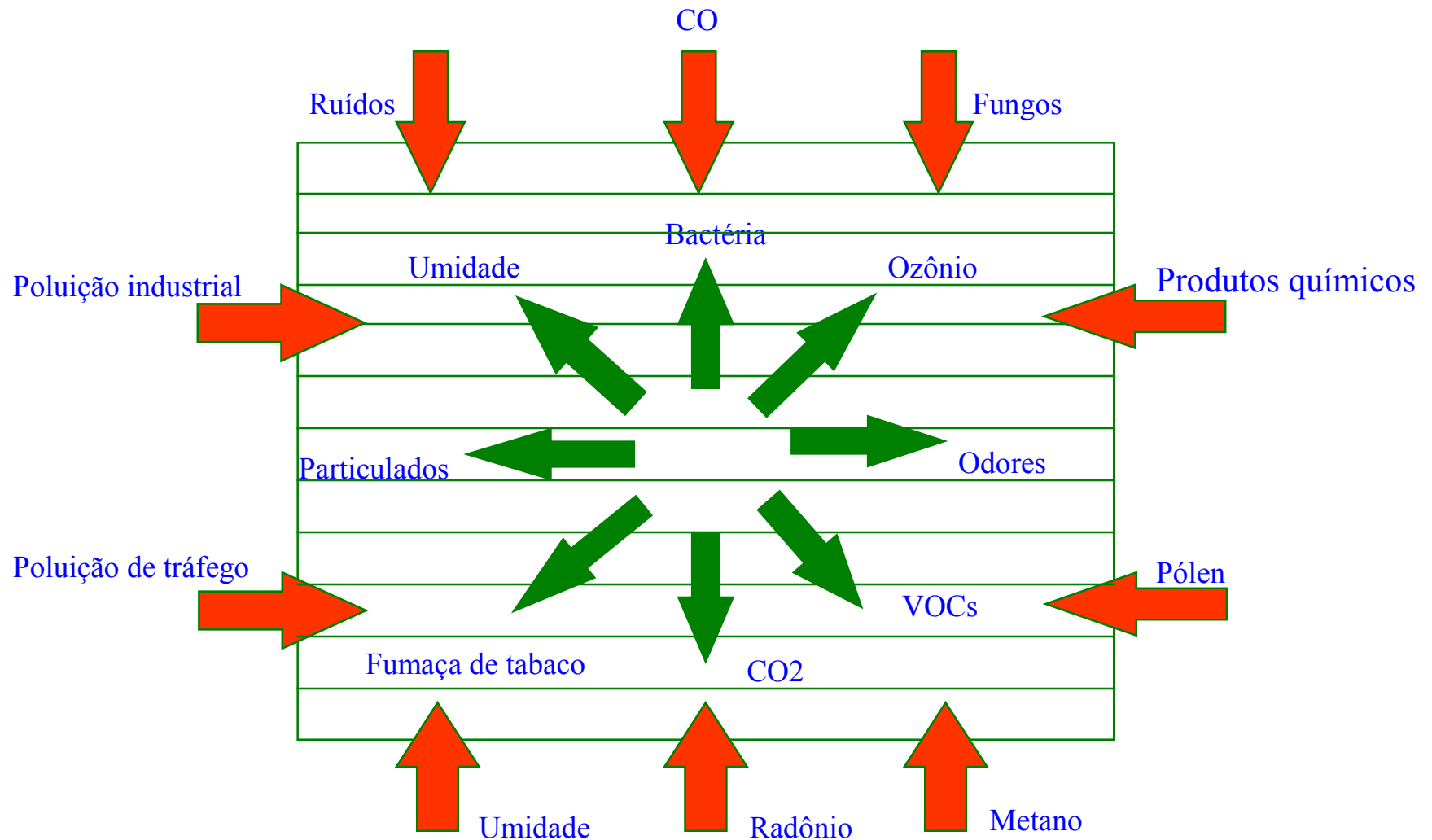


Ventilação Natural

Poluição e necessidade de ventilação dos edifícios

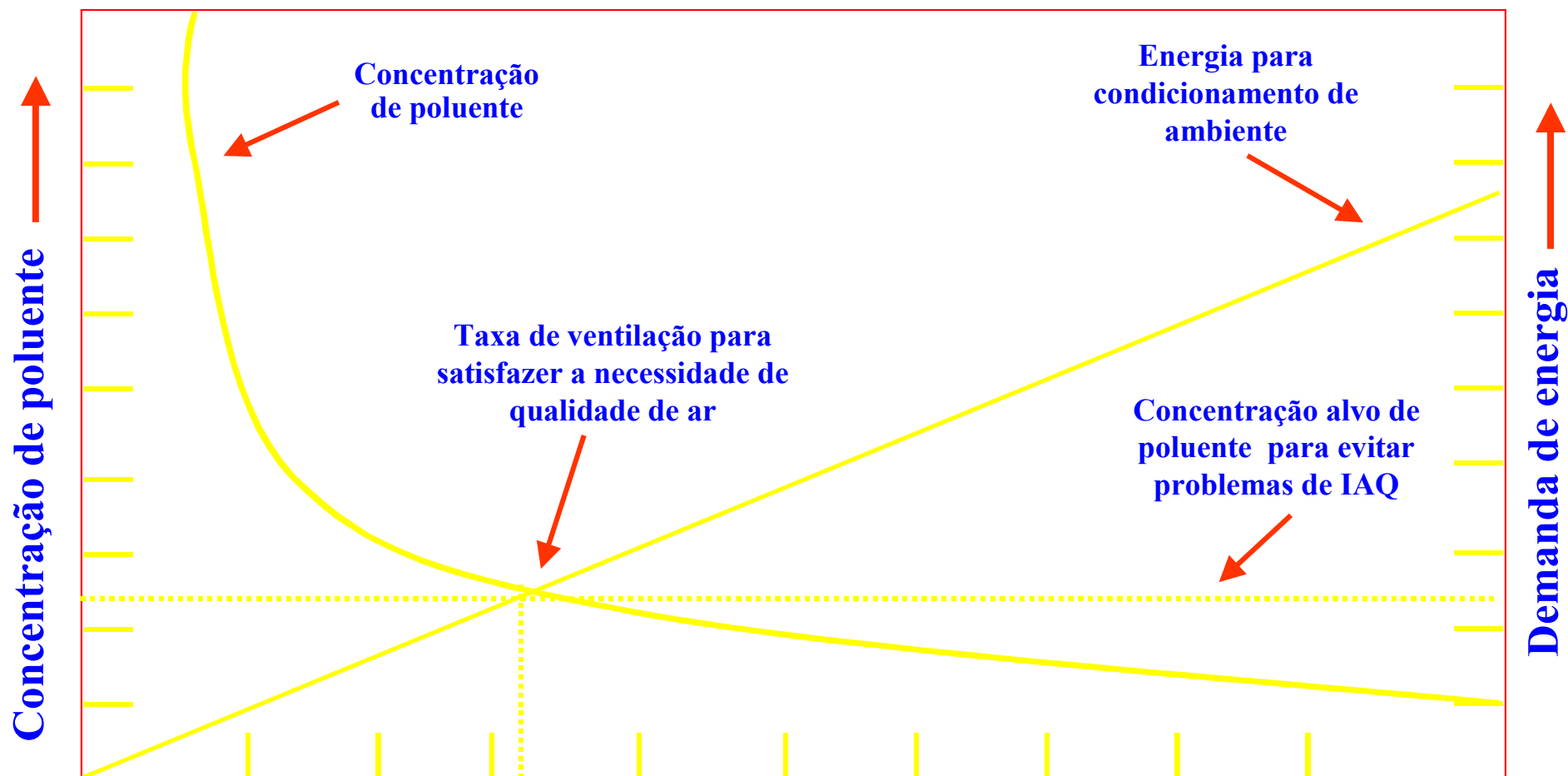


Principais Poluentes do Ar Interior

Poluente Fonte	Produtos de construção	Aparelhos de combustão	Sistemas de ventilação e climatização	Armazena- mento e distribuição de água	Armazena- mento e evacuação de resíduos	Equipamen- tos elétricos	Ar e solo exterior	Humanos, animais e tabagismo
Alergênicos								
Microorganismos								
Mofos								
Ácaros								
NOx								
CO								
CO2								
VOCs								
Hidrocarbonetos								
Fibras								
Partículas								
Mat. Radioativos								
O3								

Ventilação Natural

Renovação de ar e consumo de energia em edifícios



a) Efeito do vento sobre a edificação

A distribuição da pressão do vento sobre a superfície de uma construção depende da:

- ✓ forma do edifício;
- ✓ velocidade do vento e a direção em relação à edificação;
- ✓ localização do edifício e seu entorno.

$$\bar{C}_p = \frac{(\bar{p} - p_o)}{1/2 \rho \cdot V_r^2}$$

C_pcoeficiente de pressão;

ppressão instantânea média;

p_opressão estática para o vento livre;

ρdensidade do ar;

V_rvelocidade do vento (referência);

C_pdeterminada em túnel de vento.

b) Variáveis meteorológicas

O vento natural é turbulento e sua velocidade média varia com a altura a partir do solo.

$$\frac{V}{V_m} = K \cdot h^a$$

Vvelocidade do vento à altura h

V_mvelocidade do vento medido em diferentes locais
(10m de altura em campo aberto)

K, a coeficientes

Ventilação Natural

Coeficientes para determinação da velocidade média do vento (V) para diferentes alturas e diferentes terrenos

Tipo de Terreno	K	a
Campo aberto e plano	0,68	0,17
Campo com obstáculos ao vento	0,52	0,20
Periferia de cidades	0,35	0,25
Cidades	0,21	0,33

✓ Fator estatístico

Probabilidade do vento exceder em 50% a velocidade do vento medido

Coeficientes para velocidades médias do vento que possam exceder 50% da velocidade medida

Porcentagem	Localização	
	Beira-mar (exposta)	Construção no interior
80	0.56	0.46
75	0.64	0.56
70	0.71	0.65
60	0.86	0.83
50	1.00	1.00
40	1.15	1.18
30	1.33	1.39
25	1.42	1.51
20	1.54	1.66
15	1.70	1.80
10	1.84	2.03

Exemplo: Qual a velocidade do vento numa localidade no interior do Brasil cuja velocidade do vento médio medida por estações meteorológicas é de 4,0 m/s, sabendo-se que a edificação tem 30m de altura, em subúrbio de uma cidade e pode ser ultrapassada em 60% do tempo?

Probabilidade de 60%..... Fator de 0,83

$$V_m = 0,83 \times 4,0 = 3,3 \text{ m/s}$$

periferia da cidade $K = 0,35$ $a = 0,25$

$$V_r = V_m \times K \times h^a$$

$$V_r = 3,3 \cdot 0,35 \cdot (30)^{0,25}$$

$$V_r = 2,7 \text{ m/s}$$

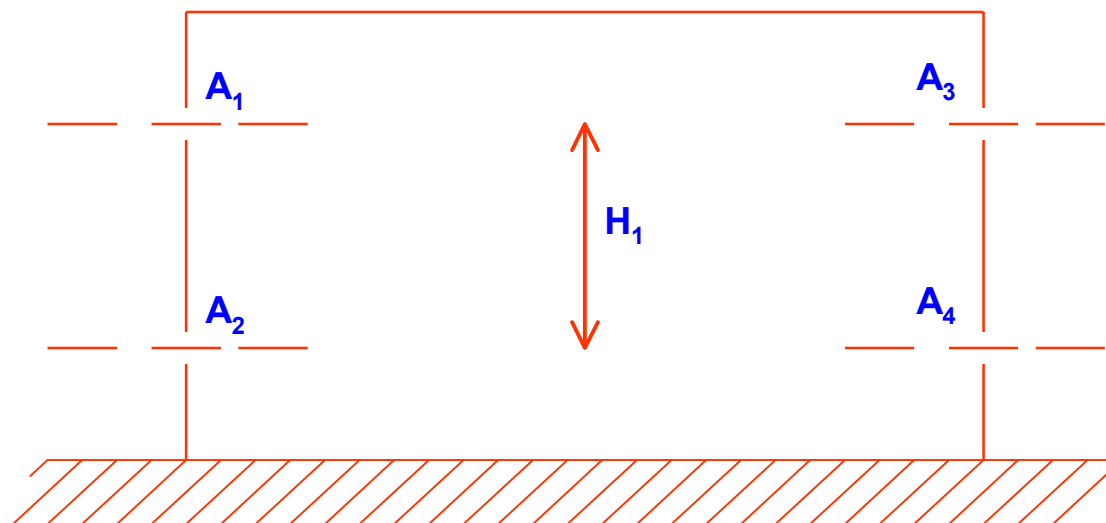
c) Determinação da taxa de ventilação natural

A taxa de ventilação natural depende:

- ✓ da posição e característica do fluxo em todas as aberturas;
- ✓ do coeficiente de pressão médio;
- ✓ das temperaturas do ar interno e externo à edificação.

A troca de ar do ambiente interno pode ocorrer por:

- ✓ apenas efeito do vento incidente;
- ✓ apenas pela diferença de temperatura;
- ✓ efeito combinado de ambos.

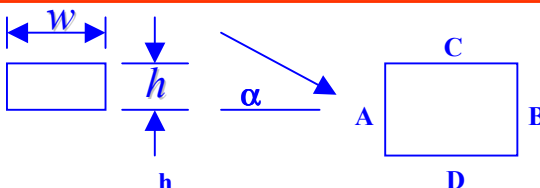
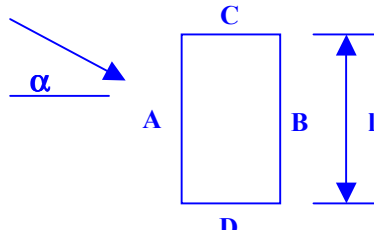
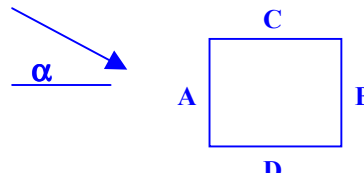
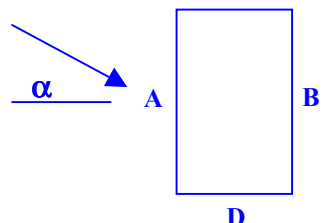


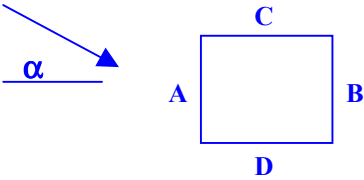
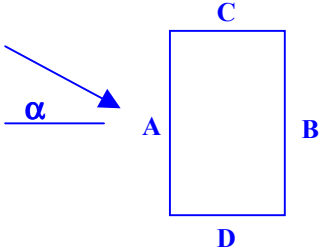
Arranjo de aberturas em um edifício simples

Ventilação Natural de um Edifício Simples

Condições	Representação esquemática	Fórmula
(a) Somente vento		$Q_v = C_d A_v V_r (\Delta C_p)^{1/2}$ $\frac{1}{A_v^2} = \frac{1}{(A_1 + A_2)^2} + \frac{1}{(A_3 + A_4)^2}$
(b) Somente diferença de temperatura		$Q_t = C_d A_t \left(\frac{2 \Delta \Theta g H_1}{\Theta} \right)^{1/2}$ $\frac{1}{A_{t2}} = \frac{1}{(A_1 + A_3)^2} + \frac{1}{(A_2 + A_4)^2}$
(c) Vento e diferença de temperatura juntos		$Q = Q_b \text{ Para } \frac{V_r}{\sqrt{\Delta \Theta}} < 0.26 \left(\frac{A_t}{A_v} \right)^{1/2} \left(\frac{H_1}{\Delta C_p} \right)^{1/2}$ $Q = Q_w \text{ Para } \frac{V_r}{\sqrt{\Delta \Theta}} > 0.26 \left(\frac{A_t}{A_v} \right)^{1/2} \left(\frac{H_1}{\Delta C_p} \right)^{1/2}$

Média de coeficientes da pressão de superfície para paredes verticais de edifícios retangulares

Relação de alt. edifício	Relação entre compr. e largura do edifício	Incidência do vento	Ângulo do vento α	Cp para superfície			
				A	B	C	D
$\frac{h}{w} \leq \frac{1}{2}$	$1 < \frac{l}{w} \leq \frac{3}{2}$		Graus				
			0	+0.7	-0.2	-0.5	-0.5
	$\frac{3}{2} < \frac{l}{w} < 4$		90	-0.5	-0.5	+0.7	-0.2
			0	+0.7	-0.25	-0.6	-0.6
$\frac{1}{2} < \frac{h}{w} \leq \frac{3}{2}$	$1 < \frac{l}{w} \leq \frac{3}{2}$		90	-0.5	-0.5	+0.7	-0.1
			0	+0.7	-0.25	-0.6	-0.6
	$\frac{3}{2} < \frac{l}{w} < 4$		90	-0.6	-0.6	+0.7	-0.25
			0	+0.7	-0.3	-0.7	-0.7
			90	-0.5	-0.5	+0.7	-0.1

Média de coeficientes da pressão de superfície para paredes verticais de edifícios retangulares							
Relação de alt. edifício	Relação entre compr. e largura do edifício	Incidência do vento	Ângulo do vento α	Cp para superfície			
				A	B	C	D
$\frac{3}{2} < \frac{h}{w} < 6$	$1 < \frac{l}{w} \leq \frac{3}{2}$		Graus 0	+0.8	-0.25	-0.8	-0.8
			90	-0.8	-0.8	+0.8	-0.25
	$\frac{3}{2} < \frac{l}{w} < 4$		0	+0.7	-0.4	-0.7	-0.7
			90	-0.5	-0.5	+0.8	-0.1

Exemplo

Considere um edifício com comprimento de 25m, largura de 10m e altura de 8m. Não há aberturas na fachada menor. Em cada fachada maior existem aberturas de 2,5 metros quadrados na parte inferior e 5 metros quadrados na parte superior, separadas por uma distância vertical de 6m.

Características da localidade:

- ✓ vento médio medido = 4,5 m/s
- ✓ probabilidade de ser ultrapassada = 60%
- ✓ terreno - campo aberto com obstáculos ao vento
- ✓ C_d : coef. de descarga = 0,61

a) Vento

- ✓ Determinação da diferença dos coeficientes de pressão
- ✓ relação da altura do edifício = $h/w = 8/10 = 0,8$
- ✓ relação do comprimento do edifício = $l/w = 25/10 = 2,5$

Para o vento perpendicular, a diferença dos coeficientes de pressão nas duas faces:

$$0,7 - (-0,3) = 1,0 \therefore \Delta C_p = 1,0$$

b) Determinação da velocidade do vento V_r

probabilidade de 60%.....fator de 0,83

$$V_m = 0,83 \times 4,5 = 3,74 \text{ m/s}$$

Campo com obstáculo ao vento $K = 0,52$ $a = 0,20$

$$V_r = V_m K h^a$$

$$V_r = 3,74 \cdot 0,52 \cdot 8,0^{0,2}$$

$$V_r = 2,9 \text{ m/s}$$

c) Determinação de A_w

$$\frac{1}{A_w^2} = \frac{1}{(5,0 + 2,5)^2} + \frac{1}{(5,0 + 2,5)^2}$$

$$A_w = 5,3 \text{ m}^2$$

d) Taxa de ventilação

$$Q_w = C_d \cdot A_w \cdot V_r (\Delta C_p)^{1/2}$$

$$Q_w = 0,61 \cdot 5,3 \cdot 2,9 \cdot 1,0^{0,5} = 9,4 \text{ m}^3/\text{s}$$

O volume do edifício é $25\text{m} \times 10\text{m} \times 8\text{m} = 2000 \text{ m}^3$

Portanto a taxa de renovação do ar é:

$$3600 \times 9,4 / 2000 = 17 \text{ trocas de ar / hora}$$

No exemplo dado, qual a taxa de ventilação da diferença de temperatura de 6° C, na ausência de vento?

Cálculo de A_b

$$\frac{1}{A_b^2} = \frac{1}{(2,5 + 2,5)^2} + \frac{1}{(5,0 + 5,0)^2}$$

$$A_b = 4,5 \text{ m}^2$$

$$\overline{\Theta} = 300 \text{ K}$$

$$Q_b = C_d . A_b . \left[\frac{2 . \Delta \Theta . g}{\overline{\Theta}} \right]^{1/2}$$

$$Q_b = 0,61 . 4,5 . \left[\frac{2 . 6 . 9,81 . 6}{300} \right]^{1/2}$$

$$Q_b = 4,2 \text{ m}^3/\text{s}$$

Portanto a taxa de renovação de ar é:

$$3600 . 4,2 / 2000 = 7,6 \text{ trocas de ar / hora}$$

1. Objetivo

- ✓ fornecer O_2 para a respiração;
- ✓ diluição e remoção de poluentes, incluindo odores e fumaça de cigarro;
- ✓ controlar a umidade;
- ✓ fornecer O_2 para a queima de combustíveis;
- ✓ controlar o conforto térmico.

2. Composição do ar exterior

Oxigênio (O_2)	20,94 %
Nitrogênio (N_2)	79,03 %
Dióxido de Carbono (CO_2)	0,035 %
Gases Onertes	traços

3. Respiração Humana

O ar respirado pelas pessoas contém:

Oxigênio (O_2)	16 %
Dióxido de Carbono (CO_2)	4%
Nitrogênio (N_2)	79,7 %
Umidade	totalmente saturado (45g de vapor d'água / m ³ de ar)

* Concentração mínima de O_2 no ar.....12 %

* Fator limitante é o teor de CO_2 no ar.....máx. 0,5 %

Taxa de CO_2 produzida pela respiração, $q = 0,00004 M$

q em L/s

M = taxa metabólica em Watts

Os efeitos da escassez de oxigênio

- ✓ Quando o oxigênio escasseia e aumenta a concentração de gás carbônico nas células, o primeiro ponto afetado é o sistema nervoso central, que controla todas as funções do organismo.
- ✓ Os sintomas começam com mal-estar, náusea e dor de cabeça. Depois vêm distúrbios nas funções motoras - a pessoa sente dificuldades para se movimentar.
- ✓ Ocorrem, em seguida, perturbações de comportamento (fobia, pânico, agressividade), até a entrada no estado de coma.
- ✓ A escassez de oxigênio mata as células do cérebro. A lesão do sistema nervoso causa parada respiratória e a morte.

Requisitos do ar para respiração			
Atividade (Adulto)	Taxa Metabólica (M) W	Vazão de ar para manter o nível de CO ₂ a uma dada taxa	
		0,5 % CO ₂	0,25 % CO ₂
		L/s	L/s
Sentado	100	0,8	1,8
Trabalho leve	160 a 320	1,3 a 2,6	2,8 a 5,6
Trabalho moderado	320 a 480	2,6 a 3,9	5,6 a 8,4
Trabalho pesado	480 a 650	3,9 a 5,3	8,4 a 11,4
Trabalho muito pesado	650 a 800	5,3 a 6,4	11,4 a 14,0

4. Diluição e remoção de poluentes

- ✓ gases;
- ✓ vapores;
- ✓ particulados inertes (poeira, fibras);
- ✓ particulados (esporos, vírus, bactérias).

A taxa de equilíbrio dos poluentes C_E ser calculada por:

$$C_E = \left[\frac{Q \times C_e + q}{Q + q} \right]$$

Q.....Vazão de ar exterior (L/s);

C_eConcentração de poluentes no ar exterior;

q.....Vazão de poluentes (L/s).

Exemplo

* quatro pessoas (sentadas) em um quarto;

* vazão de ar exterior de 16 L/s.

Qual a taxa de equilíbrio de CO₂ no ambiente?

Respiração humana: $0,00004 \times M = 0,00004 \times 100 \times 4 = 0,016 \text{ L/s}$

Ar exterior.....0,04 % de CO₂

$Q = 16 \text{ L/s}; \quad C_e = 0,0004; \quad q = 0,016 \text{ L/s}$

$$C_E = \frac{(16 \times 0,0004) + 0,016}{16 + 0,016} = 0,0014 \quad (i.e. 0,14\%)$$

4.1. Odor

- ✓ Odor do corpo;
- ✓ cigarro;
- ✓ odor de comida;
- ✓ odor de sanitários.

a) Vazão de ar para controlar o odor do corpo.....8 L/s por pessoa;

b) volume de ar para diluir a fumaça do cigarro....120 m³ por cigarro

taxa média de consumo: 1,3 cigarro / hora / pessoa;

c) vazão de ar necessária para diluir a

fumaça do cigarro:.....de 15 L/s a 40 L/s por pessoa.

4.2. Controle da umidade interna

Umidade Relativa: Relação do conteúdo de umidade do ar e o conjunto de umidade do ar saturado à mesma temperatura.

Baixa Umidade: Desconforto na respiração e efeitos eletroestáticos.

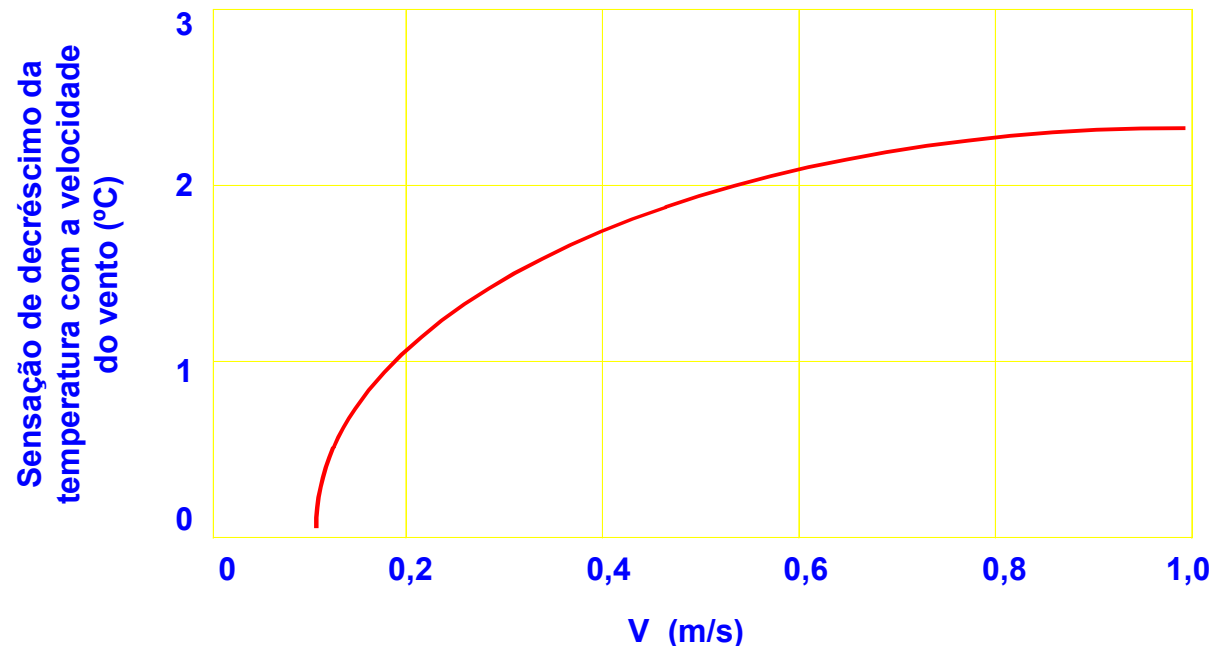
Alta Umidade: Condensação e crescimento de fungos (bolor).

Ventilação: Reduzir a umidade ambiente.

Controle do conforto térmico

Movimento do ar provoca o resfriamento do ambiente e do corpo humano.

Limite inferior de percepção - 0,1 m/s



Taxa de geração de umidade	
Atividades Domésticas	Taxa de geração de umidade
* pessoas	
Dormindo	40g/h por pessoa
Ativa	55g/h por pessoa
*cozimento	
Por eletricidade	2000g/dia
Por gás	3000g/dia
*lavagem de pratos	400g/dia
*banhos/lavagem	200g/dia por pessoa
*lavagem de roupas	500g/dia
*secagem de roupas	1500g/dia por pessoa
Taxa de geração de umidade por queima de combustíveis	
Combustível	Taxa de geração de umidade
	g/h por Kw
Gás natural	150
Gás manufacturado	100
Querosene	100
GLP	130
Carvão coque	30

Taxa de geração diária por habitante			
Nº de pessoas por habitação	Taxa de geração de umidade (Kg / dia)		
	Seca	Úmida	molhada
1	3,5	6	9
2	4	8	11
3	4	9	12
4	5	10	14
5	6	11	15
6	7	12	16

Fornecimento de ar para a combustão em equipamentos domésticos

Objetivo:

- ✓ ar para a combustão e correta operação de exaustão;
- ✓ limitar a concentração dos produtos da combustão a níveis mais aceitáveis (0,5% de CO₂);
- ✓ prevenir o sobreaquecimento dos aparelhos e seu entorno.

Equipamentos sem exaustão: Taxa de produção de CO₂ e suprimento de ar

Taxa de produção de CO₂

Combustível	Taxa de produção de CO ₂ L/s por Kw
Gás natural	0,027
Gás manufacturado	0,027
GLP	0,033
Querosene	0,034
Combustível sólido	0,048

Fornecimento de Ar

Combustível	Taxa de fornecimento de ar (L/s por Kw)
Gás natural	5,4
Gás manufacturado	5,4
GLP	6,6
Querosene	6,8

Limite de concentração (máximo) de CO₂ - 0,5%

A vazão de ar necessária para fornecer a concentração de equilíbrio é:

$$Q = q \cdot \left[\frac{1 - C_e}{C_E - C_e} \right]$$

Q.....vazão de ar exterior (L/s);

q.....vazão de poluentes (L/s);

C_Etaxa de equilíbrio dos poluentes;

C_econcentração de poluentes no ar exterior.

Exemplo

Ocupação:

- ✓ 6 pessoas;
- ✓ taxa metabólica por pessoa 125w;
- ✓ umidade devido à respiração por pessoa 0,05 kg/h;
- ✓ um aquecedor a querosene 1 Kw.

Condições internas: 20° C e U.R. 60% (8,8 g/kg de ar seco)

Condições externas: 5° C e U.R. 95% (5,2 g/kg de ar seco)

Qual a vazão de ar para manter a U.R. < 60% ?

✓ Respiração:.....6 . 0,05 kg/h = 0,30 kg/h

✓ Aquecedor a querosene.....0,10 kg/h

Emissão de vapor d'água = 0,40 kg/h = q

$C_E = 8,8 \text{ g/kg}$

$C_E = 5,2 \text{ g/kg}$

$$Q = 0,40 \cdot \left[\frac{1 - 0,0052}{0,0088 - 0,0052} \right] = 110,5 \text{ kg} / \text{h}$$

Densidade do ar seco (20°C) = 1,2 kg / m³

$$Q = 25,5 \text{ L/s}$$