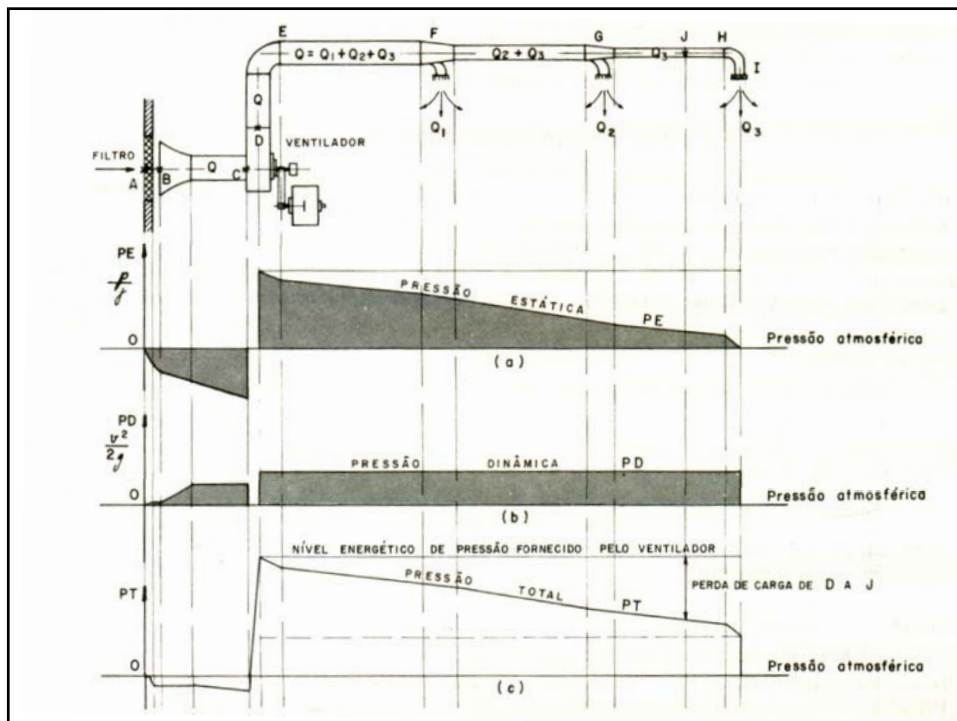


Dutos para condução de ar



considerações

- 1) $Q = VA$
- 2) $H = h + \frac{p}{\gamma} + \frac{V^2}{2g}$ (energia total)
- 3) $J_{a \rightarrow b} = \left(h_a + \frac{p_a}{\gamma} + \frac{V_a^2}{2g} \right) - \left(h_b + \frac{p_b}{\gamma} + \frac{V_b^2}{2g} \right)$
 $J_{a \rightarrow b} = \frac{p_a - p_b}{\gamma} + \frac{V_a^2 - V_b^2}{2g}$

Perda de carga para dutos circulares

$$\Delta p = \left(f \frac{l}{d} \frac{v^2}{2g} \right) \gamma \text{ (pascal)}$$

Onde:

l – comprimento do duto (m);

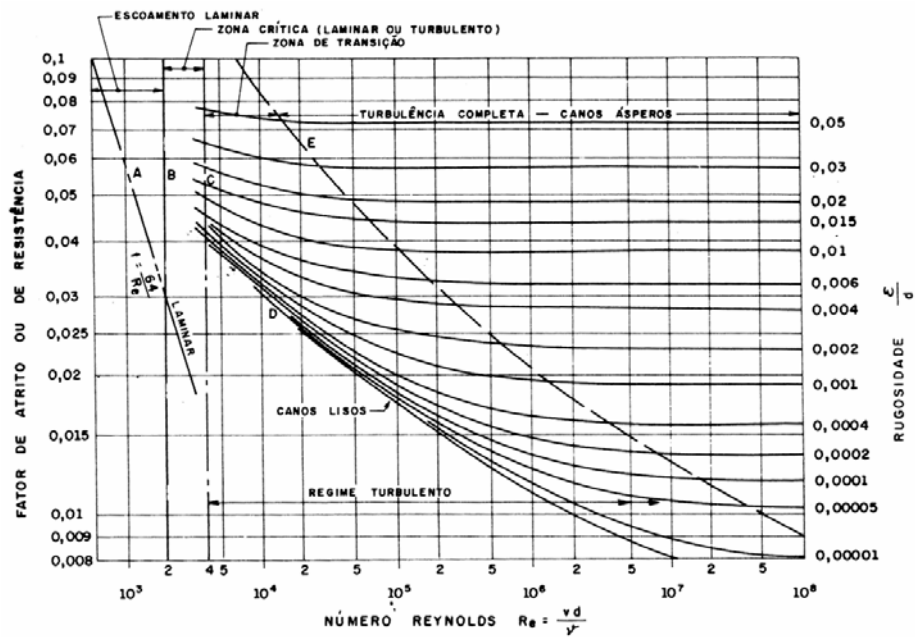
d – diâmetro do duto (m);

v – velocidade (m/s);

γ – peso específico do ar (N/m³);

f – coeficiente de perda de carga

Diagrama de Moody para a determinação de f



Fonte: A. J. Macintyre, Ventilação Industrial e Controle da Poluição, Ed. Guanabara, fig.9.2, pg.121

Tabela 9.1 Peso específico γ e viscosidade cinemática ν do ar

Temperatura (°C)	Peso específico γ (kgf/m ³)	μ microPa · s
0	1,2922	17,780
10	1,2467	17,708
20	1,2041	18,178
30	1,1644	18,648
40	1,1272	19,118
50	1,0924	19,588

Tabela 9.2 Velocidade do ar nos dutos e difusores

Designação	Edifícios públicos (m/min)	Indústrias (m/min) (m/s)
Entrada de ar no duto	150-270	150-360 2,5-6,0
Filtros	90-110	110-120 1,8-2,0
Lavador de ar	150-210	150-210 2,5-3,5
Aspiração do ventilador	250-300	300-430 5,0-7,2
Saída do ventilador	600-660	720-840 12-14
Dutos principais	390-480	540-600 9-10
Ramais horizontais	270-390	180-540 3-9
Ramais verticais	210-360	240-480 4-8
Difusores ou bocas de insuflamento	30-120	60-300 1-5

Fonte: A. J. Macintyre, Ventilação Industrial e Controle da Poluição, Ed. Guanabara, pg.123

Tabela 9.3 Velocidades recomendadas e máximas para dutos de ar e equipamentos de sistemas de baixa pressão (NB-10/1978)

Designação	Recomendadas (m/s)			Máximas (m/s)		
	Resi- dências	Escolas, teatros e edifícios públicos	Prédios industriais	Resi- dências	Escolas, teatros e edifícios públicos	Prédios industriais
Tomadas de ar exterior	2,50	2,50	2,50	4,00	4,50	6,00
Serpentinas — resfriamento — aquecimento	2,25	2,50	3,00	2,25	2,50	3,60
	2,25	2,50	3,00	2,50	3,00	7,50
Lavadores de ar — borri- fador — alta ve- locidade	2,50	2,50	2,50	3,50	3,50	3,50
	—	—	9,00	—	—	9,00
Descarga do ventilador mín máx	5,00 8,00	6,50 10,00	8,00 12,00	— 8,50	— 11,00	— 14,00
Dutos principais mín máx	3,50 4,50	5,00 6,50	6,00 9,00	— 6,00	— 8,00	— 10,00
Ramais horizontais mín máx	— 3,00	3,00 4,50	4,00 5,00	— 5,00	— 6,50	— 9,00
Ramais verticais mín máx	— 2,50	3,00 3,50	— 4,00	— 4,00	— 6,00	— 8,00

Fonte: A. J. Macintyre, Ventilação Industrial e Controle da Poluição, Ed. Guanabara, pg.123

Normas da ABNT sobre ventilação

- **ABNT – palavras buscadas: ventilação, conforto térmico, ar condicionado**
 - ABNT NBR 6401 NB 10 - Instalações centrais de ar condicionado para conforto - Parâmetros básicos de projeto
 - NBR8646 NB886 Condicionamento de ar e ventilação nas acomodações de navios mercantes - Condições básicas de projeto
 - NBR8807 NB923 Cálculo da ventilação para praça de máquinas de embarcações mercantes de propulsão diesel
 - NBR9404 NB950 Cálculo de ventilação para compartimento de CO2 de embarcações mercantes
 - NBR9172 NB954 Cálculo de ventilação para compartimento do diesel gerador de emergência em navios mercantes
 - NBR11227 NB1306 Cálculo do sistema de ventilação mecânica no compartimento de gás inerte
 - NBR13971 Sistemas de refrigeração, condicionamento de ar e ventilação - Manutenção programada
 - NBR14518 Sistemas de ventilação para cozinhas profissionais
 - NBR14679 Sistemas de condicionamento de ar e ventilação - Execução de serviços de higienização
 - NBR10085 NB1020 Medição de temperatura em condicionamento de ar
 - NBR14787 Espaço confinado - Prevenção de acidentes, procedimentos e medidas de proteção

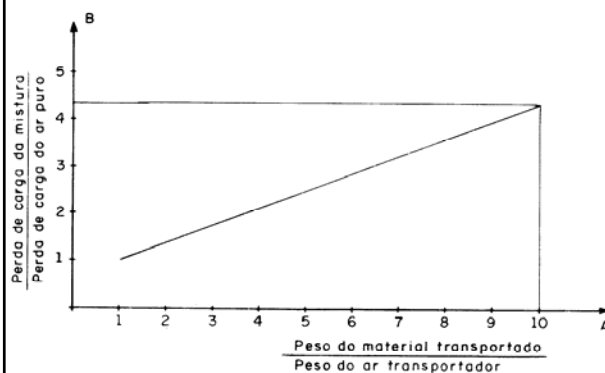
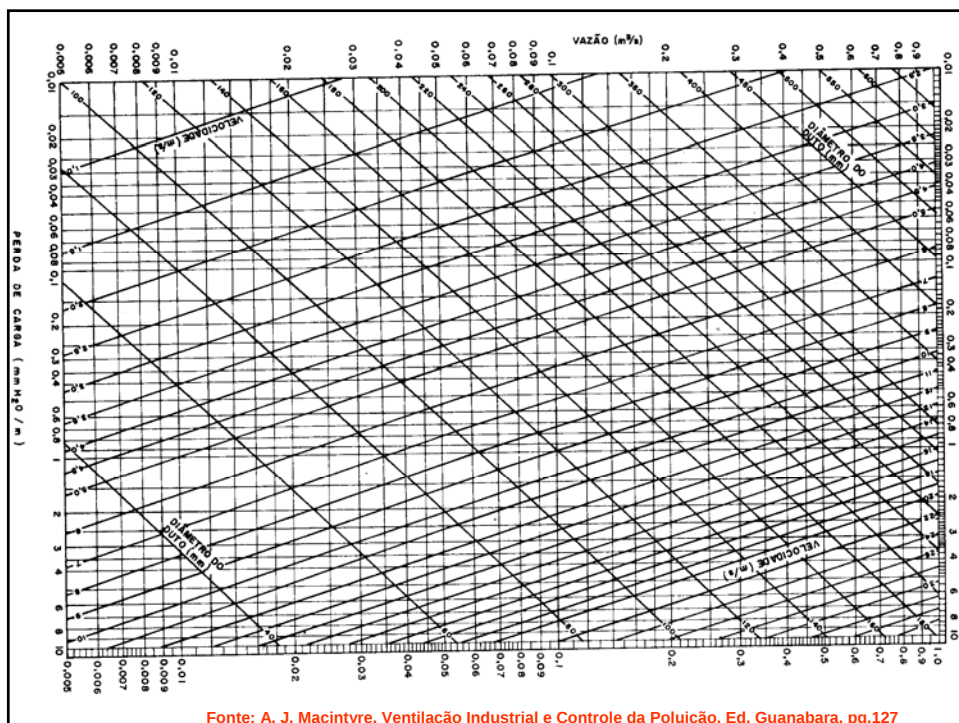
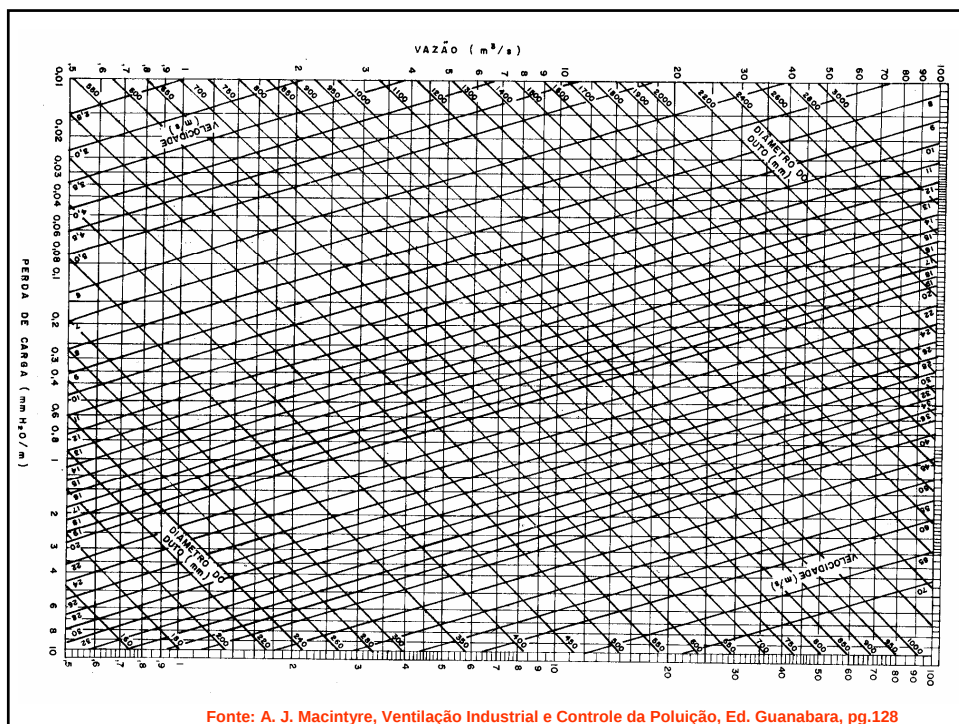
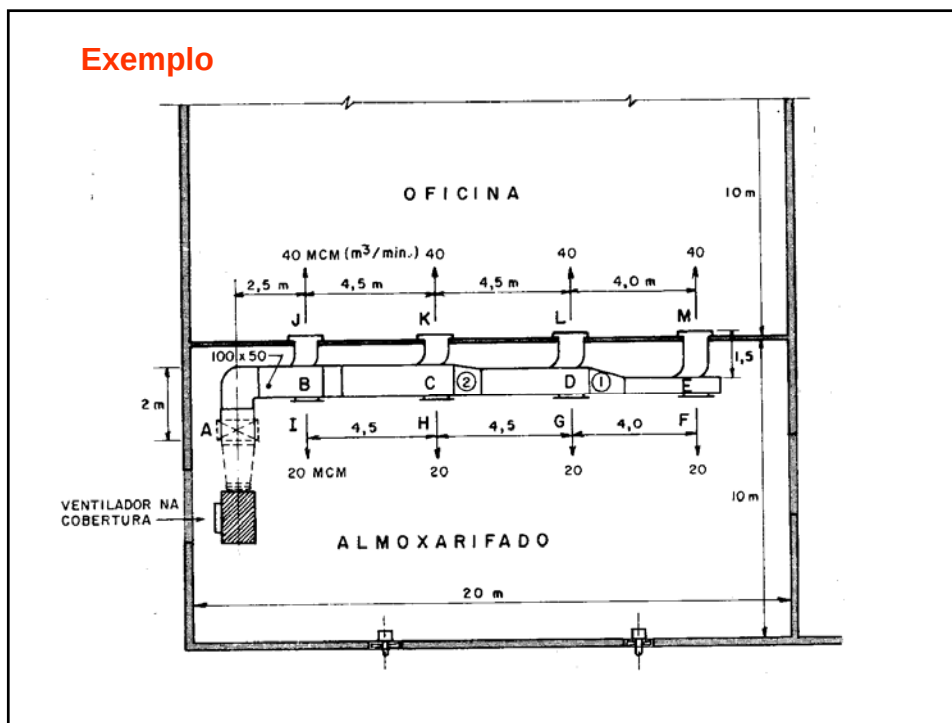
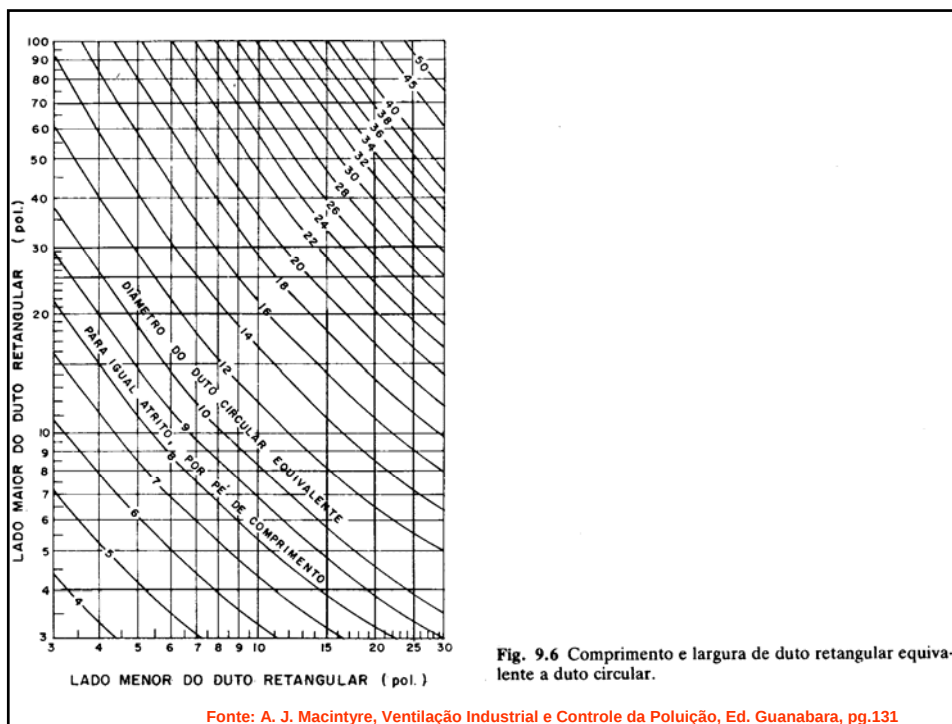
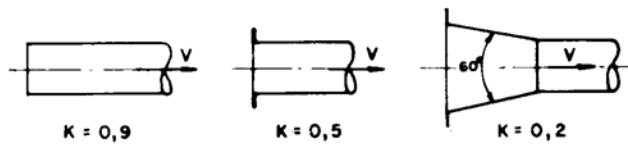


Fig. 9.3 Fator de correção da perda de carga para ar contendo material particulado.

Fonte: A. J. Macintyre, Ventilação Industrial e Controle da Poluição, Ed. Guanabara, pg.124



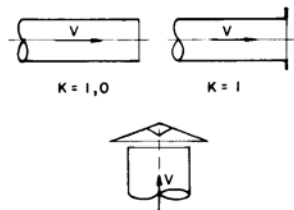




Perdas à entrada do duto

Grelha com orifícios	
Superfície livre	K
70 %	2
60 %	3
50 %	5

Fonte: A. J. Macintyre, Ventilação Industrial e Controle da Poluição, Ed. Guanabara, pg.139

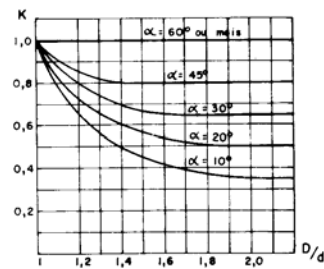


Superfície livre de saída	K
100 %	3
150 %	2

d/D	K
0,2	2,6
0,4	2,3
0,5	1,75
0,6	1,5
0,8	0,7
0,9	0,2

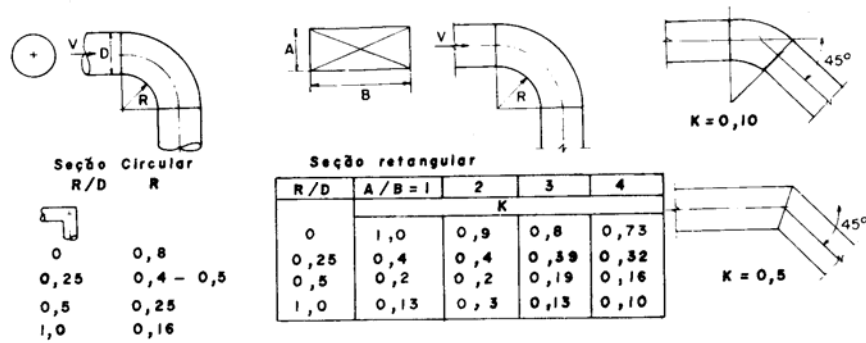
Grelha com orifícios	
Superfície livre	K
70 %	3
60 %	4
50 %	6

Perdas de carga à saída do duto

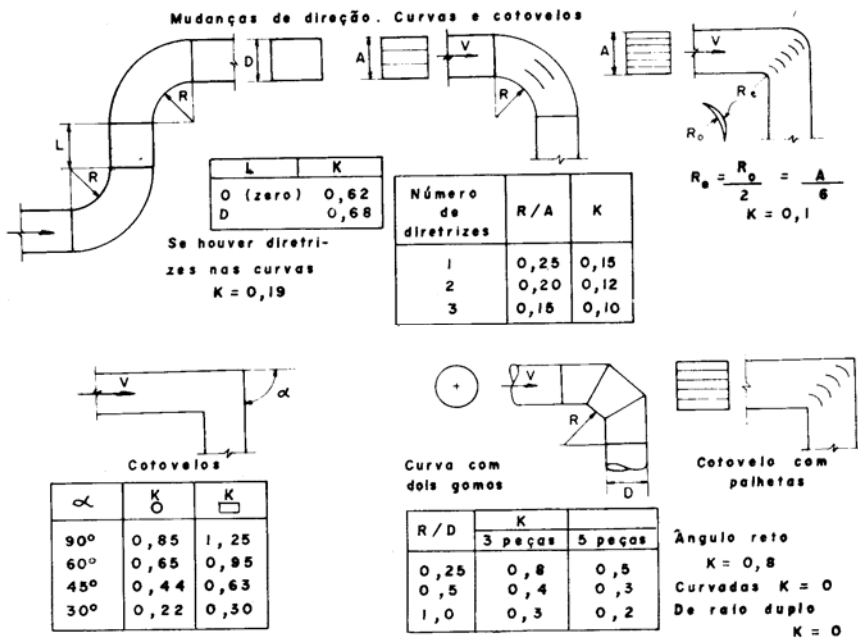


Fonte: A. J. Macintyre, Ventilação Industrial e Controle da Poluição, Ed. Guanabara, pg.139

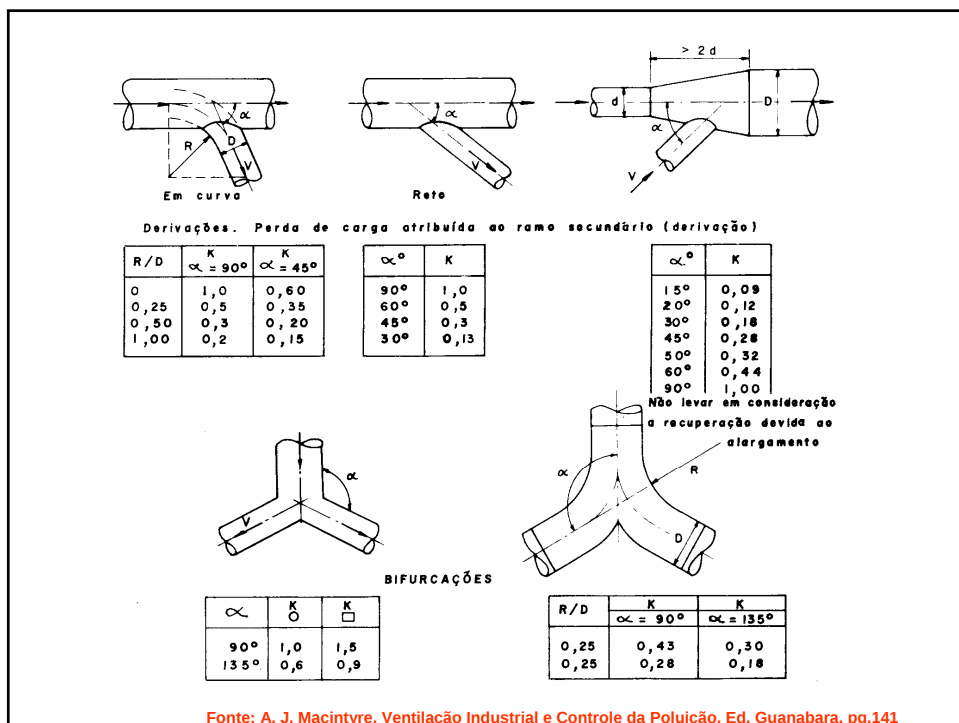
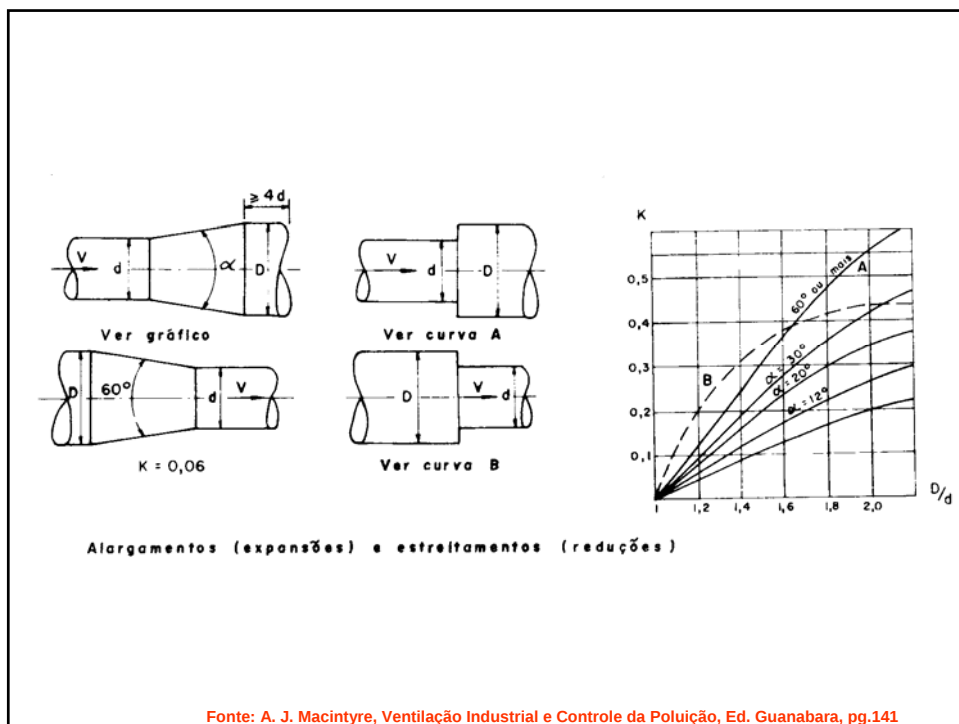
Curvas e cotovelos

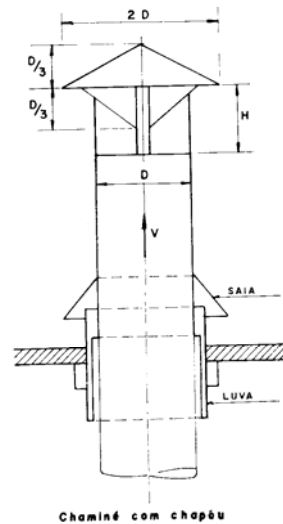


Fonte: A. J. Macintyre, Ventilação Industrial e Controle da Poluição, Ed. Guanabara, pg.140



Fonte: A. J. Macintyre, Ventilação Industrial e Controle da Poluição, Ed. Guanabara, pg.140





Altura H	Coefficiente de perda K
1,0 . D	0,10
0,75 . D	0,18
0,70 . D	0,22
0,65 . D	0,30
0,60 . D	0,41
0,55 . D	0,56
0,50 . D	0,73
0,45 . D	1,00

Perda de carga no chapéu
 $P_{\text{chapéu}} = K \cdot h_v$

Fonte: A. J. Macintyre, Ventilação Industrial e Controle da Poluição, Ed. Guanabara, pg.142

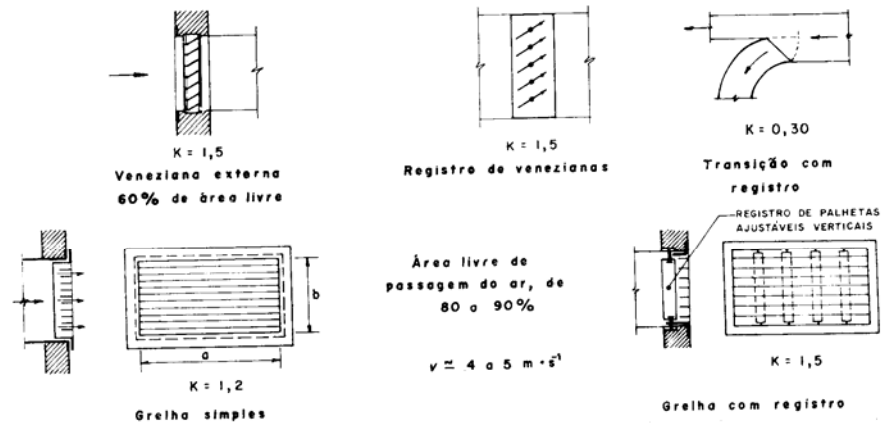


Fig. 9.11 Valores de K para chapéu de chaminé e venezianas.

Fonte: A. J. Macintyre, Ventilação Industrial e Controle da Poluição, Ed. Guanabara, pg.142

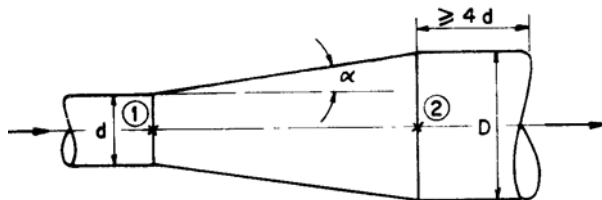


Tabela 9.6 Valores do coeficiente K de perda de carga (ver Fig. 9.12)

Ângulos	K
5°	0,28
10°	0,44
15°	0,58
20°	0,72
25°	0,87
30°	1,00
+ de 30°	1,00

Fonte: A. J. Macintyre, *Ventilação Industrial e Controle da Poluição*, Ed. Guanabara, pg.143

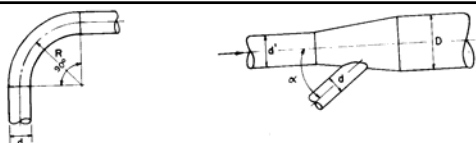


Fig. 9.13 Comprimentos equivalentes, expressos em pés de duto retilíneo de igual diâmetro. (Ver Tabela 9.7.)

Tabela 9.7 Comprimentos equivalentes para curvas expressos em pés, de duto retilíneo de igual diâmetro (ver Fig. 9.13)

Diâmetro d pol.	Curva de 90° R		
	1,5 d	2,0 d	2,5 d
3	5 ft	3 ft	3 ft
4	6	4	4
5	9	6	5
6	12	7	6
8	15	10	8
10	20	14	11
12	25	17	14
14	30	21	17
16	36	24	20
18	41	28	23
20	46	32	26
24	57	40	32
30	74	51	41
36	93	64	51
40	105	72	59
48	130	89	73

Diâmetro d (polegada)	Ângulo de entrada	
	30°	45°
3	2 ft	3 ft
4	3	5
5	4	6
6	5	7
8	7	11
10	9	14
12	11	17
14	13	21
16	16	25
18	18	28
20	20	32

Válido para o ramo secundário do duto (ver Fig. 9.13)

Para curvas de 60° 0,67 × perda correspondente a 90°
 45° 0,50 × perda correspondente a 90°
 30° 0,33 × perda correspondente a 90°

Fonte: A. J. Macintyre, *Ventilação Industrial e Controle da Poluição*, Ed. Guanabara, pg.145

Fig. 9.14 Comprimentos equivalentes aproximados nas derivações de dutos com reduções. (Cortesia NESCA.) Nota: Devem-se adicionar 8 m ao comprimento equivalente das três conexões mais próximas à unidade e às três seguintes a cada redução no duto principal (*plenum*).

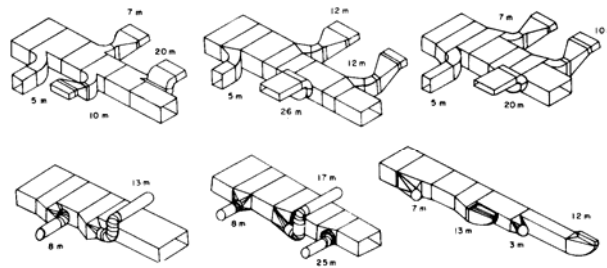
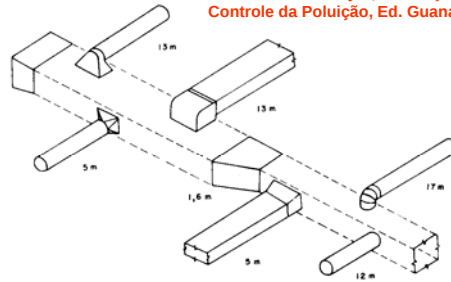


Fig. 9.15 Comprimentos equivalentes aproximados de derivações de dutos com reduções. (Cortesia NESCA.)

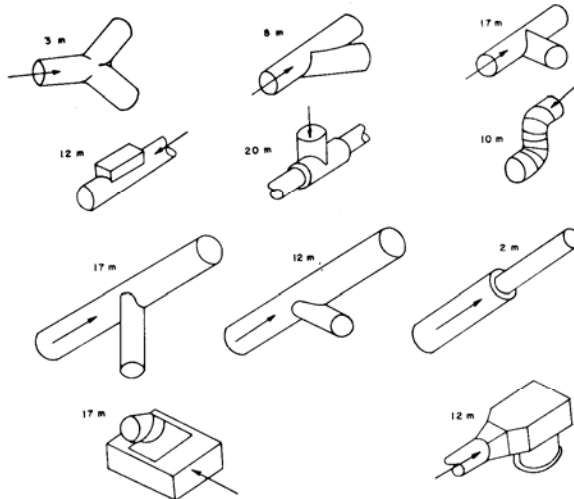


Fig. 9.17 Comprimentos equivalentes aproximados para derivações de dutos de seção circular. (Cortesia NESCA.) Nota: Devem-se acrescentar 8 m ao comprimento equivalente das três conexões mais próximas da unidade em cada ramal.

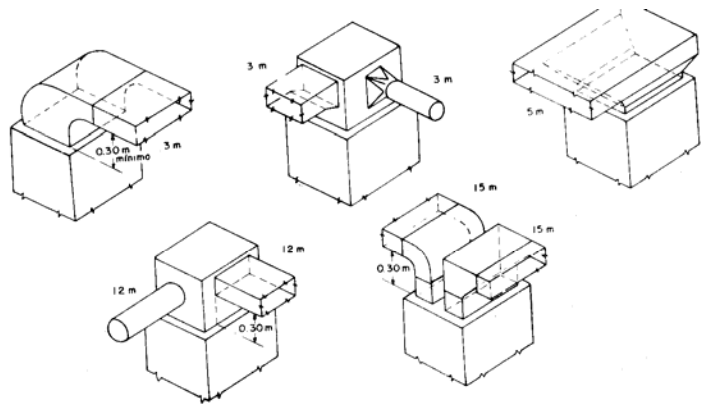
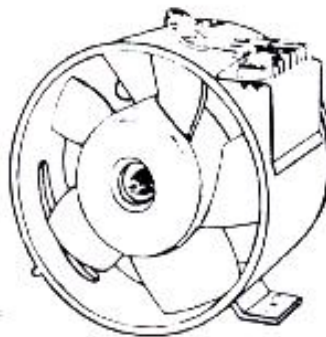


Fig. 9.16 Derivações a partir de um *plenum*, para insuflação ou retorno de ar. Comprimentos equivalentes. (Cortesia NESCA.)

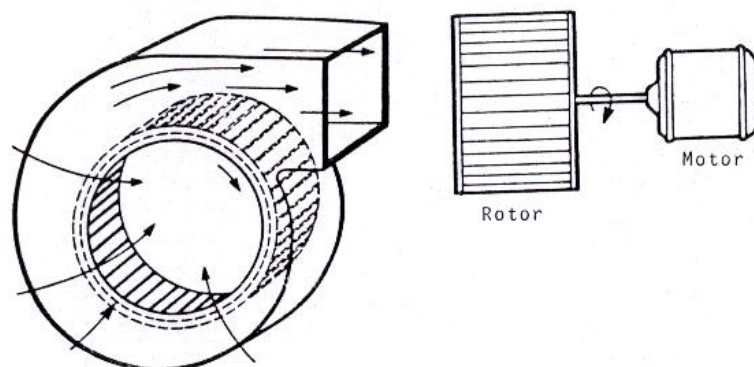
Tabela 9.10 Bitola de chapa de dutos, conforme a NB-10/1978

Espessuras				Duto circular (diâmetro)		Retângulo (lado maior)
Alumínio		Aço galvanizado		Costura helicoidal	Calandrado, com costura longitudinal	
Bitola	mm	Bitola	mm			
2	0,64	26	0,50	até 225	até 450	até 300
22	0,79	24	0,64	250 a 600	460 a 750	310 a 750
20	0,95	22	0,79	650 a 900	760 a 1.150	760 a 1.400
18	1,27	20	0,95	950 a 1.250	1.160 a 1.500	1.410 a 2.100
16	1,59	18	1,27	1.300 a 1.500	1.510 a 2.300	2.110 a 3.000

Ventilador Axial



Ventilador Centrífugo



Captorees

- É o ponto de entrada dos gases no sistema de ventilação local exaustora. Um captor estará completamente dimensionado quando determinarmos:
 - sua forma e dimensão
 - sua posição relativa a fonte do poluente
 - vazão a ser exaurida para captura completa dos poluentes
 - energia necessária para movimentar os gases exauridos para dentro dele

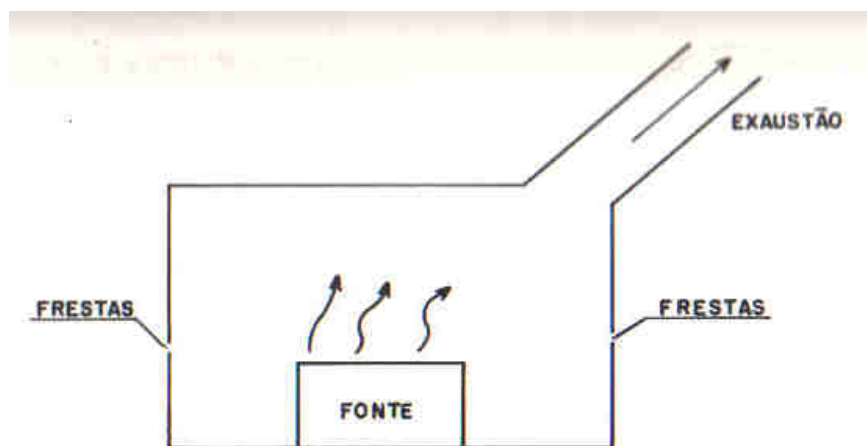
Classificação dos captorees

- Enclausuramento com exaustão
- Cabines
- Captorees externos

Enclausuramento com exaustão

- Nesse caso, a fonte dos poluentes fica dentro do captor, o qual possui todos os lados fechados.
- Em alguns casos, as paredes do captor enclausurante podem ser a própria parede do processo ou operação que esta sendo ventilado, como por exemplo, no caso de um silo em cuja parede se coloca a tomada de exaustão.

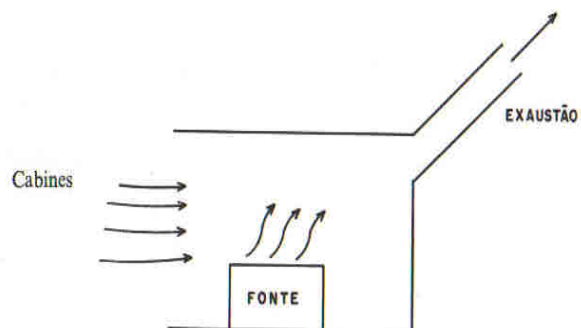
Enclausuramento com exaustão



Cabines

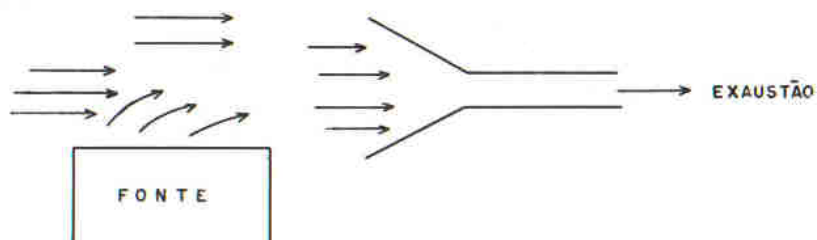
- Esse captor é semelhante ao captor enclausurante, porém com uma de suas faces abertas (necessária para o acesso a operação ou processo poluidor).

Cabines



Captores externos

- Nesse caso, o captor é colocado externamente à fonte. Incluem as aberturas de sucção localizadas próximas as zonas de emissão de poluente em processos ou operação poluidores que não permitem seu enclausuramento ou colocação de uma cabine, dada a necessidade de acesso.
- Esses captores devem induzir, na zona de emissão de poluentes, correntes de ar em velocidade tais que assegurem que os poluentes sejam carregados pelas mesmas para dentro do captor.





Vazão das coifas

- A vazão de ar a ser exaurida para dentro do captor deve ser tal que garanta que todos os poluentes gerados pela fonte sejam captados. Por outro lado essa vazão não deve interferir com o processamento industrial, quanto maior a vazão maior o custo do sistema de exaustão. Devemos determinar a mínima vazão que nos permita uma captura total dos poluentes.

$$Q = v A$$

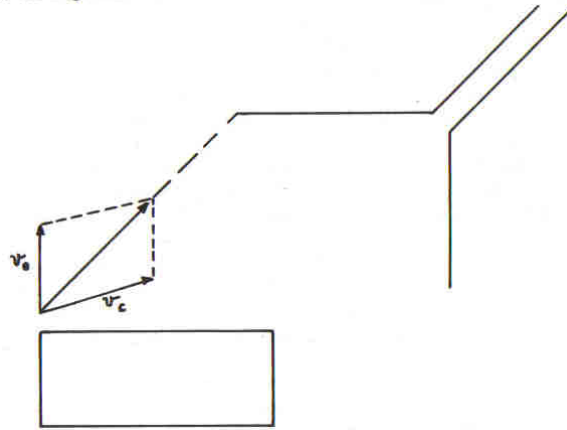
Captor enclausurante

- Área aberta: frestas
- Velocidade usual: 0,38 – 1 m/s
- Escolha da velocidade:
 - Corrente de ar ambiente
 - Toxicidade
 - Fonte de calor
 - Fonte de gases

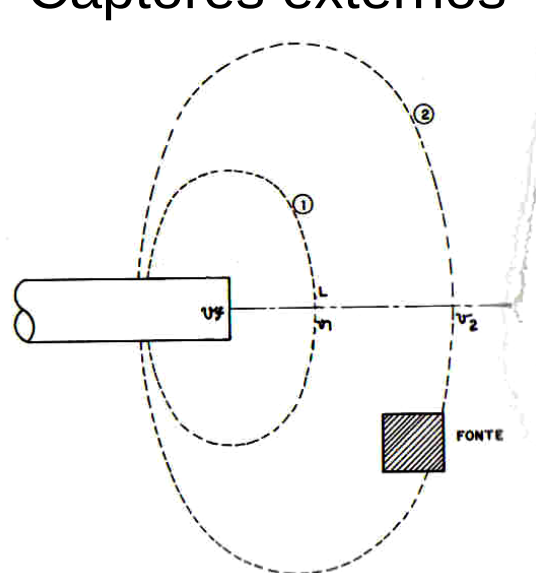
Cabine

- Área aberta: área da face da cabine
- Velocidade usual: 0,50 – 1 m/s
- Escolha da velocidade:
 - Corrente de ar ambiente
 - Toxicidade
 - Fonte de calor
 - Fonte de gases

Captorez externos



Captorez externos



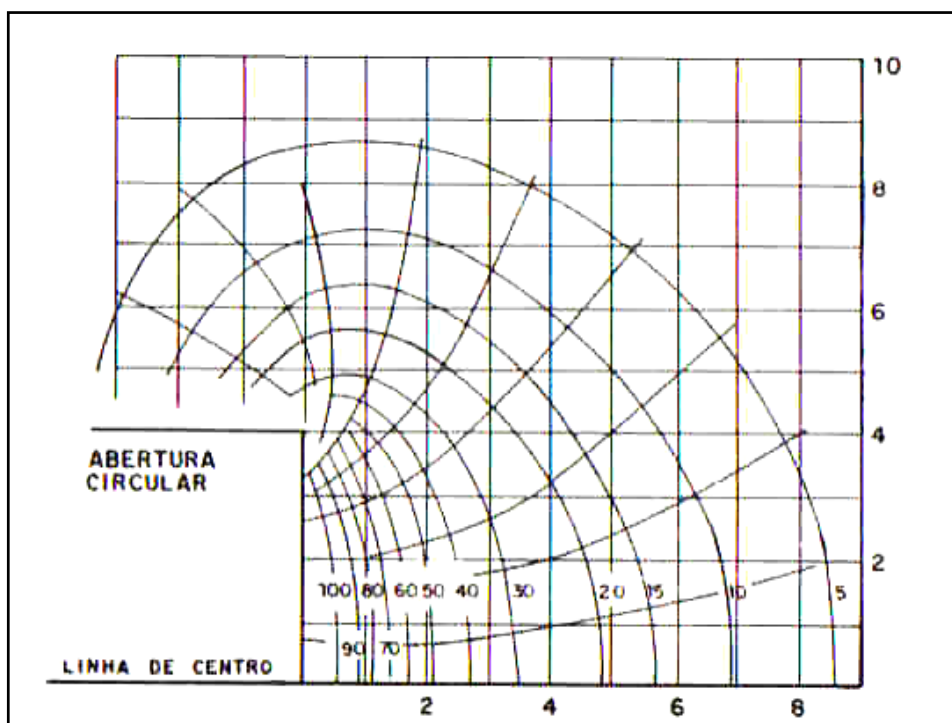


Tabela 11.1 Velocidade de captura de contaminantes V (ou V_c) segundo o ACGIH *Industrial Ventilation Guide* — 1972

Condição de formação do contaminante	Exemplos	Velocidades de captura m/min
Libertado sem velocidade inicial, em ar parado	Evaporação em tanque; desengraxamento; eletrodeposição	15 a 30
Libertado com velocidade baixa em ar em relativo repouso	Cabines de pintura à pistola; enchimento intermitente de recipientes; transferência de material em correias transportadoras de baixa velocidade (60 m/min); soldagem	30 a 60
Produção ativa em zona onde o ar se acha em movimento rápido	Cabines de pintura; separação e limpeza de peças fundidas por trepidação; britadores, peneiras; pontos de transferência de esteiras transportadoras com alta velocidade (maior que 60 m/min) enchimento de barris	60 a 150
Libertado com velocidade inicial elevada em zona de intenso movimento de ar	Esmerilhamento; limpeza e jato de areia	150 a 600
Máquina de empacotamento	Na face da cabine Com fluxo descendente Aberturas no envoltório	15-30 22-45 30-120
Pintura a pistola	Na face da cabine. Depende do tamanho e da profundidade da cabine, do tipo de trabalho etc.	30-60
Cerâmica — Misturador — Quebra do biscoito	No ponto de origem No ponto de origem	150 220
Solda de prata	Na face da cúpula	30
Banhos — Desengraxante — Decapagem — Eletrodeposição — Témpera — Vapor	No ponto de origem No ponto de origem No ponto de origem Na face da coifa No ponto de origem	15 22-30 15-30 30 23-30
Soldagem elétrica	No ponto de origem (para coifa suspensa) Na face da cabine	30-60 30

Crêterios sugeridos para projetos gerais de ventilação de ambientes
(ASHRAE - American Society of Heating Refrigerating and Air
Conditioning Engineering, Guide an Data Book).

�rea Funcional	Taxa de Renovação (Troca por hora)	P�s ³ / min por pessoa
Hospitais (sala de anestesia)	8-12	-
Salas de animais	12-16	-
Auditórios	10-20	10
Hospitais (salas de autopsia)	8-12	10
Padaria e confeitaria	20-60	-
Boliches	15-30	30
Igrejas	15-25	5
Hospitais (salas de citoscopia)	8-10	20

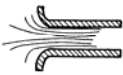
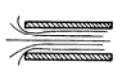
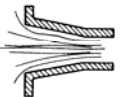
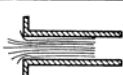
Crêterios sugeridos para projetos gerais de ventilação de ambientes
(ASHRAE - American Society of Heating Refrigerating and Air
Conditioning Engineering, Guide an Data Book).

�rea Funcional	Taxa de Renovação (Troca por hora)	P�s ³ / min por pessoa
Salas de aula	10-30	40
Salas de conferencia	25-35	-
Corredores	3-10	-
Hospitais (salas)	8-12	-
Leiterias	2-15	-
Lavagem de pratos	30-60	-
Lavagem a seco	20-40	-
Fundições	5-20	-
Ginásios	5-30	1,5 por p� quadrado
Garagens	6-10	-
Hospitais(salas hidroterapia)	6-10	-
Hospitais (salas de isolamento)	8-12	-

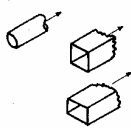
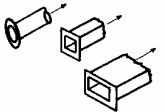
**Crêterios sugeridos para projetos gerais de ventilação de ambientes
(ASHRAE - American Society of Heating Refrigerating and Air
Conditioning Engineering, Guide an Data Book).**

�rea Funcional	Taxa de Renovação (Troca por hora)	P�s ³ / min por pessoa
Cozinhas	10-30	-
Lavanderias	10-60	-
Bibliotecas	15-25	10
Bibliotecas	15-25	10
Salas de deposito	2-15	-
Pequenas oficinas	8-12	-
Hospitais (suprimentos)	6-10	-
Berçários	10-15	-
Escritórios	6-20	10
Hospitais (salas de operação)	10-15	-
Radiologia	6-10	-
Restaurantes	6-20	10
Lojas	18-22	10
Residências	5-20	-
Equipamentos telef�nicos	6-10	-
Salas de controle de tráfego aéreo	10-22	10
Toaletes	8-20	-
Soldas a arco voltaico	18-22	-

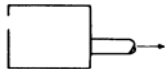
Coeficiente de perda de carga em captores

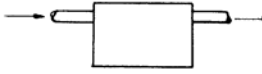
Tipo de orifício	Descrição	Coeficiente de entrada, k_e	Tipo de orifício	Descrição	Coefi- ciente, k_e
	Circular	0,98		Sem incli- nação e sem flan- ge	0,72
	Flangeada, 13� de in- clina��o	0,94		Abertura flangeada. Tubulação com menos 2 d	0,80
	Tubulação flangeada	0,90		Orifício de borda delgada	0,60
	13� de in- clina��o	0,79		Tubulação com menos de 1,5 d	0,53

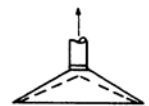
Coeficiente de perda de carga em capttores

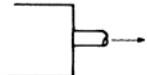
Tipo de captor	Descrição	Coeficiente de entrada, k_e
	Aberturas planas	0,72
	Aberturas flangeadas	0,82
	Entrada em forma de cone	0,98

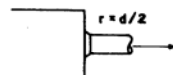
Coeficiente de perda de carga em capttores


Orifício mais duto
flangeado, $k_e = 0,55$


Câmara de Sedimentação, $k_e = 0,63$


Coifa com cone duplo, $k_e \approx 0,70$


Cabine com saída direta,
 $k_e = 0,82$


Cabine com saída arredondada,
 $k_e = 0,97$