

# VENTILAÇÃO NATURAL



Prof. Dr. Iran José Oliveira da Silva  
ESALQ - USP.  
2013

## Tipos de Ventilação

### • Ventilação Natural

– É o movimento normal do ar que pode ocorrer por diferenças de pressão causadas pela ação do vento ou de temperatura entre dois meios considerados.

### • Ventilação Forçada

– Produzida por equipamentos especiais como exaustores e ventiladores. É utilizada sempre que as condições naturais de ventilação não proporcionam adequada movimentação do ar ou abaixamento de temperatura.

## Ventilação natural:

Deslocamento controlado e intencional de ar através de aberturas específicas (portas, janelas, lanternim, dutos, etc.) e dispositivos para ventilação.

### Depende:

- Diferença de pressão entre o interior e o exterior da estrutura;
- Resistência ao fluxo de ar oferecida pelas aberturas ou frestas

## Forças Naturais Envolvidas:

- Forças devido ao vento;
- Diferença entre as temperaturas interna e externa da estrutura

**(Sozinha ou combinação de ambas)**

## Características do Vento:

- Magnitude e direção mudam constantemente;
- Variações de até  $\pm 100\%$  na média da magnitude num intervalo de 5 minutos;
- Variações na direção em  $\pm 22,5^\circ$  num mesmo intervalo de tempo, ocasionalmente de  $\pm 45^\circ$  a  $\pm 67,5^\circ$

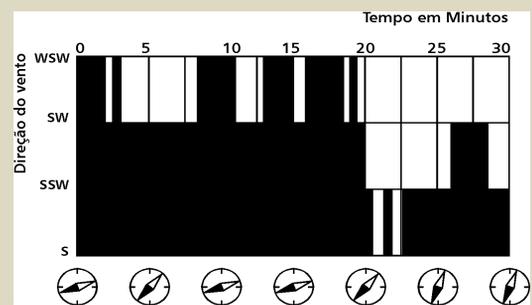


Figura 1. Variação da magnitude e direção do vento em função do tempo

### Forças Devido ao Vento:

O fluxo de ar devido ao vento, em torno e sobre as estruturas, cria as regiões nas quais a **pressão estática** é diferente da pressão estática do ar não "perturbado".

A velocidade do vento, portanto, determina a pressão exercida no exterior da estrutura.

## Ventilação Natural

É o movimento do ar através de construções, especialmente abertas, pelo uso de forças naturais produzidas pelo vento e /ou por diferenças de temperaturas.

- Recurso bastante eficaz na climatização de galpões.
- Obtido através de adequada concepção arquitetônica.
- Para climas quentes deve ser amplamente aproveitada.
- Para adequada ventilação leva-se em conta: clima, tamanho e densidade do lote, tipo da instalação e paisagismos natural.
- Obedece exigências higiênicas e ou térmicas.

## Ventilação Natural

### Benefícios

- Permite alterações e controle da pureza do ar:
  - Provendo o galpão de oxigênio;
  - Eliminando amônia, CO<sub>2</sub> e outros gases nocivos;
  - Excesso de umidade e odores .
- Possibilita, também, dentro de certos limites:
  - Controlar a temperatura e a umidade do ar nos ambientes habitados;
  - Aumentando a perda calorífica por convecção.

## Tipos de Ventilação Natural

- Ventilação Dinâmica
  - Ponto de alta pressão  Ponto de baixa pressão
  - A taxa em que a ventilação natural ocorre depende:
    - - Velocidade do vento e de sua direção;
    - - Proximidade e das dimensões de obstáculos;
    - - Forma e localização de aberturas de entrada e saída de ar.
  - Para ter ventilação verdadeiramente efetiva as aberturas devem estar em paredes opostas.
    - "ventilação cruzada".

### Ventilação Natural pode ocorrer de 2 formas:

**VENTILAÇÃO NATURAL DINÂMICA** → Ventilação por diferença de pressão causada pela ação dinâmica do vento

- 0,05mmH<sub>2</sub>O são suficientes para causar correntes de ar eficientes (desde que haja caminho para elas).
  - fatores importantes que favorecem a corrente de ar:
    - dimensões e localizações das aberturas
    - orientações das instalações
    - velocidade e direção do vento (não oferece garantia de uniformidade)

## Ventilação com finalidade higiênica

- Permite alterações e controle da pureza do ar, eliminando amônia, CO<sub>2</sub> e outros gases nocivos, excesso de umidade do ar e odores.
- Aplicada a regiões frias (baixas temperaturas): ventilação relacionada com a renovação e qualidade do ar interior.
- Aberturas dos dispositivos (janelas e cortinas) de maneira tal que o fluxo de ar se desloque naturalmente pela zona superior da construção.
- Evitar o efeito direto do vento sobre os animais.
- Quantidades de ar a renovar é pequena aberturas pequenas.

## Tipos de Ventilação Natural

### • Ventilação Térmica

- Diferença de temperatura entre as massas de ar;
- Densidade;
- Sentido vertical;
- Aberturas próximo ao piso;
- Aberturas no telhado;
- Fluxo constante de ar.

## Ventilação com finalidade térmica

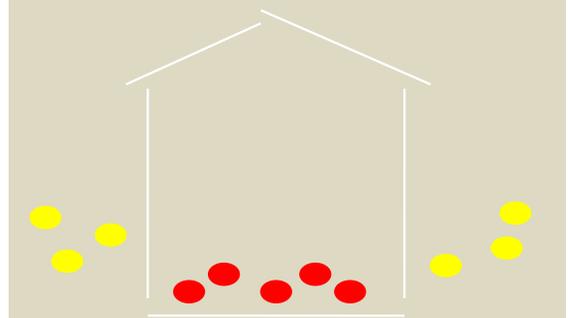
- Permite, dentro de certos limites, controlar a temperatura e a umidade do ar, de tal forma que o ar expedito, quente e úmido, seja substituído e assim aumente a perda de calor dos frangos por convecção.
- Aplicada a regiões quentes (altas temperaturas): ventilação relacionada com a extração do calor liberado pelas aves para que a temperatura no interior do galpão não aumente.
- Aberturas dos dispositivos (janelas e cortinas) de maneira tal que o fluxo de ar se desloque naturalmente por todo o espaço inferior e superior, exercendo uma influência direta sobre o conforto e eliminando parte do calor acumulado em paredes, piso, teto e equipamentos

## Ventilação Natural pode ocorrer de 2 formas:

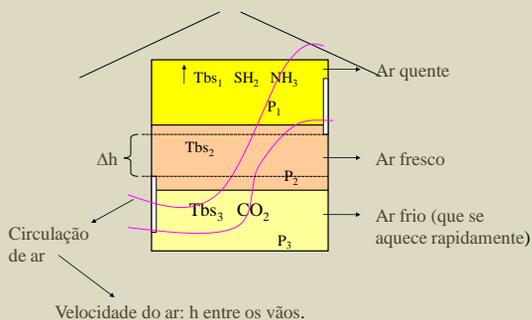
**VENTILAÇÃO NATURAL TÉRMICA** → Ventilação por diferença de temperatura, que provocam variações na densidade do ar.

- O efeito denominado de termostifão ou efeito Chaminé ocorre independentemente da velocidade do ar externo.
  - fatores importantes que favorecem o efeito chaminé:
    - edificação com aberturas próximas ao piso e ao teto.
    - ar externo mais frio que o ar interno.
    - o ar mais denso entra e o menos denso escapa pelas aberturas superiores do abrigo.

## Ventilação Térmica

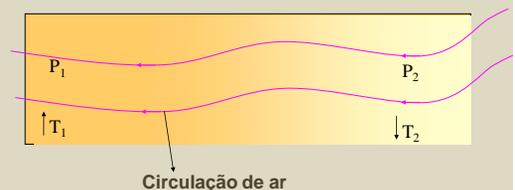


## Correntes ascendentes: ar em contato com os animais se aquece.

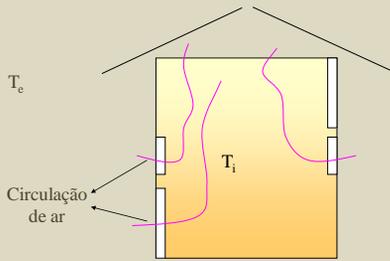


## Correntes de ar entre as fachadas opostas de um pavilhão = Ventilação estática horizontal

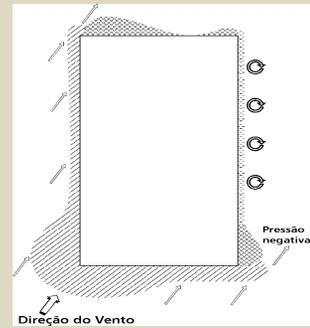
Se:  $T_1 > T_2$  → então:  $P_1 < P_2$



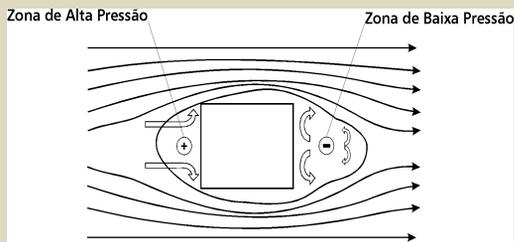
**Correntes de ar entre as fachadas opostas de um pavilhão = Ventilação estática horizontal**



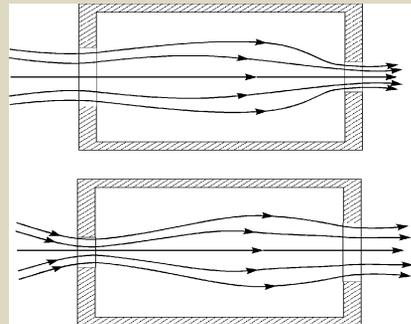
Se,  $T_e < T_i$  = correntes de ar tendentes a equilibrar ambas



**Figura 2. Ação da magnitude e direção do vento em uma estrutura**



**Figura 3. Zonas de alta e baixa pressão causadas pela força do vento**



**Figura 4. Efeitos do tipo de aberturas sobre a direção do vento**

**A pressão pode ser:**

- positiva (sobre a estrutura ou para dentro dela);
- negativa ("puxando" ar para fora da estrutura);
- neutra.

A pressão estática sobre uma superfície da estrutura é aproximadamente proporcional à velocidade do fluxo de ar:

$$\Delta p = \frac{v_v^2}{2 \cdot g} \cdot \rho$$

$\Delta p$  = diferencial de pressão ou carga cinética, Pa;

$v_v$  = velocidade do vento, m/s;

$g$  = aceleração da gravidade, 9,81 m/s<sup>2</sup>;

$\rho$  = peso específico ou densidade do ar, kg/m<sup>3</sup>.

O peso específico ou densidade ( $\rho$ ) do ar sofre uma pequena variação com a temperatura, como é demonstrado abaixo

Temperatura do Ar (°C)	Peso Específico (kg/m <sup>3</sup> )
-5	1,318
0	1,293
5	1,270
10	1,249
15	1,220
20	1,205
30	1,166
40	1,129

Em condições normais de temperatura e pressão

$$A = \frac{V}{231} \cdot P \cdot 1000$$

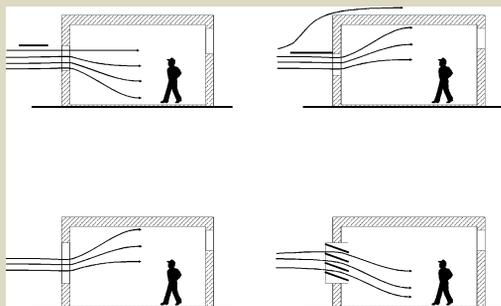


Figura 5. Direcionamento do vento em função do tipo de abertura



Figura 6. Efeitos do tipo de fluxo e pressão do vento em função da localização das aberturas em estruturas agrícolas



### Fluxo Devido ao Vento

Vários fatores devem ser considerados para se determinar o fluxo devido ao vento, a saber:

- Velocidade média do vento;
- Direção do vento predominante;
- Variações diárias e sazonais da magnitude e direção do vento;
- Interferências locais: estruturas próximas, árvores, encostas, etc.

$$\dot{V} = E \cdot A_A \cdot v_v$$

$\dot{V}$  = fluxo de ar devido ao vento, m<sup>3</sup>/s;

$A_A$  = área livre de aberturas, m<sup>2</sup>;

$v_v$  = velocidade do vento, m/s;

$E$  = eficiência das aberturas, adimensional

O coeficiente de eficiência das aberturas (E) é tomado como:

0,50 a 0,60 para ventos perpendiculares  
0,25 a 0,35 para ventos diagonais às superfícies.

$E = 0,35$  é um valor recomendado por literatura para estruturas agrícolas.

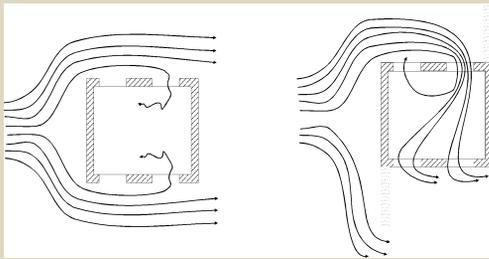


Figura 7. Efeitos das aberturas e barreiras físicas sobre o direcionamento do vento em estruturas agrícolas naturalmente ventiladas.

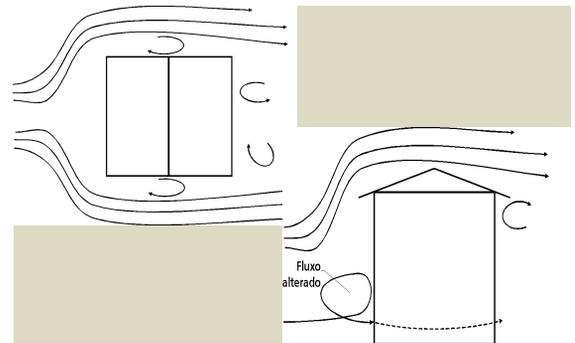


Figura 8. Efeitos das formas físicas das instalações sobre o direcionamento do vento em estruturas agrícolas naturalmente ventiladas .

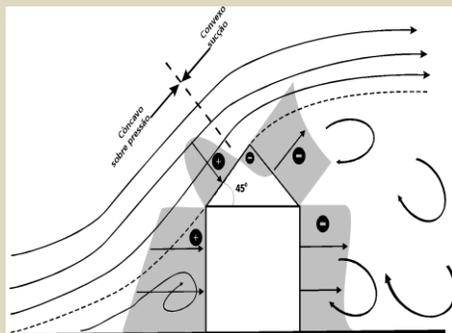


Figura 9. Efeitos das pressões sobre a estrutura agrícola, com ângulo de telhado de 45°, naturalmente ventilada

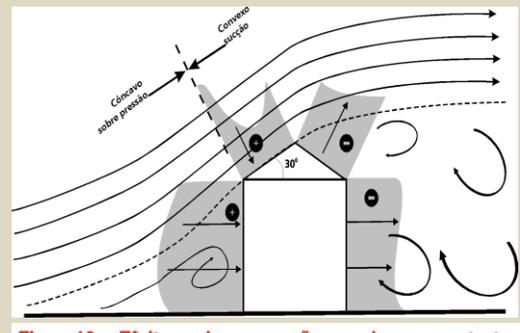


Figura10. Efeitos das pressões sobre a estrutura agrícola, com ângulo de telhado de 30°, naturalmente ventilada

### Exemplo:

Qual o fluxo de ar numa estrutura agrícola naturalmente ventilada, de 30m de comprimento, com abertura de beiral de 0,08m ao longo de um lado da estrutura, quando a velocidade do vento é de 9m/s?

Dados:

$E = 0,35$

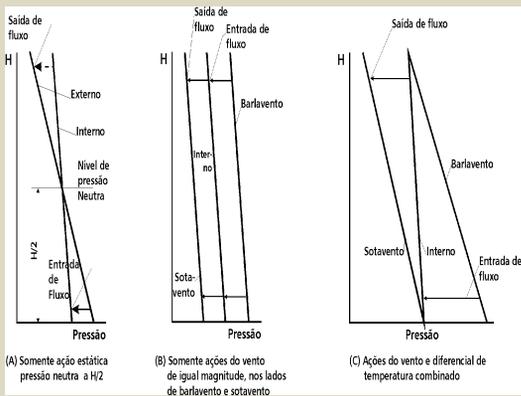
$$\dot{V} = EA_A \cdot v$$
$$\dot{V} = 0,35 \cdot 0,08 \cdot 30 \cdot 9$$

### Observações:

As aberturas de entrada devem ser colocadas nas paredes voltadas para os ventos predominantes (barlavento) e não devem ser obstruídas por outros edifícios, árvores, etc.; enquanto que as saídas devem ser colocadas:

- Nas paredes opostas aos ventos predominantes (sotavento);
- No telhado, na área de baixa pressão causada pela passagem dos ventos;
- Nas paredes adjacentes às das aberturas de entradas onde ocorrem áreas de baixa pressão.

Figura 11. Esquemas dos efeitos das ações do vento e diferença de temperatura sobre paredes de uma estrutura



### Forças Devido à Diferença de Temperatura

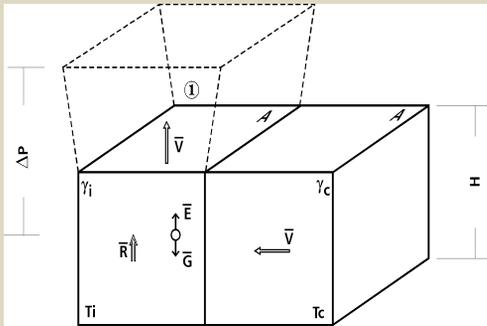


Figura 12. Visualização das forças envolvidas devido à diferença de temperatura

$$E = V_E \cdot \rho_e \quad G = V_G \cdot \rho_i$$

$$V_E = V_G = AV$$

$$E = AH\rho_e \quad G = AH\rho_i$$

A = área, m<sup>2</sup>;

H = Altura, m;

E = Força de empuxo, Pa;

G = Força devido a gravidade, Pa

$$\rho_i H \left( \frac{T_i}{T_e} \right)$$

$$\rho_e H \left( \frac{T_e}{T_i} \right)$$

$$\rho_e H \left( \frac{T_e}{T_i} \right)$$

$$\rho_e H \left( \frac{T_e}{T_i} \right) - \rho_i H \left( \frac{T_i}{T_e} \right)$$

$$v = \sqrt{2gH \left( \frac{T_e}{T_i} \right)}$$

No movimento do ar em estruturas, devido ao efeito chaminé, ocorrem perdas (fricção, contração, etc.) e a equação anterior deve ser corrigida por um fator de redução

$$v = \theta \sqrt{2gH \left( \frac{T_e}{T_i} \right)}$$

v= velocidade do fluxo de ar, m/s;

g= aceleração da gravidade = 9,81m/s<sup>2</sup>;

H= diferença em altura entre aberturas de entrada e de saída, m;

T<sub>i</sub>= temperatura absoluta interna, K;

T<sub>e</sub>= temperatura absoluta externa, K;

θ= fator de redução = 0,3 a 0,5. Quando se observa velocidades muito baixas e as perdas são minimizadas, os valores de θ entre 0,6 e 0,7 são válidos. A literatura recomenda utilizar o valor de 0,5 para o fator de redução.

**Fluxo Devido à Diferença de Temperatura**

Sendo o fluxo volumétrico igual ao produto da área pela velocidade, pode-se expressar o fluxo devido ao diferencial de temperatura como

$$\dot{V}_{DT} = A_A \cdot v_v$$

$$v_v^2 = \left( \frac{\dot{V}_{DT}}{A_A} \right)^2 = \theta \cdot 2 \cdot g \cdot H \left( \frac{T_i - T_e}{T_i} \right)$$

$$\dot{V}_{DT} = \theta A_A \cdot \sqrt{\frac{2 \cdot g \cdot H (T_i - T_e)}{T_i}}$$

$\dot{V}_{DT}$  = fluxo devido à diferença de temperatura, m<sup>3</sup>/s.

Em problemas de remoção de calor, conhecida a quantidade de calor a ser removida do ambiente, e tendo sido selecionada ou determinada uma diferença de temperatura entre o interior e o exterior da estrutura, o fluxo de ar requerido pode ser determinado pela equação

$$\dot{V}_{DT} = \frac{C_R}{\rho_p \cdot (T_i - T_e)}$$

$C_R$  = calor a ser removido, J/s;

$c_p$  = calor específico do ar,  $\approx 1000$  J/kg°C;

$\rho$  = densidade do ar,  $\approx 1,2$  kg/m<sup>3</sup>;

2009

### Efeito de Aberturas Desiguais

•A maior vazão de ar por unidade de área das aberturas ocorre quando as áreas das entradas e das saídas são iguais.

•Aumentando-se as áreas de saída em relação às áreas de entrada, ou vice-versa, aumentar-se-á a vazão de ar, porém, não na mesma proporção da área aumentada.

•Na prática, havendo aberturas desiguais, deve-se utilizar a menor área, e adicionar-se o aumento, conforme determinado pela Figura 13.

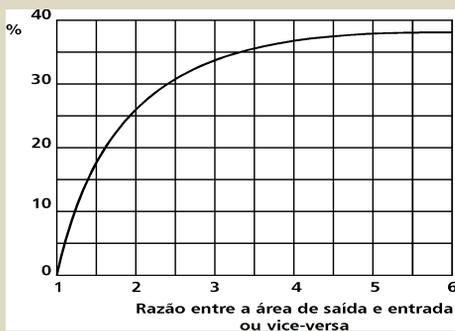


Figura 12. Porcentagem de Incremento em função da razão entre áreas de aberturas

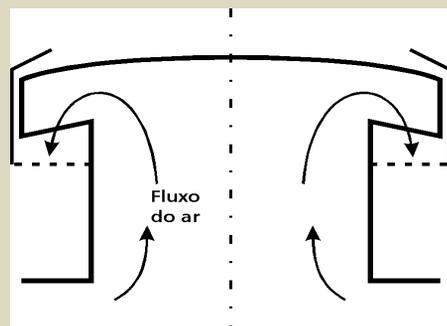


Figura 13. Tipo de abertura utilizando o princípio de diferença de temperatura

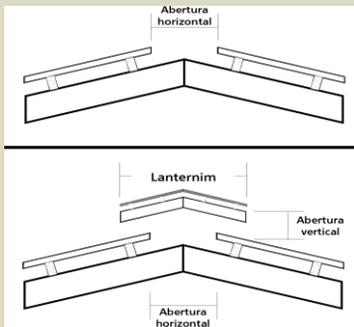


Figura 14. Tipos de aberturas, na cumeeira, utilizando o princípio de diferença de temperatura

Exemplo: Qual o fluxo de ar numa estrutura agrícola naturalmente ventilada, com área de entrada de ar de 2m<sup>2</sup> e de saída de 4m<sup>2</sup>, sabendo-se que a velocidade do vento é de 4m/s?

$$A_{\text{efetiva}} = A_{\text{entrada}} + A_{\text{saída}}$$

Logo a área efetiva é de

$$A_{\text{efetiva}} = 2 + 4 = 6 \text{ m}^2$$

$$Q = A_{\text{efetiva}} \cdot v = 6 \cdot 4 = 24 \text{ m}^3/\text{s}$$

### Efeitos Combinados do Vento e da Diferença de Temperatura

•O modelo de diferenças de pressão que agem numa estrutura depende da magnitude de todas as fontes agentes de pressão e da distribuição das aberturas de entrada e saída da estrutura.

•Deve-se notar que quando os efeitos são combinados, o fluxo efetivo resultante não é igual à soma dos fluxos calculados separadamente.

•Um método relativamente simples para determinar o fluxo efetivo consiste em:

Estimar os fluxos separadamente ( $Q_v$  e  $Q_{DT}$ )

Determinar o fluxo total pela soma dos fluxos envolvidos

$$\dot{Q} = \dot{Q}_v + \dot{Q}_{DT}$$

Calcular a razão (R) entre o fluxo devido ao diferencial de temperatura e o fluxo total

$$R = \frac{\dot{Q}_{DT}}{\dot{Q}_T}$$

Utilizando a Figura 15, determinar o fator multiplicativo (M) para estimar o fluxo efetivo ( $Q_{\text{efetivo}}$ ) em função do fluxo devido à diferença de temperatura

*RMQ efetiva*

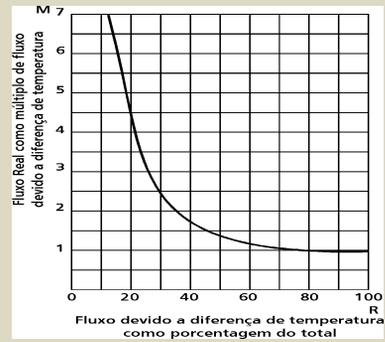


Figura 15. Fator multiplicativo ao fluxo devido à diferença de temperatura, em função da razão entre o fluxo devido à diferença de temperatura e total

**Exemplo:**

Uma estrutura com 30m de comprimento, 12m de largura e 2,4m de pé-direito é naturalmente ventilada, tendo 0,20m de abertura de beiral ao longo das paredes de 30m e área de abertura equivalente na cumeeira. Sabendo-se que a velocidade do vento é de 3,0m/s, as temperaturas externa e interna são, respectivamente, 15°C e 20°C, e a diferença entre as entradas e saídas é de 2,0m de altura, determine o fluxo de ventilação e a capacidade de remoção de calor

**Fluxo devido ao vento**

*AA 30m*  
*V 3,0*  
*QA efetiva*

**Fluxo devido à diferença de temperatura**

$H_n = 2,4$   
 $T_{\text{ext}} = 15$   
 $T_{\text{int}} = 20$   
 $A_{\text{vent}} = 0,2 \times 30 = 6$   
 $Q_{\text{TD}} = 0,33 \times 6 \times \left[ \frac{20 - 15}{2} \right] = 0,33 \times 6 \times \left[ \frac{5}{2} \right] = 0,33 \times 6 \times 2,5 = 4,95$

**Fluxo Total**

*QA 24*

**Razão (R)**

$R = \frac{Q_{\text{TD}}}{Q_{\text{V}}} = \frac{4,95}{24} = 0,206$

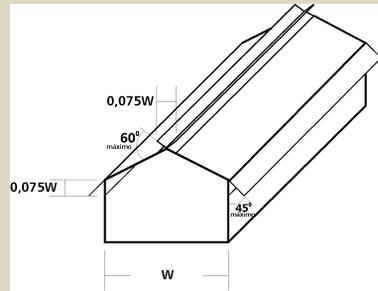
**Fator Multiplicativo (M):**

$M = 1,28$

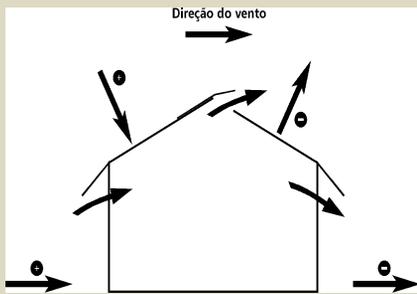
**Fluxo efetivo ( $Q_{\text{efetivo}}$ ):**

*QA efetiva 24*

**Calor Removido (Cr):**



**Figura 16. Relações de medidas das aberturas em função da largura da estrutura**



**Figura 17. Visualização das forças devido ao vento em estruturas agrícolas**