externas e internas em relação às aberturas, sendo  $P_0$  a pressão interna no nível de referência, determinada com a aplicação da equação da continuidade (Mazon, 2005).

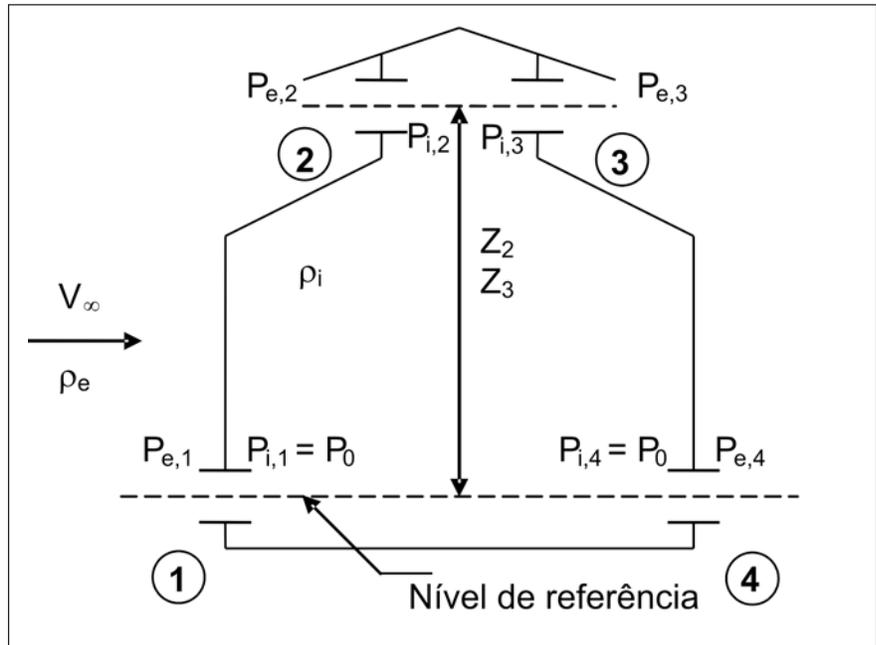


Figura 3 - Modelo físico do galpão analisado. Fonte: Mazon, 2005.

#### 3.1 Obtenção da dimensão da abertura do lanternim

São analisados galpões com diferentes dimensões com a finalidade de se obter o dimensionamento do lanternim. O lanternim está localizado no centro da cobertura com largura de 25 % da largura do módulo, com a finalidade de se obter uma melhor eficiência da ventilação natural, Figura 4.

Na Tabela 1, apresentam-se as geometrias dos galpões calculados, considerando-se que é colocado um lanternim em cada módulo de 10 m de largura, Figura 4 (a). São apresentadas as condições de entrada preestabelecidas e a altura da abertura da saída de ar no lanternim,  $L_{ar}$ , obtida por meio da metodologia apresentada. Para se obter um bom conforto térmico no interior do galpão, considera-se um índice de ventilação natural igual a quatro ( $IVN = 4$ ), no cálculo de  $L_{ar}$  (Scigliano & Hollo, 2001).

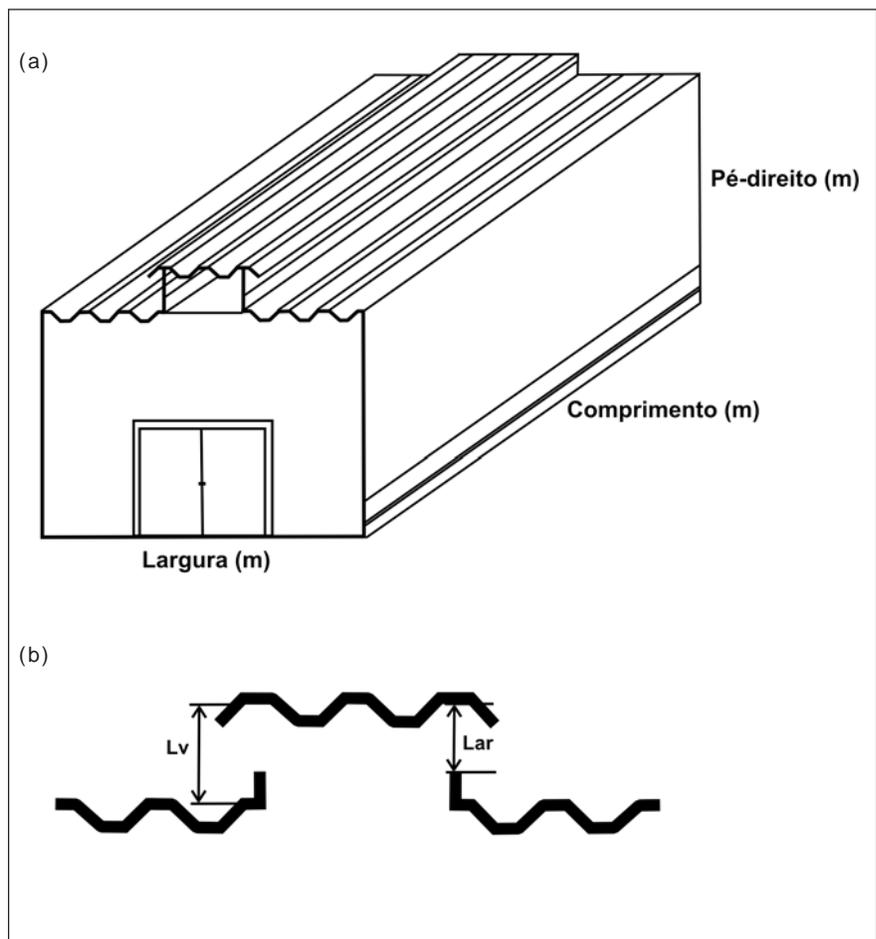


Figura 4 - (a) Módulo de galpão analisado; (b) Detalhe do lanternim.

Tabela 1 - Dimensões dos galpões analisados, propriedades físicas e dimensão da abertura obtida.

Modelos	Geometria do galpão (Largura X Comprimento X Pé-direito) (m)	Velocidade do ar (m/s)	Temperatura externa (°C)	Temperatura interna (°C)	$L_{ar}$ (m)
1	50 X 20 X 7	0,3	25	30	0,8
2	50 X 20 X 7	0,3	25	33	1,0
3	50 X 20 X 7	1,0	25	33	1,2
4	30 X 30 X 7	1,0	25	33	1,0
5	30 X 45 X 7	1,0	25	30	1,4

### 3.2 Obtenção do comportamento do fluxo e da temperatura do ar interno

Com o objetivo de analisar o comportamento do fluxo e a distribuição da temperatura do ar interno, as equações governantes são resolvidas via solução numérica, utilizando-se o programa computacional ANSYS Versão 6.0 (ANSYS, 2001). Considera-se o fluxo de ar transiente, incompressível, turbulento e a transferência de calor dentro do ambiente num modelo bidimensional. Analisa-se o fluxo do ar no interior de dois galpões com dimensões 50 X 20 X 7 m, correspondentes ao primeiro e ao segundo modelos mostrados na Tabela 1.

Como condições de contorno, admitem-se condições de temperatura conhecida nas superfícies laterais e na superfície superior e superfície inferior isolada, Figura 5. Não é considerada a presença de fontes internas de calor.

Consideram-se as alturas das aberturas de saída de ar no lanternim como sendo aquelas obtidas na metodologia aplicada, ou seja, 0,8 m e 1,0 m, correspondentes aos primeiro e segundo modelos de galpões, respectivamente. As áreas das aberturas de entrada são consideradas o dobro das áreas das aberturas de saída. Os resultados obtidos para os modelos 1 e 2 são mostrados nas Figuras 6 e 7, respectivamente.

Para as condições de temperatura de superfície e de entrada do ar estabelecidas no contorno, como condições representativas de condições de verão, são obtidas condições internas de temperatura e velocidade do ar que estão

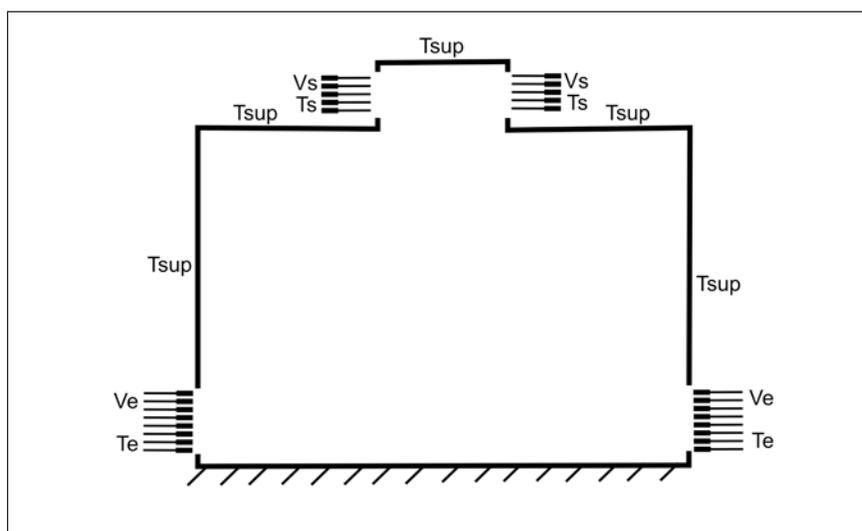


Figura 5 - Modelo físico do galpão com as condições de contorno.

dentro das faixas estabelecidas pelas normas NBR 6401: 1980 e ASHRAE: 1997, como condições de conforto. No caso do modelo 2, Figura 7, a estratificação vertical da temperatura interna fica evidenciada, com valores da temperatura variando entre 19°C e 31°C. Em relação ao comportamento do fluxo do ar interno, para velocidade de entrada de ar preestabelecida, observa-se um comportamento simétrico, caracterizando o fluxo para um galpão com duas entradas inferiores e duas saídas superiores simétricas, Figura 6. À medida que o gradiente de temperatura, entre o ar externo e o ar interno, aumenta, observa-se que para se alcançar um fluxo do ar interno mais uniforme, em todo o domínio, deve-se ter uma maior vazão de ar de entrada. Nos dados mostrados na Figura 7, observa-se uma região de baixa velocidade próxima do piso, mas que não afeta a condição de conforto.

### 4. Considerações finais

Faz-se um estudo da ventilação natural em galpões, destacando-se os parâmetros mais relevantes no cálculo da abertura do lanternim. Apresenta-se, também, uma metodologia de cálculo, para obtenção das áreas das aberturas necessárias para uma dada vazão de entrada de ar, e que proporcione condições internas de conforto. Aplicando-se o conceito do índice de ventilação natural, o qual leva em conta o grau de conforto térmico necessário num ambiente construído, determina-se a abertura de lanternim necessária. Os resultados numéricos apresentados confirmam que a metodologia proposta mostra-se uma ferramenta bastante importante para as etapas iniciais de projetos arquitetônicos, visto que ela permite saber o tamanho necessário das aberturas dos lanternins

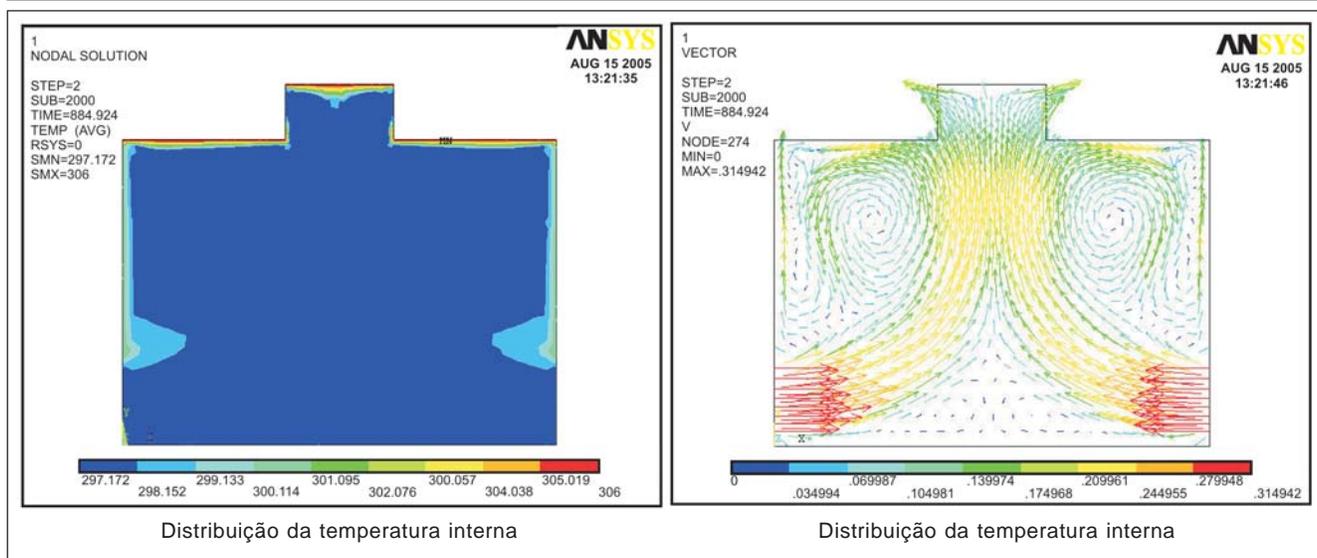


Figura 6 - Perfil do fluxo e da temperatura do ar interno - modelo 1.

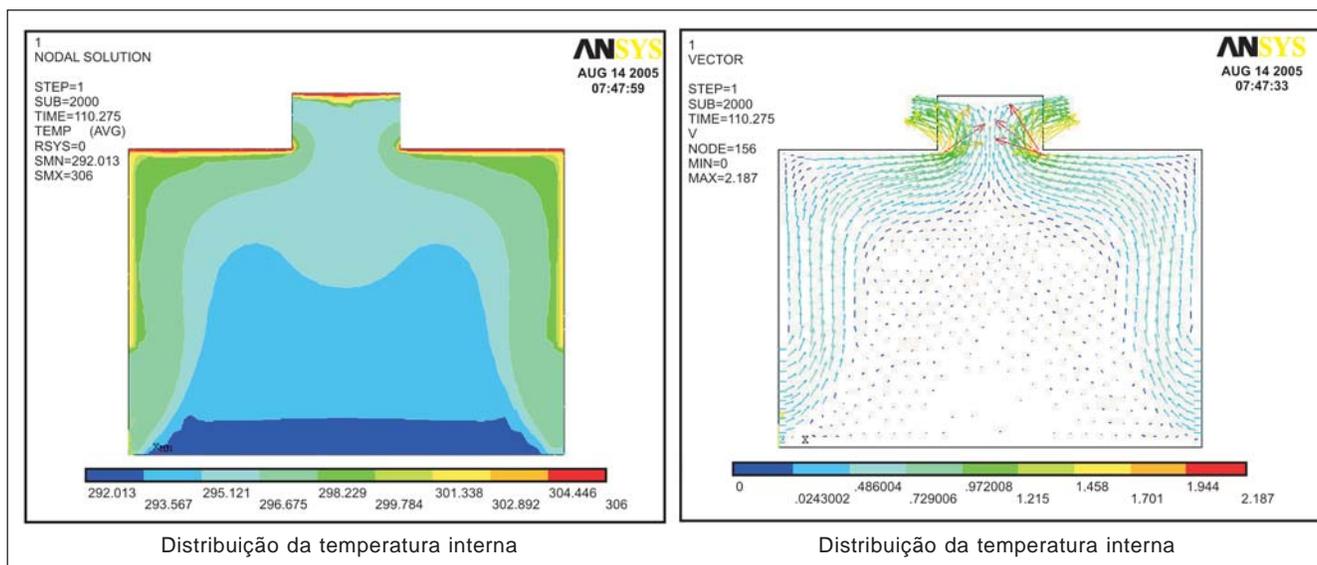


Figura 7 - Perfil do fluxo e da temperatura do ar interno - modelo 2.

para que se tenha uma ventilação natural eficiente e, conseqüentemente, um ambiente confortável.

## 5. Agradecimentos

Os autores agradecem à FAPEMIG pelo apoio financeiro.

## 6. Referências bibliográficas

ALLOCA, C., CHEN, Q., GLICKSMAN, L. R. Design analysis of single-sided natural ventilation. *Energy and Buildings*, v. 35, p. 785-795, 2003.

ANSYS. *User's Manual for Revision 6*. Houston, PA, Swanson Analysis Systems Inc., 2001.  
 ASHRAE. *Fundamentals Handbook*. American Society of Heating, Ventilating and Air-Conditioning Engineers, Atlanta, USA: 1997.  
 ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. *Instalações centrais de ar condicionado para conforto: Parâmetros básicos de projeto: NBR 6401*. Rio de Janeiro. 1980.  
 CLEZAR, C. A., NOGUEIRA, A. C. R. *Ventilação industrial*. Florianópolis: Editora da UFSC, 1999.  
 HEISELBERG, P., SVIDT, K., NIELSEN, P. V. Characteristics of airflow from open windows. *Building and Environment*, v. 36, p. 859-869, 2001.

LI, Yuguo, DELSANTE, Angelo. Natural ventilation induced by combined wind and thermal forces. *Building and Environment*, v. 36, p. 59-71, 2003.  
 MAZON, A. A. O. *Ventilação natural em galpões utilizando lanternins*. Ouro Preto: Departamento de Engenharia Civil, Escola de Minas, UFOP, 2005. 214p. (Dissertação de Mestrado).  
 SCIGLIANO, S., HOLLO, V. *Índice de ventilação natural*. São Paulo: Editora Pini, 2001. 279 p.  
 TOLEDO, E. *Ventilação natural das edificações*. Maceió: Editora da Universidade Federal de Alagoas - EDUFAL, 1999. 170 p.

Artigo recebido em 27/09/2005 e aprovado em 13/04/2006.