

Prof. ROBERTO LAMBERTS, Ph.D
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL
UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA

RESUMO

Desenvolve-se um modelo matemático para a simulação da taxa de ventilação de áticos com duas águas e dois oitões. O modelo é usado para simular a ventilação do ático de telhados de cimento amianto e telhas de barro com diferentes tipos de abertura, exposição ao vento, diferença de temperatura externa/interna e velocidade do vento. Conclui-se que o modelo é útil para avaliar a influência das diversas variáveis e, que sob Condições como as encontradas em Porto Alegre, velocidade do vento média para um dia de verão de 2m/s, a taxa de ventilação do ático é muito baixa.

ABSTRACT

A mathematical model was developed to simulate the ventilation on low rate of an attic with two roof surfaces and two gables. The model is used to simulate the ventilation of an attic under an asbestos cement roof and a clay tiled roof with different kinds of openings, wind shelter, temperature difference (inside/outside) and wind velocity. The conclusion is that the model was useful to study the influence of the several variables. Under wind conditions of a summer day in Porto Alegre (wind speed=2m/s) the attic ventilation flow rate is very small.

INTRODUÇÃO

A ventilação de um ático pode ser usada para a remoção de calor e umidade. No verão a ventilação do ático é usada para remoção do ar superaquecido pela telha, telha esta que geralmente tem baixa resistência térmica. No inverno a ventilação do ático é usada para a remoção dos altos conteúdos de umidade que penetram através do forro e que de outra forma poderiam vir a condensar quando em contato com a telha fria. A ventilação do ático no inverno causa, entretanto, remoção de calor aumentando as perdas térmicas através do forro.

O conhecimento das taxas de ventilação de áticos comumente usados em casas populares brasileiras é de extrema importância para o projeto de casas com desempenho térmico apropriado as diversas regiões climáticas brasileiras.

A ventilação natural é causada por gradientes de pressão gerados pelo vento e/ou pelo efeito chaminé. O vento incidente sobre uma edificação será desacelerado e defletido. A desaceleração causa uma pressão positiva na fachada de barlavento (de onde incide o vento) enquanto a deflexão causa separação do fluxo de ar da edificação, dando origem a zonas de sucção (pressão negativa). A distribuição de pressões em um telhado depende da inclinação do mesmo. Telhados com inclinação menor do que 30° tem as duas águas sob sucção. Telhados mais inclinados tem pressão positiva na água de barlavento e sucção na de sotavento.

O efeito chaminé é criado por diferença na temperatura do ar e portanto na densidade entre o interior e o exterior. Uma terceira força capaz de contribuir para a ventilação de um ático é a oriunda da turbulência do vento que causa flutuações de pressão. A maioria dos modelos de simulação de taxas de ventilação não considera os efeitos da turbulência do vento (

Liddament 1986).

Existem dois tipos de rotas de ventilação em um ático:

- aberturas de infiltração (fissuras e materiais permeáveis ao ar)
- aberturas intencionais (grelhas, tijolos furados, etc.)

O desenvolvimento de modelos matemáticos para a simulação da taxa de ventilação através das rotas está amplamente divulgado na literatura (Liddament e Allen 1983).

Para a simulação da taxa de ventilação de um ático é necessário conhecer os coeficientes de pressão do vento no telhado e oitões. A pressão do vento varia com a exposição ao vento. Wirren (1984) estudou, em túnel de vento, a pressão do vento em uma casa cercada de casas iguais. Quando a distância entre as casas era igual a dois comprimentos de casa, a diferença de pressão através da casa (barlavento-sotavento) gerada por ventos frontais era 60% da diferença de pressão em uma casa isolada. Quando o espaçamento entre as casas foi reduzido para uma largura de casa, a diferença de pressão diminuiu para um terço da pressão na casa isolada. Isto demonstra que o potencial de ventilação de uma casa urbana é bem mais reduzido que o de uma casa rural onde existem menos anteparos que reduzem a intensidade do vento.

A ventilação de um ático está normalmente associada ao uso de aberturas na cumeeira. Estas aberturas quando associadas a aberturas sob o beiral poderiam aproveitar o efeito chaminé para aumentar a taxa de ventilação quando há vento ou para propiciá-la na situação de calmaria. Entretanto em casas populares, normalmente a diferença de altura entre a entrada e saída do ar (beiral-cumeeira) é pequena tornando o efei

to chaminé desprezível. Mas não devemos esquecer que como a maioria dos telhados tem inclinação menor do que 30° a cumeeira fica sob sucção, fazendo com que a ventilação pelo efeito do vento seja aumentada. Entretanto a proteção adequada ao problema de chuva com vento torna o uso deste tipo de abertura extremamente difícil. Outro cuidado necessário é com o efeito de bloqueios ao deslocamento do vento causado por edifícios altos. Na região de sota vento destes prédios o fluxo de ar pode ser vertical causando um contrafluxo nas aberturas de cumeeira em casas térreas.

Os telhados no Brasil são normalmente construídos sem aberturas especiais para a ventilação. Os telhados de barro propiciam alguma ventilação pela permeabilidade das frestas entre as telhas. Os telhados de cimento amianto são mais estanques ao ar mas o espaço entre o corrugado da telha e a terça, sob o beiral, pode ser usado como abertura de ventilação. Se a ventilação propiciada desta forma não for suficiente, aberturas sob o beiral podem ser ampliadas através do uso de aberturas lineares sob a terça. A ventilação com aberturas sob o beiral tem a grande vantagem de não estar tão exposta a penetração de chuva com vento devido ao comprimento do beiral normalmente usado (40 cm).

A seguir apresenta-se um modelo matemático para a simulação da taxa de ventilação de áticos típicos de casas populares brasileiras.

O MODELO

O modelo desenvolvido (Lamberts 1988) é de uma zona com nove rotas para o fluxo de ar entre o interior e o exterior. Estas rotas são: duas aberturas lineares sob o beiral, uma abertura linear na cumeeira e seis rotas de infiltração (duas em cada água do telhado e uma em cada oitão). As rotas estão representadas na figura 1.

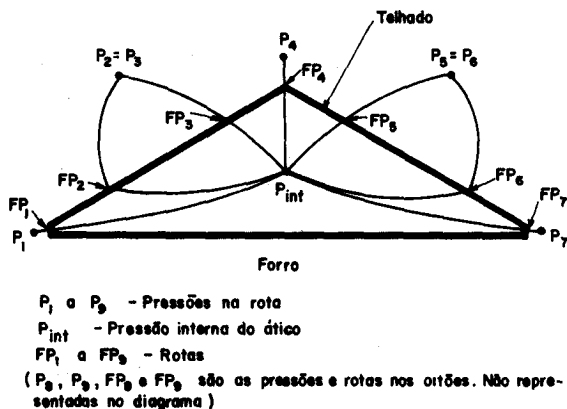


Fig. 1 - Diagrama das Rotas do Fluxo de ar no Modelo de Ventilação.

Um balanço de massa nas nove rotas leva a

$$\sum_{i=1}^{i=9} \rho_i Q_i = 0 \quad (\text{kg/s})$$

onde:

ρ_i - densidade do ar na rota i , kg/m^3

Q_i - fluxo de ar, m^3/s

A equação de fluxo através de cada rota é

$$Q_i = k_i |p_i - p_{int}|^{n_i}$$

onde:

k_i - coeficiente de fluxo na rota i , m^3/s (a 1 Pa)

P_i - pressão do ar na rota i , Pa

P_{int} - pressão interna do ático, Pa

n_i - expoente do fluxo na rota i

Combinando as duas equações acima quando a diferença de temperatura interior/exterior é menor do que 20K o balanço de massa se transforma em

$i=9$

$$\sum_{i=1} \frac{k_i |p_i - p_{int}|^{n_i} ((p_i - p_{int}) / |p_i - p_{int}|) = 0$$

$i=1$

As pressões causadas pelo vento e pelo efeito chaminé foram calculadas de acordo com o Guia do AIVC (Liddament 1986). Os valores de k e n para as diversas rotas também foram retirados do mesmo Guia.

SIMULAÇÕES

O modelo foi usado para simular a taxa de ventilação de um ático de uma casa de 6m x 7m com as seguintes características:

-tipos de telhado:

- (1) cimento amianto com inclinação de 20°
- (2) telhado de barro com inclinação de 30°

-aberturas de ventilação

- (1) cimento amianto:
 - a) espaço entre o corrugado e a terça, sob o beiral ($0.009 \text{ m}^2/\text{m}$) + abertura linear na cumeeira ($0.018 \text{ m}^2/\text{m}$)
 - b) espaço entre o corrugado e a terça, sob o beiral ($0.009 \text{ m}^2/\text{m}$) + abertura linear de 20 mm sob o beiral ($0.02 \text{ m}^2/\text{m}$)
 - c) espaço entre o corrugado e a terça, sob o beiral ($0.009 \text{ m}^2/\text{m}$) + abertura linear de 50mm sob o beiral ($0.05 \text{ m}^2/\text{m}$)
- (2) telhado de barro
 - a) sem aberturas intencionais, só infiltração pela telha e fissura de 2 mm sob o beiral;
 - b) abertura linear de 29 mm sob o beiral ($0.029 \text{ m}^2/\text{m}$);
 - c) abertura linear de 59 mm sob o beiral ($0.059 \text{ m}^2/\text{m}$)

Cabe salientar que as aberturas sob o beiral no telhado de barro são maiores que no de cimento amianto para propiciar a mesma área total (corrugado+abertura) de ventilação

-exposição ao vento:

- (1) campo aberto
- (2) em uma cidade sendo a casa circundada por outras da mesma altura

- direção do vento - normal a fachada do beiral

- diferença de temperatura interior/exterior

- (1) 5K
- (2) 20K

- velocidade do vento a 10m variando de 0 a 5 m/s

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A diferença na taxa de ventilação causada pela diferença de temperatura interior/externo de 5 para 20 K foi muito pequena logo os resultados aqui apresentados são os para diferença de temperatura de 5 K.

Telhado de cimento amianto

A mudança na exposição ao vento de campo aberto para cidade trouxe uma redução na taxa de ventilação do ático. No telhado com abertura corrugado-cumeeira (1,a) a redução foi de 30% para uma velocidade do vento de 2 m/s. No telhado com abertura somente nos beirais (1,b + 1,c) a redução foi de 60%.

A figura 2 mostra as simulações para o telhado de cimento amianto situado em uma cidade.

A ventilação é expressa em m^3/s , para converter para trocas de ar por hora multiplique por 79 (3600 dividido pelo volume de ático). Para uma velocidade do vento de 2 m/s, a ventilação é de 0.039 m^3/s para corrugado + cumeeira, 0.055 m^3/s para uma abertura de 20 mm sob o beiral e 0.109 m^3/s para uma abertura de 50 mm.

Telhado de barro

A mudança na exposição ao vento (2,b + 2,c) causou uma redução de 60% no ático com abertura sob o beiral para uma velocidade do vento de 2 m/s. Esta redução é igual a para o telhado de cimento amianto com aberturas nos beirais. Não houve redução para o telhado sem aberturas intencionais (2,a).

A figura 3 mostra as simulações para o telhado de barro situado em uma cidade.

A ventilação é expressa em m^3/s , para converter para trocas de ar por hora multiplique por 50. O telhado sem aberturas intencionais tem a mesma taxa de ventilação para velocidade de até 4 m/s. Para uma velocidade do vento de 2m/s a ventilação foi 0.071 m^3/s para uma abertura de 29 mm sob o beiral e de 0.134 m^3/s para uma abertura de 59 mm.

Mesmo sem vento (0 m/s) o telhado apresenta uma certa ventilação devido a diferença de temperatura (0.03 m^3/s).

CONCLUSÃO

O modelo foi útil para identificar e quantificar a importância relativa das variáveis envolvidas.

Com o uso de aberturas grandes, sob o beiral, altas taxas de ventilação do ático podem ser obtidas em ambos os telhados. Para o projeto a dequado deve-se considerar o micro-clima local e as necessidades de ventilação de inverno e verão.

Analisando a situação de Porto Alegre que tem uma velocidade média do vento de 2 m/s poderíamos dizer que uma casa como a analisada se construída em um loteamento popular teria a seguinte taxa de ventilação do ático:

- (1) telhado de cimento amianto com:
 - a) corrugado+cumeeira - 3 trocas de ar por hora
 - b) abertura de 20 mm sob o beiral - 4 trocas de ar por hora
 - c) abertura de 50 mm sob o beiral - 9 trocas de ar por hora.

- (2) telhado de barro com:

- a) sem aberturas intencionais - 2 trocas de ar por hora
- b) aberturas de 29 mm sob o beiral - 4 trocas de ar por hora
- c) aberturas de 59 mm sob o beiral - 7 trocas de ar por hora

Como pode-se observar o número de trocas de ar para esta situação e para os telhados aqui simulados é bastante reduzido. A redução do fluxo de calor no forro causada por uma taxa de ventilação de 10 trocas de ar por hora é de apenas 7% como pode ser visto em Lamberts (1988). Outras medidas para reduzir o fluxo no forro, tais como pintura da telha de branco, uso de barreiras radiantes sob a telha ou isolamento no forro são muito mais eficientes que a ventilação do ático. Logo acredita-se que a ventilação do ático deve ter como principal função a remoção da umidade transmitida através do forro para evitar sua condensação.

REFERÊNCIAS

1. LIDDAMENT, M.W. e ALLEM, C. 1983 The Validation and Comparison of Mathematical Models of Air Infiltration. AIC Technical Note 11. Air Infiltration and Ventilation Centre.
2. WIREN, B.G. 1984 Wind Pressure Distribution and Ventilation Rates for a Single-Family House as Influenced by Surrounding Buildings A Wind Tunnel Study. In: 1984 Wind Pressure Workshop. Brussels. AIC Technical Note 13.1, Air Infiltration and Ventilation Centre, pp 75-101.
3. LIDDAMENT, M.W. 1986 Air Infiltration Calculation Techniques - An Applications Guide. Air Infiltration and Ventilation Centre, Bracknell, U.K.
4. LAMBERTS, R. 1988 Heat Transfer Through Roofs of Low cost Brazilian Houses. Tese de PhD, Department of Civil Eng. The University of Leeds, U.K.

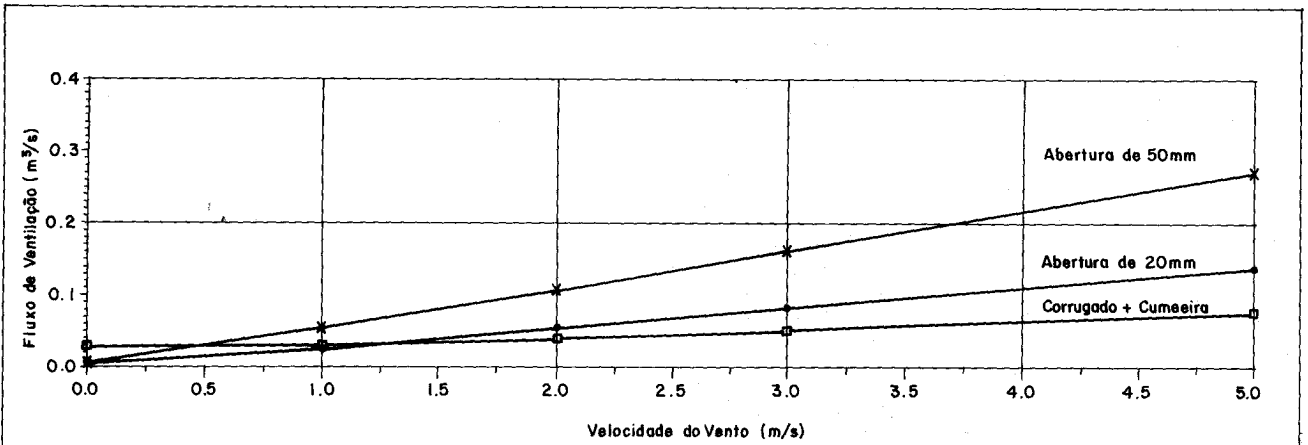


Figura 2. Fluxo de ventilação no telhado de cimento amianto com diferentes aberturas.

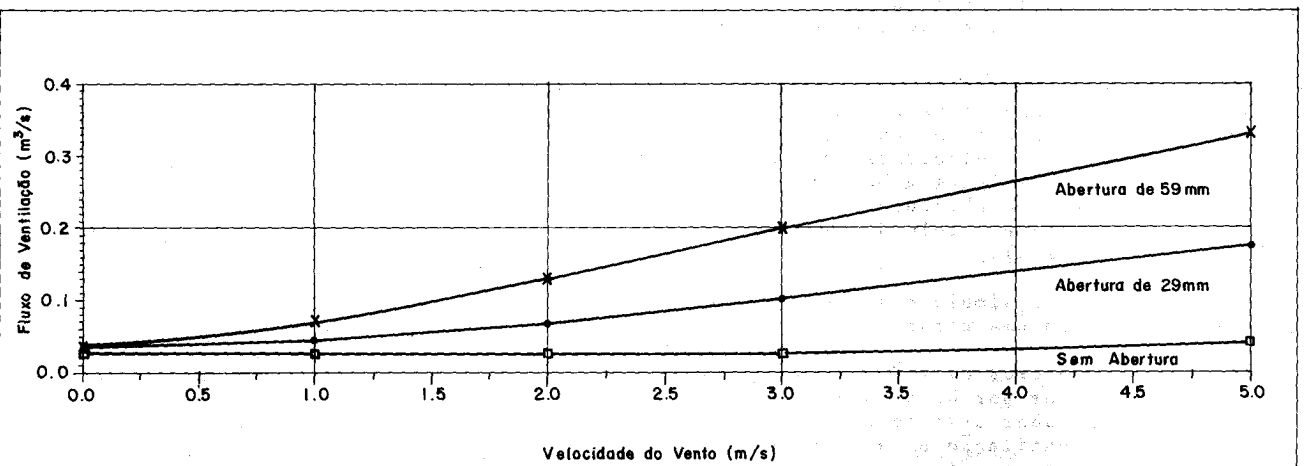


Figura 3. Fluxo de ventilação no telhado de barro com diferentes aberturas.