

# Desempenho Térmico de edificações

## Ventilação Natural

PROFESSOR  
**Roberto  
Lamberts**

ECV 5161  
UFSC  
FLORIANÓPOLIS

- + Importância
- + Ocorrência dos ventos
- + Implantação e orientação

**introdução**

- + Mecanismos
- + Diferenças de temperatura
- + Diferença de pressão

**mecanismos**

- + Coeficiente de pressão
- + Correção da velocidade
- + Área útil
- + Fluxo ventilação cruzada
- + Fluxo ventilação unilateral
- + Redução do fluxo de ar
- + Fluxo de calor sensível
- + Exemplos

**cálculo**

- + Importância
- + Ocorrência dos ventos
- + Implantação e orientação

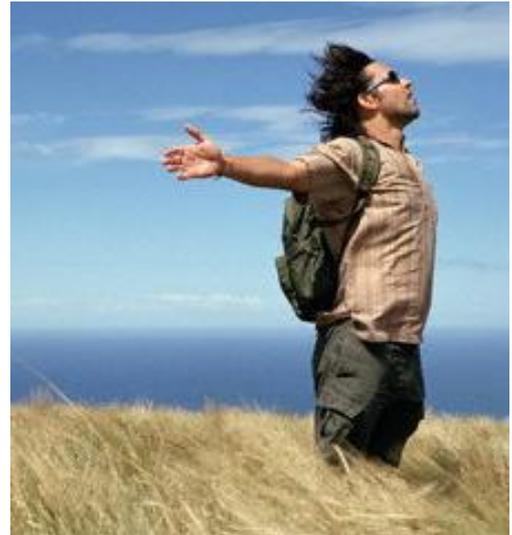
Ventilação é necessária por questões **térmicas** e **higiênicas**

Diferentes necessidades no **verão** e **inverno**

## Importância da ventilação natural



Ventilação para higiene



Ventilação para conforto

## Importância da ventilação natural

cidade	necessidade de ventilação natural (% das horas do ANO)	necessidade de ventilação natural (% das horas de VERÃO)
Belém	88,8	93,1
Brasília	17,3	36,3
Curitiba	6,84	19,9
Florianópolis	36,4	77,1
Fortaleza	85,8	92,3
São Luís	86,7	86,5
Maceió	76,4	84,9
Natal	84,2	88,7
Porto Alegre	23,3	59,0
Recife	67,8	76,2
Rio de Janeiro	60,9	78,0
Salvador	57,9	80,6
São Paulo	14,3	45,2
Vitória	60,9	87,4

 = cidades com grande necessidade de ventilação no ANO TODO

 = cidades com grande necessidade de ventilação no VERÃO

Percentual de necessidade de ventilação natural em algumas cidades brasileiras. Fonte: Lamberts et al (2014)

Após sombreamento, é a estratégia bioclimática mais importante para o Brasil.

As cidades em azul têm necessidade de ventilação natural em mais de 50% das horas do ano e as cidades em amarelo têm necessidade de ventilação somente no verão, porém em mais de 50% das horas do período

## Importância da ventilação natural

Importante lembrar que a ventilação natural é recomendada para temperaturas entre 20°C e 32°C (carta bioclimática), pois a partir daí os ganhos térmicos por convecção funcionariam mais como aquecimento do ambiente que como resfriamento. E que entre 27°C e 32°C, a ventilação só é eficiente se a umidade relativa do ar tiver valores entre 15% e 75%

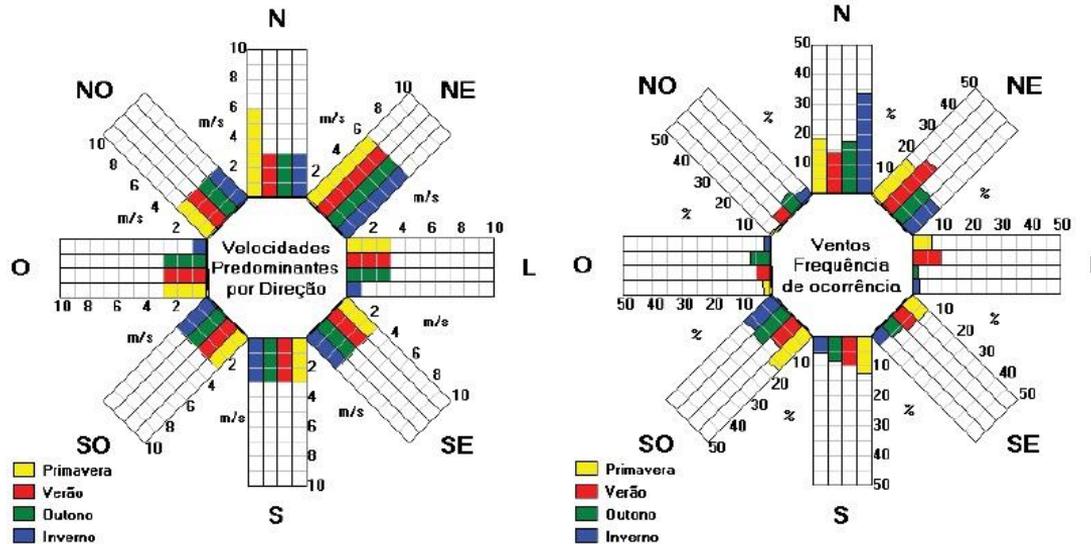
## Ocorrência do ventos

Gerado por movimentos convectivos do ar na escala **planetária** (diferencial no aquecimento da superfície terrestre dependendo da latitude e rotação do planeta). Em uma escala menor, o vento pode ser gerado por diferenças no **terreno** ou presença de corpos de água e terra.



## Ocorrência do ventos

O vento, tal como o sol, também pode ser desejável no verão e indesejável no inverno. Nesses dois períodos, o vento pode ser diferente dependendo de cada local. Fatores como topografia, vegetação e as edificações alteram a direção e intensidade do vento



Gerada a partir do programa Analysis SOL-AR

## Ocorrência do ventos

Ventos ausentes por estação (%).

Dados gerados a partir do programa Analysis SOL-AR

	PRIMAVERA	VERÃO	OUTONO	INVERNO
Madrugada	28,7	28,8	38,7	33,3
Manhã	18,9	19,3	31,2	24,6
Tarde	5,7	4,7	6,3	8,6
Noite	18,0	21,2	30,1	26,0

Fonte: Lamberts et al (2014)

## Ocorrência do ventos

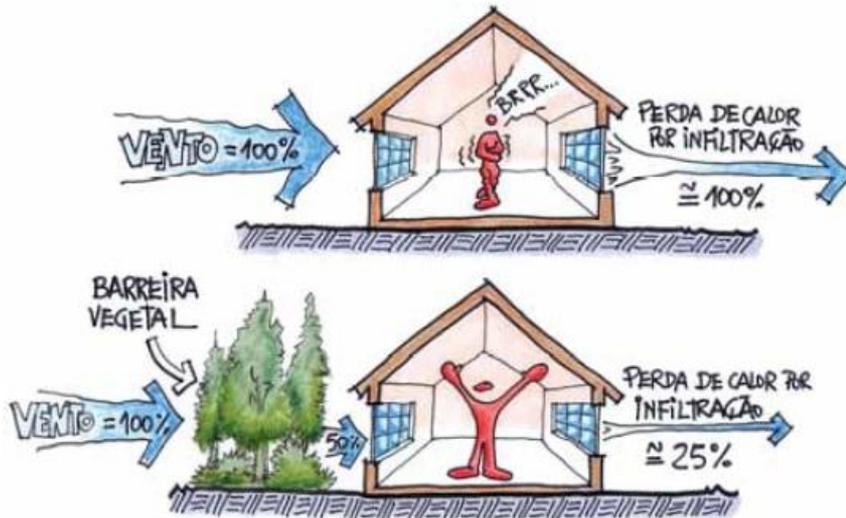
O vento local pode ser medido com instrumentos e também pode ter dados obtidos através de arquivos climáticos

É importante ressaltar que os dados de vento são normalmente coletados em estações meteorológicas em locais mais abertos, como aeroportos e áreas suburbanas, longe da rugosidade da cidade. Deve-se, portanto, corrigir os valores indicados nas rosas dos ventos.

## Influência da implantação e da orientação na ventilação natural

A ventilação natural em ambientes é indissociável da orientação e da implantação do edifício no terreno

Elementos como vegetação e superfícies edificadas influenciam no ângulo de incidência e na intensidade com a qual o vento atinge a edificação



Efeito da vegetação como barreira do vento indesejável, reduzindo perdas de calor do ambiente por infiltração

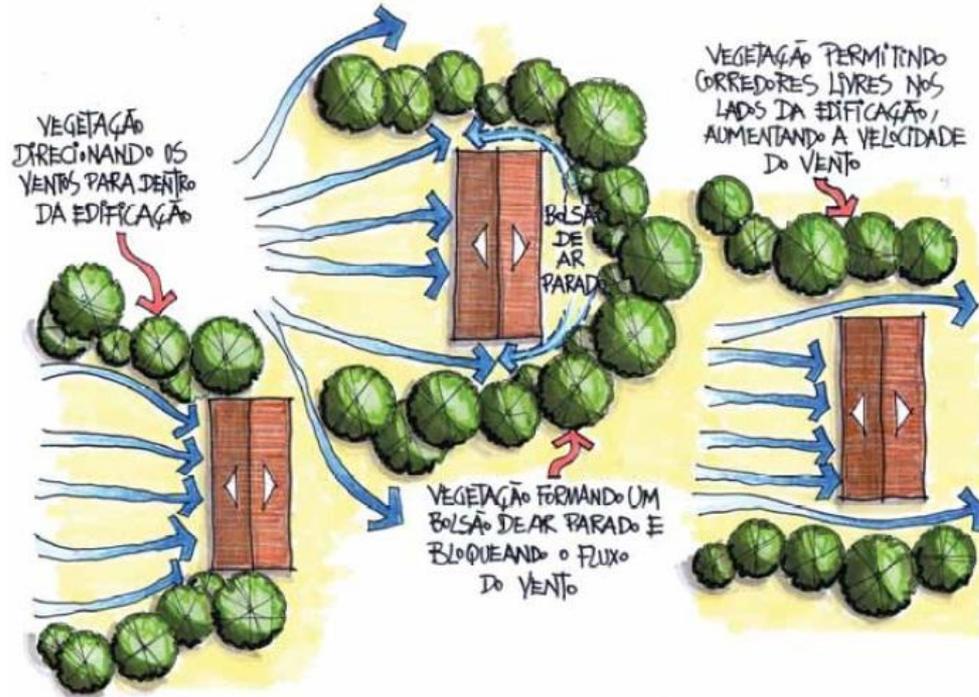
## Influência da implantação e da orientação na ventilação natural

Copas altas são melhores para sombrear o sol indesejável no verão e para facilitar o acesso do vento à edificação

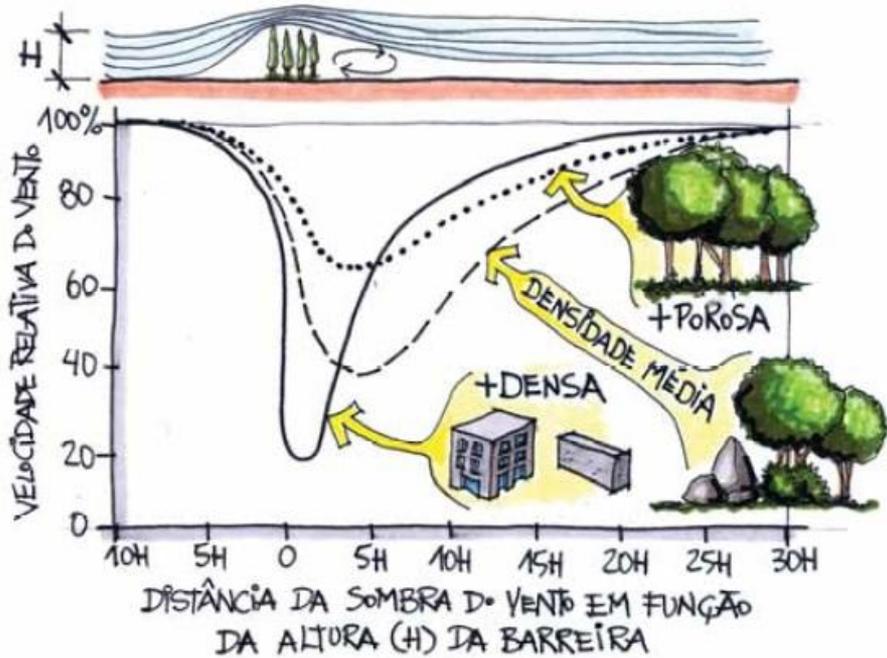


# Influência da implantação e da orientação na ventilação natural

Uso da vegetação como forma de direcionamento do vento para melhor direcionamento da ventilação natural em uma edificação



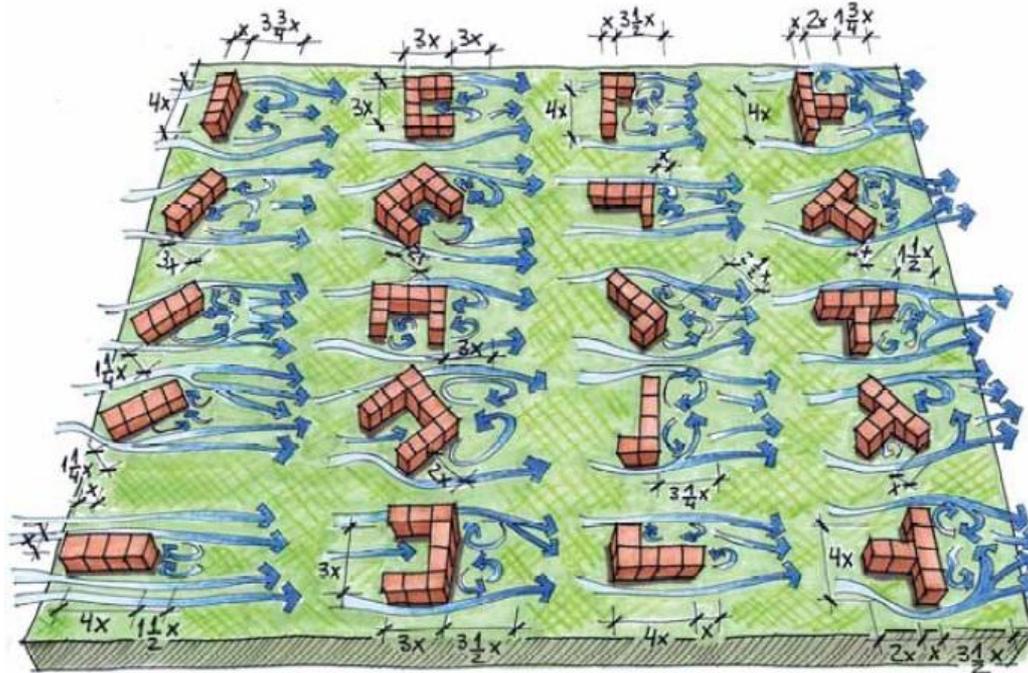
## Influência da implantação e da orientação na ventilação natural



Redução obtida na velocidade do vento incidente e também aumento da sombra de vento proporcionado por barreiras mais densas, como edifícios, e mais porosas, como vegetação

## Influência da implantação e da orientação na ventilação natural

Fluxo de vento ao redor de diversas configurações volumétricas, segundo simulações feitas em túnel de vento



- + Mecanismos
- + Diferenças de temperatura
- + Diferença de pressão

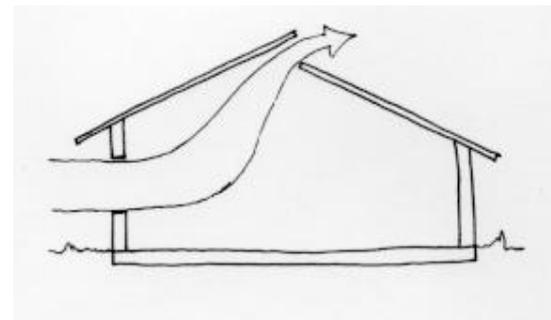
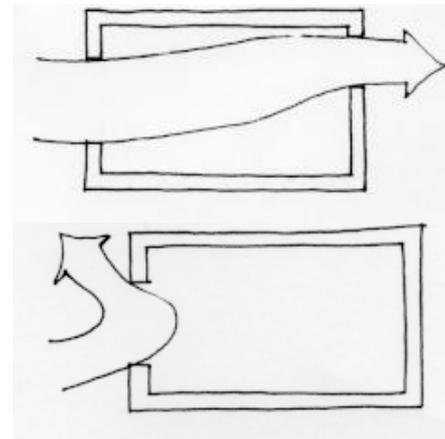
## Mecanismos de ventilação

### Ventilação natural

- Diferença de pressão causada pelo vento
- Diferença de temperatura

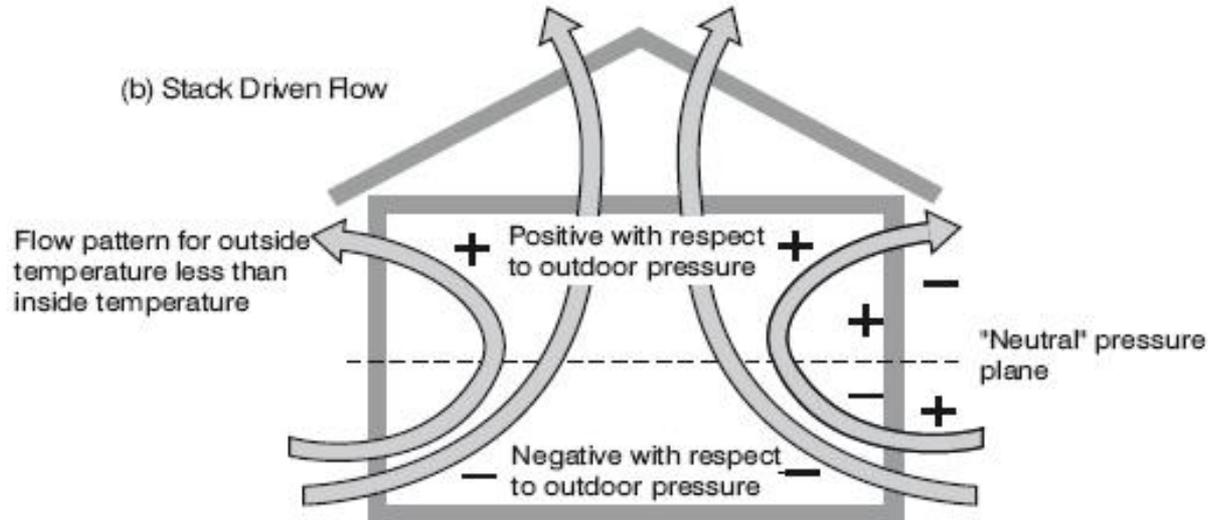
### Ventilação forçada

- Equipamentos



## Ventilação natural por diferenças de temperatura

Baseia-se na diferença entre as temperaturas interior e exterior, provocando um deslocamento da massa de ar da zona de maior para a de menor pressão. Quando, nestas condições, existem duas aberturas em diferentes alturas, se estabelece uma circulação de ar da abertura inferior para a superior, denominado efeito chaminé



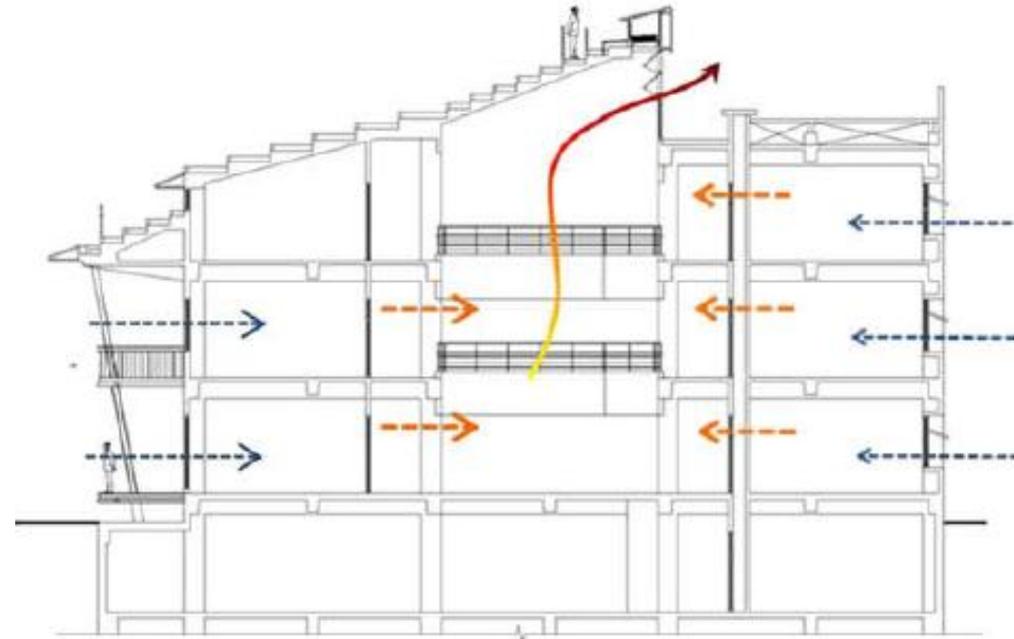
# Ventilação natural por diferenças de temperatura

Pei-Chun Liu , et al. `Evaluation of buoyancy-driven ventilation in atrium buildings using`computational fluid dynamics and reduced-scale air model`.  
 Building and Environment 44 (2009) 1970–1979

Flow intake due to temperature difference

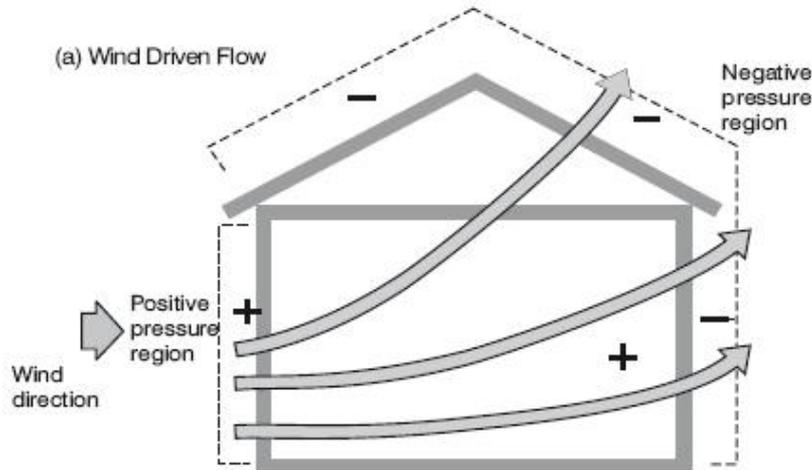
Air flows through upper dormer between office rooms and the atrium due to temperature difference

Flow exhausts from dormer due to stack effect



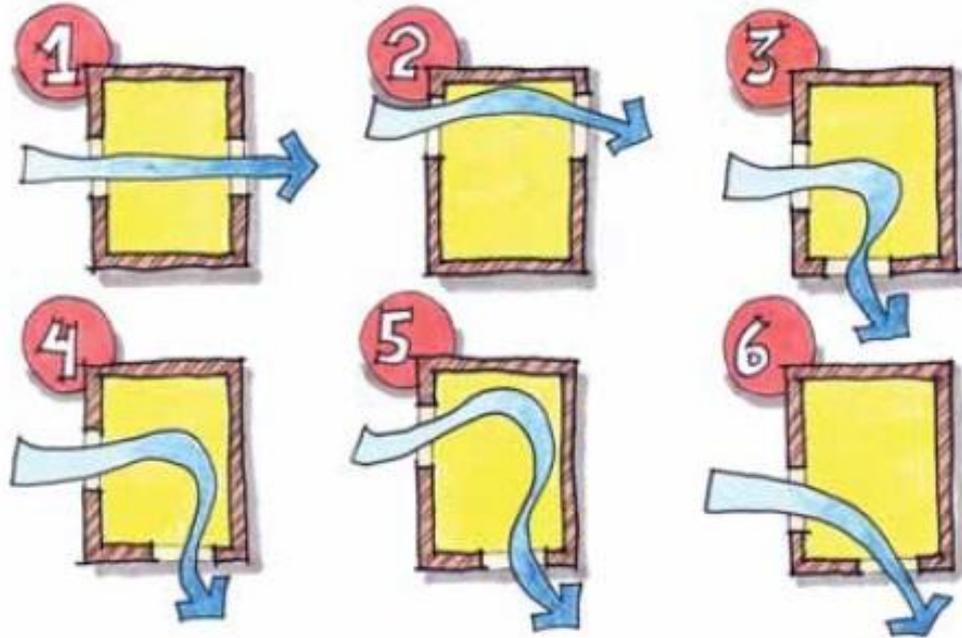
## Ventilação natural por diferença de pressão causada pelo vento

Para que a edificação seja ventilada devido à diferença de pressão provocada pelo vento não basta que a mesma seja simplesmente exposta ao vento. É necessário que os ambientes sejam atravessados transversalmente pelo fluxo de ar

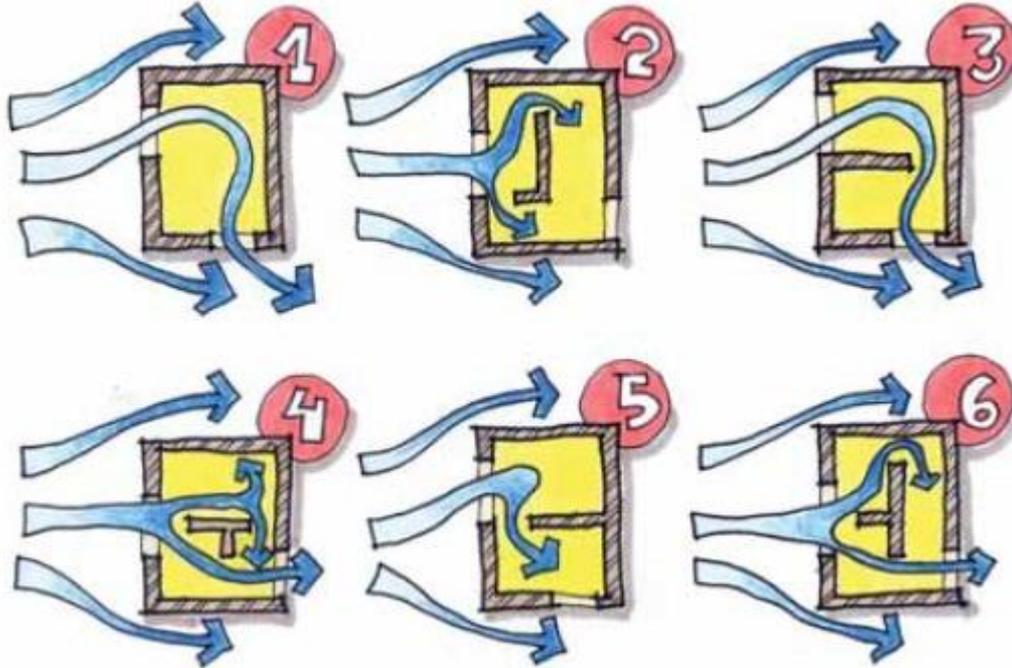


A ventilação ocorre, essencialmente, devido à existência de zonas com diferentes pressões, zona de alta pressão na face de incidência e zona de baixa pressão na face oposta

## Ventilação natural por diferença de pressão causada pelo vento



## Ventilação natural por diferença de pressão causada pelo vento



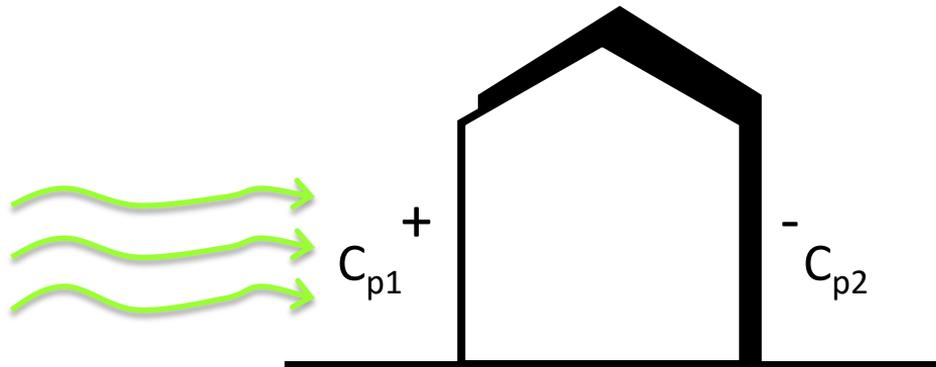
- + Coeficiente de pressão
- + Correção da velocidade
- + Área útil
- + Fluxo ventilação cruzada
- + Fluxo ventilação unilateral
- + Redução do fluxo de ar
- + Fluxo de calor sensível
- + Exemplos

## Cálculo da ventilação natural

Uma forma de avaliar as condições de ventilação de uma ambiente é a determinação do número de trocas de ar que ocorrem a cada hora. O algoritmo apresentado permite este cálculo de forma simplificada

## Coeficientes de pressão do vento

Diferença entre os coeficientes de pressão do vento ( $\Delta C_p$ ) para **casas em campo aberto** em função do ângulo de incidência:

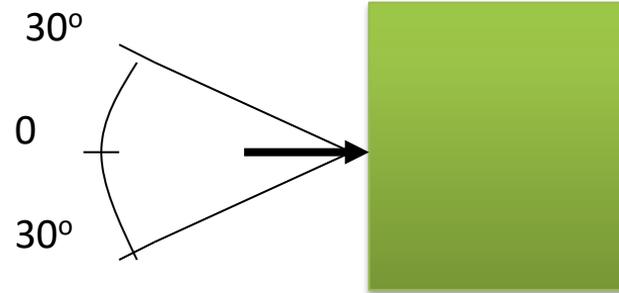


$$0 \leq \theta \leq 30^\circ$$

$$30^\circ < \theta \leq 90^\circ$$

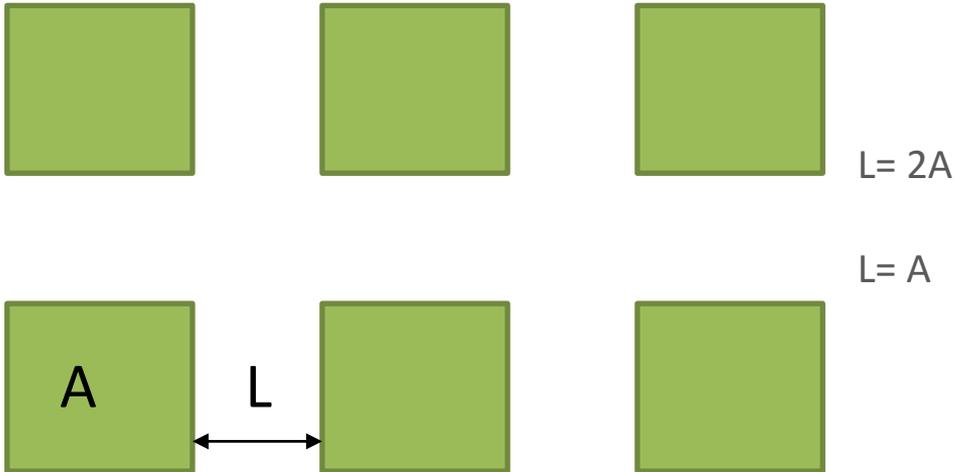
$$\Delta C_p = 1.2$$

$$\Delta C_p = 0.1 + 0.0183 (90 - \theta)$$



## Coeficientes de pressão do vento

Para **loteamentos**, o coeficiente do vento deve ser corrigido em função do **afastamento entre casas**:



$\Delta C_{pL} = 60\%$  do  $\Delta C_p$  sem obstruções

$\Delta C_{pL} = 30\%$  do  $\Delta C_p$  sem obstruções

## Correção da velocidade

A velocidade do vento, normalmente fornecida por estações meteorológicas a 10 metros de altura, deve ser corrigida para a altura de interesse

$$V_z = V_{10} \times K \times Z^a$$

Entorno	K	A
Campo aberto	0,68	0,17
Campo aberto c/ algumas barreiras	0,52	0,20
Urbano	0,40	0,25
Centro	0,31	0,33

Onde:

$V_z$  é a velocidade do vento na altura Z de interesse (m/s);

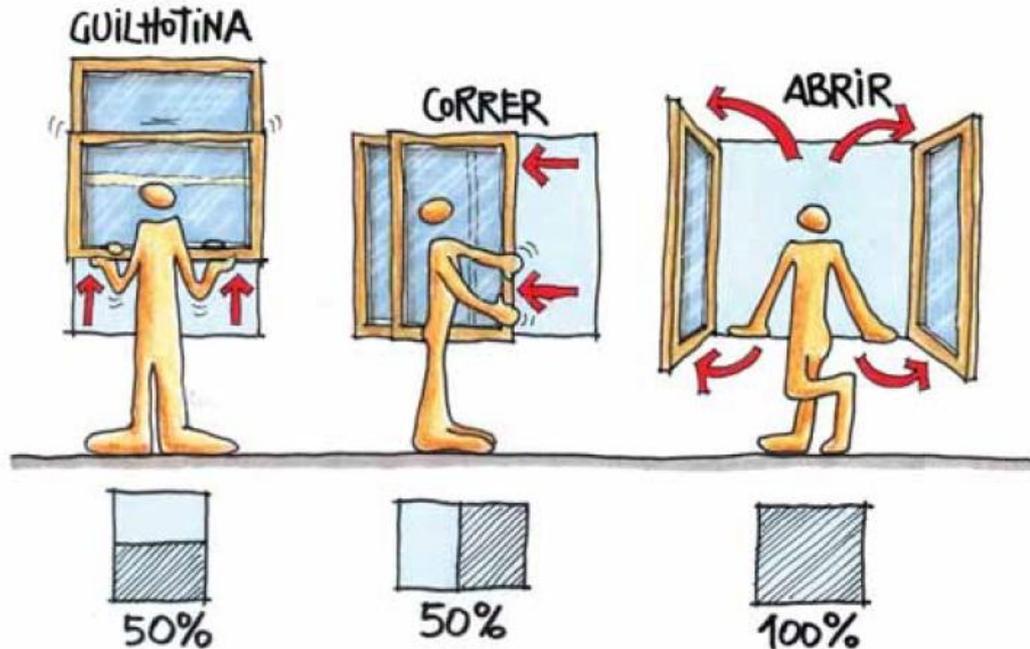
$V_{10}$  é a velocidade do vento a 10 metros de altura (m/s);

Z é a altura da cumeeira para edificações de até dois andares ou a altura da janela para edificações mais altas (m);

K e a são função da localização da edificação e podem ser obtidos por tabelas

## Área útil de ventilação

Representa a área efetiva de ventilação quando a janela está totalmente aberta.



As janelas podem ter as suas áreas úteis indicadas considerando a abertura total, como é o caso das de guilhotina e de correr.

## Área útil de ventilação

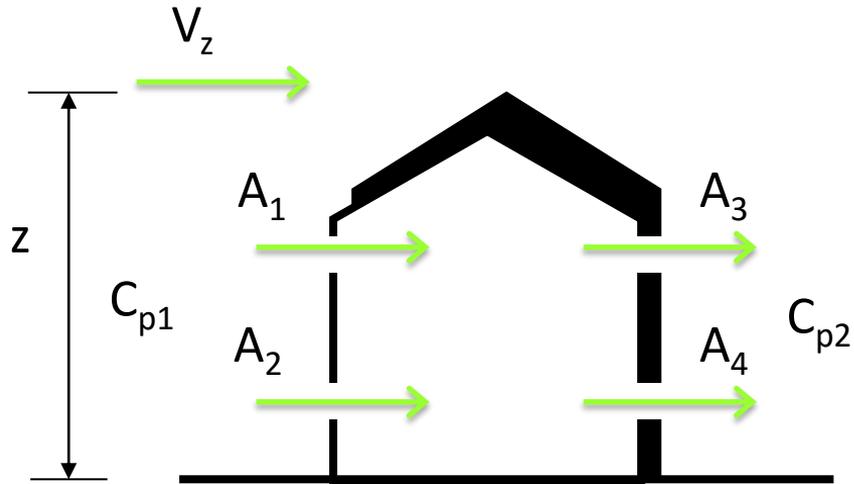
Já das janelas tipo basculante e maxim-ar têm as suas áreas úteis indicadas em função de ângulos comuns de abertura.



## Fluxo de ar para ventilação cruzada (só vento)

$$Q_w = 0,6 \times A_w \times V_z \times \sqrt{\Delta C_p} \quad (\text{m}^3/\text{s})$$

$$\frac{1}{A_w^2} = \frac{1}{(\sum A_{\text{entrada}})^2} + \frac{1}{(\sum A_{\text{saída}})^2} \quad (\text{m}^2)$$



## Fluxo de ar para ventilação cruzada (diferença de temperatura)

$$Q_b = 0,6 \times A_b \times \sqrt{2 \times \Delta t \times g \times H / (273 + \bar{t})} \text{ (m}^3/\text{s)}$$

$$\bar{t} = \frac{(t_i + t_e)}{2}$$

$$\frac{1}{A_b^2} = \frac{1}{(\sum A_{\text{entrada}})^2} + \frac{1}{(\sum A_{\text{saída}})^2} \text{ (m}^2\text{)}$$

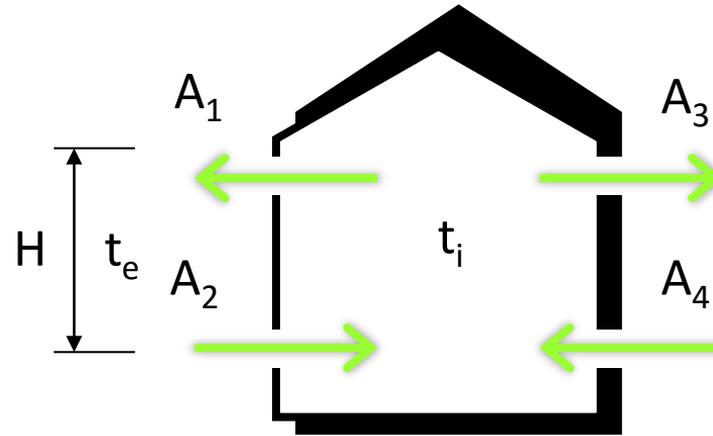
Onde:

H é a altura entre a entrada e saída de ar (m)

g é a força da gravidade (m/s<sup>2</sup>)

$\Delta t$  é a diferença da temperatura interna pela externa ( $t_i - t_e$ ) em [°C ou K]

$A_b$  é a área equivalente de aberturas (m<sup>2</sup>)



## Fluxo de ar para ventilação cruzada (vento + diferença de temperatura)

Quando houver vento e diferença de temperatura, o fluxo de ar ( $Q_T$ ) é igual a  $Q_b$  quando

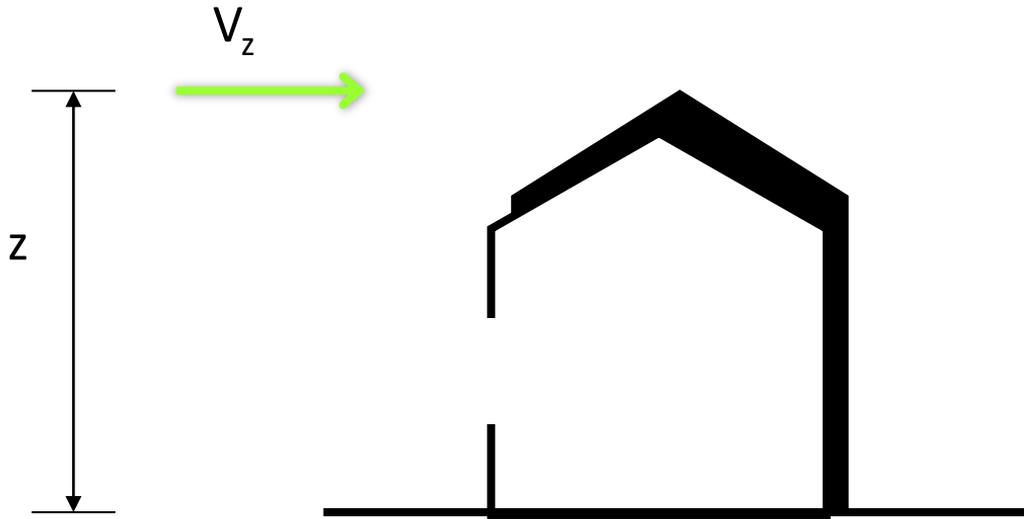
$$\frac{V_z}{\sqrt{\Delta t}} < 0,26 \times \sqrt{\frac{A_b}{A_w}} \times \sqrt{\frac{H}{\Delta C_p}}$$

E o fluxo de ar ( $Q_T$ ) é igual a  $Q_w$  quando:

$$\frac{V_z}{\sqrt{\Delta t}} > 0,26 \times \sqrt{\frac{A_b}{A_w}} \times \sqrt{\frac{H}{\Delta C_p}}$$

## Fluxo de ar ventilação unilateral (só vento)

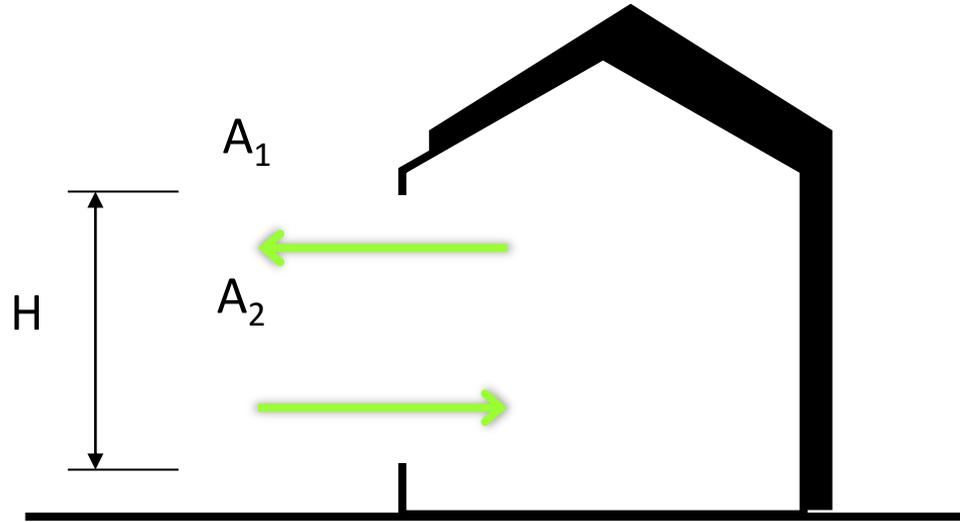
$$Q = 0,025 \times A \times V_z \text{ (m}^3\text{/s)}$$



## Fluxo de ar ventilação unilateral (diferença de temperatura)

Para uma abertura em um lado

$$Q = 0,6 \times \frac{A}{3} \times \sqrt{\frac{\Delta t \times g \times H}{\bar{t} + 273}}$$



## Fluxo de ar ventilação unilateral (diferença de temperatura)

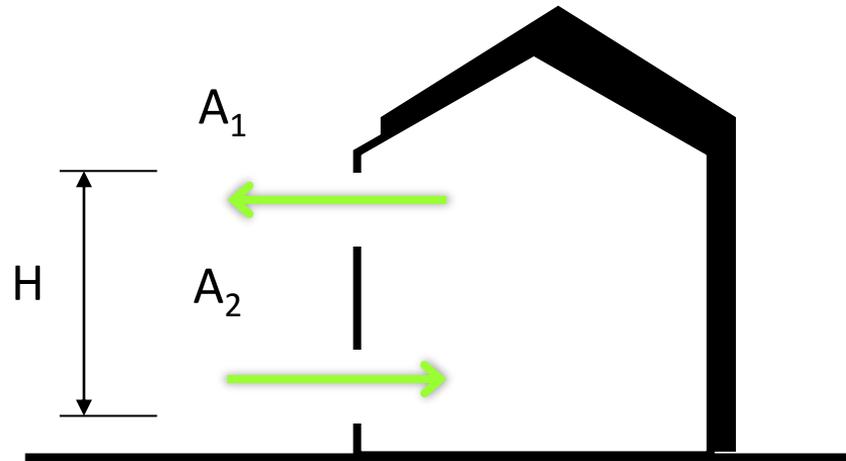
Para duas aberturas distintas do mesmo lado

$$Q = 0,6 \times A \times \left[ \sqrt{2} \times \frac{E}{(1 + E) \times \sqrt{1 + E^2}} \right] \times \sqrt{\Delta t \times g \times \frac{H}{\bar{t} + 273}}$$

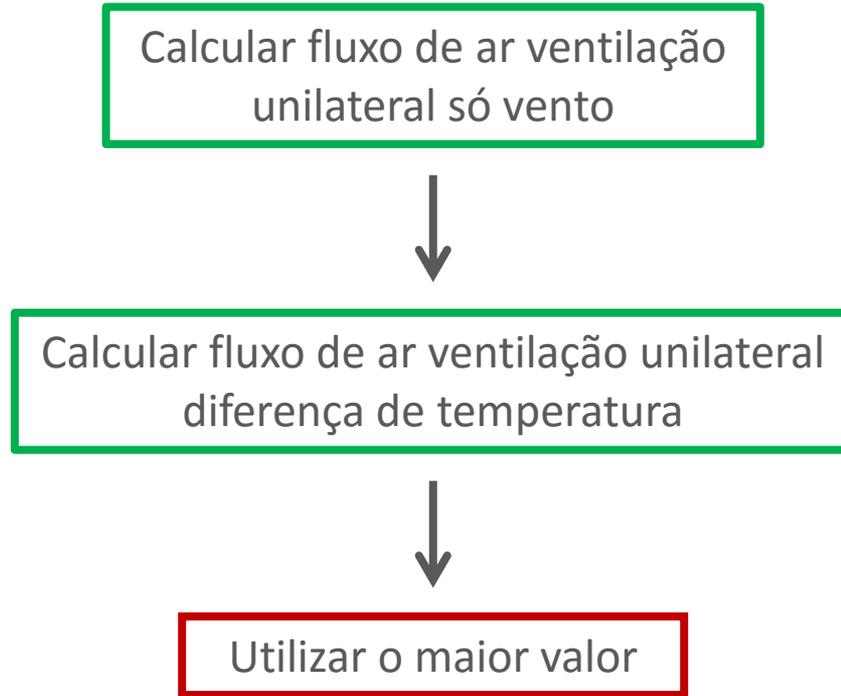
Onde:

A é a soma total das áreas de aberturas de ventilação  $(A_1 + A_2)(m^2)$

E  $A_1/A_2$



## Fluxo de ar ventilação unilateral (vento + diferença de temperatura)



## Redução do fluxo de ar

O fluxo de ar pode sofrer reduções significativas em função do tipo de barreira que se interpõe a este fluxo, como por exemplo, telas existência de mosquitos

Tipo de tela	Ventilação cruzada	Ventilação unilateral
Algodão	$Q_m = 0,30.Q_w$	$Q_m = 0,30.Q$
Nylon	$Q_m = 0,65.Q_w$	$Q_m = 0,65.Q$

## Número de trocas de ar

Para garantir a qualidade do ar em um ambiente, recomenda-se um número mínimo de trocas

espaço disponível por pessoa (m <sup>3</sup> )	ar fresco requerido por pessoa (m <sup>3</sup> /h)		
	mínimo	valores recomendáveis	
		sem fumar	fumando
3	40,7	61,2	81,4
6	25,6	38,5	51,1
9	18,7	28,1	37,4
12	14,4	21,6	28,8

Ventilação mínima necessária em ambientes. Fonte: Lamberts et al (2014)

## Número de trocas de ar

O número de trocas de ar por hora em um ambiente pode ser calculado por:

$$N = \frac{Q \times 3600}{V} \text{ (ren/h)}$$

onde:

V é o volume do ambiente (m<sup>3</sup>)

Q é o fluxo de ar (m<sup>3</sup>/s)

## Fluxo de calor sensível

O fluxo de calor sensível removido ou adicionado ao ambiente pode ser calculado por:

$$\phi = 0,335 \times Q \times \Delta T \text{ (W)}$$

$$\phi = 0,335 \times N \times V \times \Delta T \text{ (W)}$$

onde:

Q é o fluxo de ar (m<sup>3</sup>/h)

$\Delta T$  é diferença de temperatura interna e externa (°C)

N é o número de renovações por hora (ren/h)

V é o volume do ambiente (m<sup>3</sup>)

## Fluxo de calor sensível

Ou ainda pode-se calcular o fluxo de calor sensível removido ou adicionado ao ambiente:

$$\phi = 1200 \times Q \times \Delta T \text{ (W)}$$

$$\phi = 1200 \times N \times V \times \Delta T \text{ (W)}$$

onde:

Q é o fluxo de ar ( $\text{m}^3/\text{s}$ )

$\Delta T$  é diferença de temperatura externa e interna ( $^{\circ}\text{C}$ )

N é o número de renovações por segundo (ren/s)

V é o volume do ambiente ( $\text{m}^3$ )

## Exemplos

Calcule as trocas de Ar para um dormitório ( $A=15,2$  m, pé direito de  $2,6$  m), um uma janela ( $2,0$  m x  $1,0$  m,  $1,10$  m de peitoril) aberta e a porta fechada (janelas de correr 50% ventilação). O vento incide a  $20^\circ$  com relação a fachada com velocidade a  $10$  m de altura de  $1,8$  m/s. A altura até a cumeeira é de  $4,0$  m. Esta edificação está localizada no centro da cidade. Considerando a temperatura externa de  $20^\circ\text{C}$  e a interna de  $25^\circ\text{C}$ , calcule o fluxo de calor removido pela renovação de ar.

### Dados:

Calcular o fluxo de ar para ventilação unilateral, só vento

### Centro da cidade

$$K = 0,31$$

$$a = 0,33$$

$$Q = 0,025 \times A \times V_z$$

$$V_z = V_{10} \times K \times Z^a$$

$$V_z = 1,8 \times 0,31 \times 4^{0,33} = \mathbf{0,88 \text{ m/s}}$$

## Exemplos

$$Q = 0,025 \times A \times V_z$$

$$A = \frac{2 \times 1}{2} = 1 \text{ m}^2$$

$$Q = 0,025 \times 1 \times 0,88$$

$$Q = 0,022 \text{ (m}^3\text{/s)}$$

$$V = 15,20 \times 2,6 = 39,52 \text{ m}^3$$

$$N = \frac{Q \times 3600}{V} \text{ (ren/h)}$$

$$N = \frac{0,022 \times 3600}{39,52}$$

$$N = 2 \text{ ren/h}$$

$$\phi = 0,335 \times N \times V \times \Delta T$$

$$\phi = 0,335 \times 2 \times 39,52 \times -5$$

$$\phi = -132,4 \text{ (W)}$$

## Exemplos

Considere um ambiente com dimensões de 6,0 x 7,0 m e pé-direito de 3,0 m, com duas janelas de correr (50% de aproveitamento para ventilação) com dimensões 1,2 x 2,0 m, na mesma altura, sendo uma na fachada norte e a outra na fachada sul. O vento incide normalmente à fachada norte, com velocidade de 2,5 m/s a 10 m de altura. A altura até a cumeeira é de 4,0 m. A habitação está localizada em ambiente urbano, distância entre casas de uma casa. Calcule o número de trocas de ar por hora considerando primeiro cenário com as duas janelas abertas e um segundo cenário com a janela da fachada sul fechada. Considerando a carga térmica sensível do ambiente de 600 W e a temperatura externa de 25°C, calcule a temperatura interna do ambiente devido ao fluxo de ar para essas duas condições consideradas.

## Exemplos

Calculando para situação de ventilação unilateral,  
só vento

Dados:

Ambiente urbano

$K = 0,4$

$a = 0,25$

$$Q = 0,025 \times A \times V_z$$

$$A = \frac{2 \times 1,2}{2} = 1,2 \text{ m}^2$$

$$V_z = V_{10} \times K \times Z^a$$

$$V_z = 2,5 \times 0,4 \times 4^{0,25} = 1,41 \text{ m/s}$$

$$Q = 0,025 \times 1,2 \times 1,41$$

$$Q = 0,042 \text{ (m}^3\text{/s)}$$

$$N = \frac{Q \times 3600}{V}$$

$$V = 6 \times 7 \times 3 = 126 \text{ m}^3$$

## Exemplos

$$N = \frac{0,042 \times 3600}{126}$$

$$N = 1,2 \text{ ren/h}$$

Calculando redução de temperatura

$$\phi = 0,335 \times N \times V \times \Delta T$$

$$-600 = 0,335 \times 1,2 \times 126 \times \Delta T$$

$$\Delta T = -11,85 = T_e - T_i$$

$$-11,85 = 25 - T_i$$

$$T_i = 36,85^\circ\text{C}$$

## Exemplos

Calculando para situação de ventilação cruzada,  
só vento

Dados:

Ambiente urbano

$V_z = 1,41$  m/s

Distância uma casa

$\Delta C_p = 1,2$

$\Delta C_{pL} = 0,3 \times 1,2 = 0,36$

$$Q_w = 0,6 \times A_w \times V_z \times \sqrt{\Delta C_{pL}} \quad (\text{m}^3/\text{s})$$

$$\frac{1}{A_w^2} = \frac{1}{(\sum A_{\text{entrada}})^2} + \frac{1}{(\sum A_{\text{saída}})^2} \quad (\text{m}^2)$$

$$\frac{1}{A_w^2} = \frac{1}{(1,2)^2} + \frac{1}{(1,2)^2} = 1,4$$

$$A_w^2 = \frac{1}{1,4}$$

$$A_w = 0,85 \text{ m}^2$$

$$Q_w = 0,6 \times 0,85 \times 1,41 \times \sqrt{0,36}$$

$$Q_w = 0,43 \text{ (m}^3/\text{s)}$$

## Exemplos

$$N = \frac{Q \times 3600}{V}$$

$$V = 126 \text{ m}^3$$

$$N = \frac{0,43 \times 3600}{126}$$

$$N = 12,3 \text{ ren/h}$$

### Calculando redução de temperatura

$$\phi = 0,335 \times N \times V \times \Delta T$$

$$-600 = 0,335 \times 12,3 \times 126 \times \Delta T$$

$$\Delta T = -1,16 = T_e - T_i$$

$$-1,16 = 25 - T_i$$

$$T_i = 26,16^\circ\text{C}$$

## Exemplos

Para o mesmo estudo anterior, calcule novamente o número de trocas de ar por hora para o primeiro cenário com as duas janelas abertas e para o segundo cenário com a janela da fachada sul fechada, considerando agora que as janelas possuem tela de algodão. Considerando a carga térmica sensível do ambiente de 600 W e a temperatura externa de 25°C, calcule novamente a temperatura interna do ambiente devido ao fluxo de ar para essas duas condições consideradas.

## Exemplos

Calculando para situação de ventilação unilateral, só vento

$$Q = 0,042 \text{ (m}^3\text{/s)}$$

$$Q_m = 0,30 \times 0,042$$

$$Q_m = 0,013 \text{ (m}^3\text{/s)}$$

$$N = \frac{Q \times 3600}{V}$$

$$N = \frac{0,013 \times 3600}{126}$$

$$N = 0,37 \text{ ren/h}$$

Calculando redução de temperatura

$$\phi = 0,335 \times N \times V \times \Delta T$$

$$-600 = 0,335 \times 0,37 \times 126 \times \Delta T$$

$$\Delta T = -38,4 = T_e - T_i$$

$$-38,4 = 25 - T_i$$

$$T_i = 63,4 \text{ } ^\circ\text{C}$$

## Exemplos

Calculando para situação de ventilação cruzada, só vento

$$Q_w = 0,43 \text{ (m}^3\text{/s)}$$

$$Q_m = 0,30 \times 0,43$$

$$Q_m = 0,13 \text{ (m}^3\text{/s)}$$

$$N = \frac{Q \times 3600}{V}$$

$$N = \frac{0,13 \times 3600}{126}$$

$$N = 3,7 \text{ ren/h}$$

Calculando redução de temperatura

$$\phi = 0,335 \times N \times V \times \Delta T$$

$$-600 = 0,335 \times 3,7 \times 126 \times \Delta T$$

$$\Delta T = -3,84 = T_e - T_i$$

$$-38,4 = 25 - T_i$$

$$T_i = 28,84^\circ\text{C}$$

## Exemplos

Considere um ambiente com dimensões de 6,0 x 7,0 m e pé-direito de 3,0 m, com duas janelas superiores, de correr (50% de aproveitamento para ventilação) com dimensões 1,2 x 2,0 m, na mesma altura, sendo uma na fachada norte e a outra na fachada sul. O ambiente conta também com duas aberturas inferiores, de 0,5 m<sup>2</sup> cada, na mesma altura, uma na fachada norte e outra na fachada sul. A distância vertical entre essas aberturas e as duas primeiras é de 1,5 m. O vento incide normalmente à fachada norte, com velocidade de 2,5 m/s a 10 m de altura. A altura até a cumeeira é de 4,0 m. A habitação está localizada em ambiente urbano, distância entre casas de uma casa. Calcule o número de trocas de ar por hora considerando as duas janelas e as duas aberturas inferiores abertas. Considerando a temperatura externa de 25°C e a interna de 26,16°C, calcule o fluxo de calor removido pela renovação de ar.

## Exemplos

Ventilação cruzada, vento e diferença de temperatura

$$Q_w = 0,6 \times A_w \times V_z \times \sqrt{\Delta C_{PL}} \text{ (m}^3/\text{s)}$$

$$V_z = V_{10} \times K \times Z^a$$

$$V_z = 2,5 \times 0,4 \times 4^{0,25} = \mathbf{1,41 \text{ m/s}}$$

$$\frac{1}{A_w^2} = \frac{1}{(\sum A_{\text{entrada}})^2} + \frac{1}{(\sum A_{\text{saída}})^2} \text{ (m}^2\text{)}$$

$$\sum A_{\text{entrada}} = \sum A_{\text{saída}} = (0,5 \times 1,2 \times 2) + 0,5$$

$$\sum A_{\text{entrada}} = \sum A_{\text{saída}} = 1,7 \text{ m}^2$$

Calculando para situação de ventilação cruzada, só vento

Dados:

Ambiente urbano

$K = 0,4$

$a = 0,25$

Distância uma casa

$\Delta C_p = 1,2$

$\Delta C_{PL} = 0,3 \times 1,2 = 0,36$

## Exemplos

$$\frac{1}{A_w^2} = \frac{1}{(1,7)^2} + \frac{1}{(1,7)^2} = 0,7$$

$$A_w^2 = \frac{1}{0,7}$$

$$A_w = 1,2 \text{ m}^2$$

$$Q_w = 0,6 \times 1,2 \times 1,41 \times \sqrt{0,36}$$

$$Q_w = 0,6 \text{ (m}^3/\text{s)}$$

## Exemplos

Calculando para situação de ventilação cruzada,  
diferença de temperatura

$$Q_b = 0,6 \times A_b \times \sqrt{2 \times \Delta t \times g \times H / (273 + \bar{t})} \quad (\text{m}^3/\text{s})$$

$$\frac{1}{A_b^2} = \frac{1}{(\sum A_{\text{entrada}})^2} + \frac{1}{(\sum A_{\text{saída}})^2} \quad (\text{m}^2)$$

$$\sum A_{\text{entrada}} = 0,5 + 0,5 = 1 \text{ m}^2$$

$$\sum A_{\text{saída}} = 2 \times (0,5 \times 1,2 \times 2) = 2,4 \text{ m}^2$$

$$\frac{1}{A_b^2} = \frac{1}{(1)^2} + \frac{1}{(2,4)^2} = 1,17$$

$$A_b^2 = \frac{1}{1,17}$$

$$A_b = 0,92 \text{ m}^2$$

$$\bar{t} = \frac{(t_i + t_e)}{2}$$

$$\bar{t} = \frac{(26,16 + 25)}{2} = 25,58 \text{ }^\circ\text{C}$$

## Exemplos

$$Q_b = 0,6 \times A_b \times \sqrt{2 \times \Delta t \times g \times H / (273 + \bar{t})}$$

$$Q_b = 0,6 \times 0,92 \times \sqrt{2 \times 1,16 \times 9,81 \times 1,5 / (273 + 25,58)}$$

$$Q_b = 0,19 \text{ (m}^3\text{/s)}$$

Cálculo de  $Q_T$ :

$$\frac{V_z}{\sqrt{\Delta t}} = \frac{V_z}{\sqrt{1,16}} = 1,31$$

$$0,26 \times \sqrt{\frac{A_b}{A_w}} \times \sqrt{\frac{H}{\Delta C_p}} =$$

$$0,26 \times \sqrt{\frac{0,92}{1,2}} \times \sqrt{\frac{1,5}{0,36}} = 0,46$$

Como  $1,31 > 0,46$  então  $Q_T = Q_w$

$$Q_T = 0,6 \text{ (m}^3\text{/s)}$$

## Exemplos

$$N = \frac{Q \times 3600}{V}$$

$$V = 126 \text{ m}^3$$

$$N = \frac{0,6 \times 3600}{126}$$

$$N = 17,1 \text{ ren/h}$$

$$\phi = 0,335 \times N \times V \times \Delta T$$

$$\phi = 0,335 \times 17,1 \times 126 \times -1,16$$

$$\phi = -837,3 \text{ (W)}$$