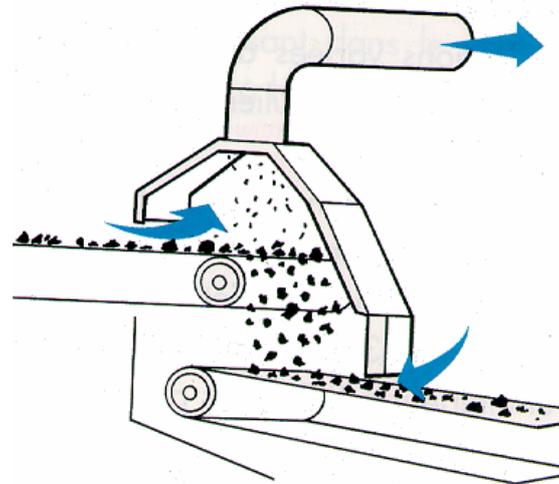


CONTROLE DA POLUIÇÃO ATMOSFÉRICA

Henrique de Melo Lisboa

CAPÍTULO VI

VENTILAÇÃO INDUSTRIAL



Montreal
Primeira versão - Outubro 2007

SUMÁRIO

6.1	Introdução	3
6.1.1	Definição e Classificação	5
6.1.2	Tipos de Poluentes do Ar	5
6.2	Ventilação geral diluidora	6
6.2.1	Distribuição do ar no recinto	7
6.2.2	Limites de Tolerância	7
6.2.3	Aplicação da ventilação geral diluidora com objetivos de atender as necessidades de conforto	13
6.2.4	VENTILAÇÃO GERAL DILUIDORA PARA A DISPERSÃO DE CONTAMINANTES INDUSTRIAIS	14
6.2.5	VENTILAÇÃO GERAL PARA CONTROLE DE SUBSTÂNCIAS EXPLOSIVAS	18
6.3	VENTILAÇÃO LOCAL EXAUSTORA	19
6.3.1	Introdução	19
6.3.2	Captação dos Poluentes	20
6.3.3	Alguns Aspectos Importantes no Projeto e Localização do Captor	22
6.3.4	Velocidade de Captura	24
6.3.5	Vazão de Exaustão	24
6.3.6	Requisitos de Energia do Captor	29
6.3.7	Dimensionamento de captores	36
6.3.8	Dimensionamento de dutos	37
6.3.8.1.	Transporte dos Poluentes	37
6.3.8.2.	Perdas de carga em Singularidades	37
6.3.8.3.	Dimensionamento de dutos para uma instalação de ventilação geral diluidora	41
6.3.8.4.	Dimensionamento de dutos para uma instalação de ventilação local exaustora	42
6.3.8.5.	Filtros ou equipamentos de controle da poluição atmosférica	46
6.3.8.6.	Conjunto Ventilador-Motor	46
6.3.8.7	Pressão e Potência do Ventilador	48
6.4	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	62
	ANEXO - CONVERSÃO DE UNIDADES	63

6.1 Introdução

Este capítulo pretende fornecer informações básicas em relação ao projeto e operação de Sistemas de Ventilação Industrial e também para correção de falhas por venturas existentes.

O domínio das técnicas da Ventilação Industrial é um dos passos fundamentais para a elaboração de sistemas de controle da poluição atmosférica a nível das indústrias. A Figura 6. 1 apresenta um esquema no qual a poluição coletada na fonte é transportada por um sistema de dutos, devendo passar pelos equipamentos de controle antes de ser enviado à chaminé, a fim de que se disperse a poluição residual, respeitando-se para isto os limites de tolerância no interior da empresa e os padrões de emissão na chaminé e aqueles de qualidade do ar ambiente.

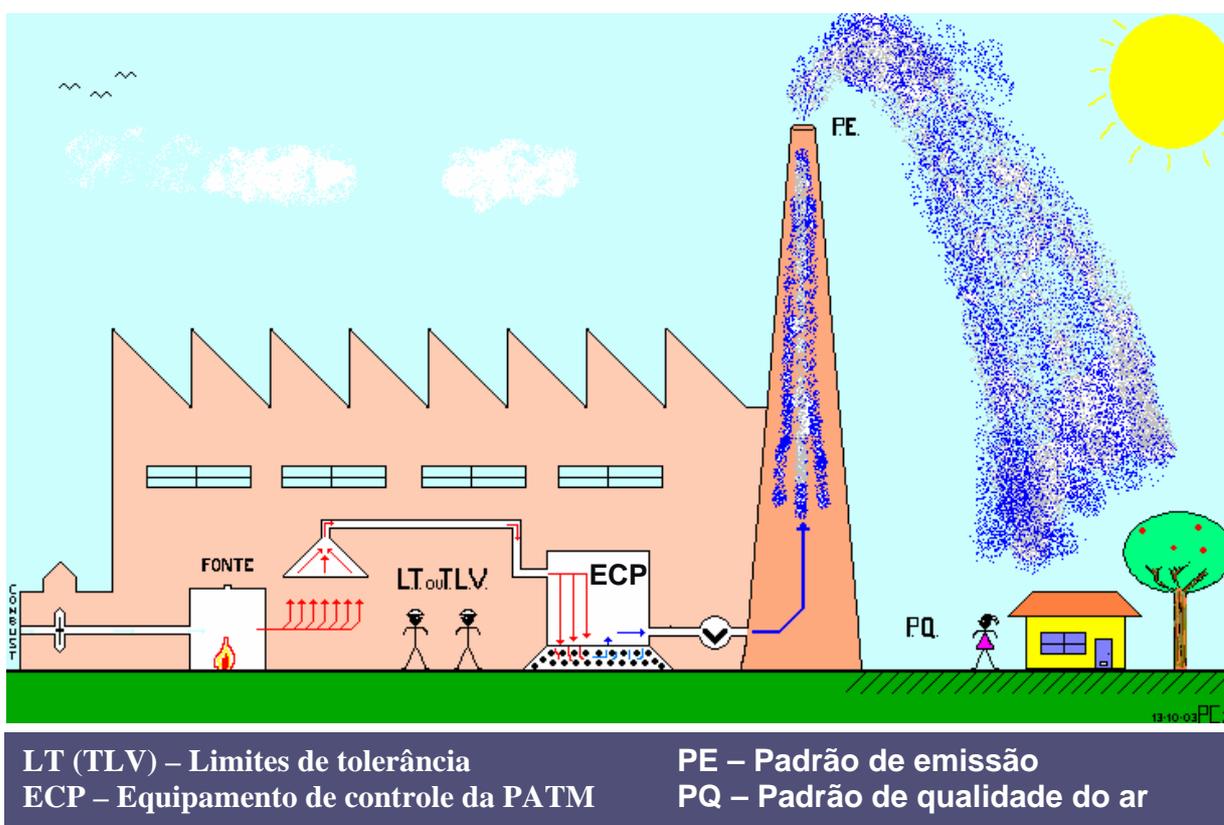


Figura 6. 1 - A ventilação industrial no contexto do controle da poluição atmosférica¹

Como ventilação industrial entende-se o processo de retirar ou fornecer ar por meios naturais ou mecânicos de/ou para um recinto fechado. O processo de ventilação tem por finalidade a limpeza e o controle das condições do ar, para que homens e máquinas convivam num mesmo recinto sem prejuízo de ambas as partes (VALLE PEREIRA FILHO e MELO, 1992).

A **Ventilação** é uma técnica disponível e bastante efetiva para o **controle da poluição do ar de ambientes de trabalho**. A sua adequada utilização promove a diluição ou retirada de substâncias nocivas ou incômodas presentes no ambiente de trabalho, de forma a não ultrapassar os limites estabelecidos na legislação (**Limites de Tolerância**). A Ventilação também pode ser utilizada para controlar a concentração de substâncias explosivas e/ou inflamáveis, agindo dessa forma no aspecto de **segurança tanto do trabalhador quanto dos bens materiais da empresa**. A

¹ Agradecimento a Paulo Piceli pelo desenho.

Ventilação também é útil na conservação de materiais e equipamentos. Finalmente, o seu uso pode promover ou auxiliar no conforto térmico dos ambientes de trabalho e ambientes em geral (ASSUNÇÃO, 1989).

Contudo, na prática se tem verificado que muitos dos sistemas de ventilação instalados não vêm funcionando a contento, seja por falha de projeto, seja por construção ou funcionamento fora das condições de projeto ou mesmo por falta da manutenção adequada.

Projetar um sistema para a ventilação industrial de um recinto consiste basicamente em três problemas (VALLE PEREIRA FILHO e MELO, 1992) :

- I - Determinação da vazão de ar necessária e o esquema da distribuição do ar no recinto a ser ventilado.
- II - Projeto e cálculo das redes de dutos.
- III - Seleção dos ventiladores, ou de qualquer outro sistema de movimentação de ar (Ex. convecção natural).

Os problemas II e III, são bem conhecidos na área de ciências mecânicas: os princípios de cálculo de dutos de distribuição de ar e de seleção de ventiladores são práticas comuns em engenharia e seu desenvolvimento remonta a vários anos (VALLE PEREIRA FILHO e MELO, 1992).

Resolver o problema da vazão necessária a ventilação e a sua distribuição, requer do projetista, grande experiência, criatividade e conhecimento dos princípios físicos em que esta se baseia.

O objetivo principal do estudo de ventilação industrial em conformidade com a colocação inicial, é desenvolver técnicas para o controle das correntes de ar a serem introduzidas ou retiradas de um recinto afim de mantê-lo salubre, com o mínimo de perdas de energia (VALLE PEREIRA FILHO e MELO, 1992)..

Existe uma diferença fundamental entre manter o bem estar em uma repartição pública (somente escritórios) e uma instalação industrial. Numa instalação industrial a ventilação do ambiente tem por finalidade o controle das concentrações de contaminantes e poluentes ou das condições térmicas e na maioria dos casos ambas. A ventilação neste caso pode consistir em passar simplesmente uma corrente de ar exterior, supostamente não contaminada, ou melhor não poluída, pelo interior do recinto, diminuindo assim a concentração do poluente ou contaminante a uma taxa aceitável pelo organismo humano. Este ar contaminado ou poluído a uma taxa permitida pelos órgãos controladores do ambiente, pode então, ser novamente retornado ao exterior, onde novamente o contaminante ou poluente será disperso a menor taxa. Acontece, que a operação contínua deste processo irá gradualmente aumentando a taxa de concentração destes poluentes e contaminantes na atmosfera tornando-a nociva a vida animal e vegetal (VALLE PEREIRA FILHO e MELO, 1992).

Deve ficar bem claro que existe uma diferença sensível de objetivos entre a **ventilação industrial e a comercial**. Na ventilação comercial o objetivo principal é a eliminação de fumo, odores e calor; na ventilação industrial o objetivo é o controle da concentração de vários contaminantes tais como, pó, fumaça, fuligem, vapores, gases e outras impurezas químicas, bem como remoção de calor industrial. A primeira destina-se basicamente para obter-se condições de conforto a segunda tem a finalidade de tornar salubre o ambiente.

Para ambos os casos o estudo dos contaminantes é fator de importância básica. Contaminantes, em geral, são substâncias indesejáveis no ambiente. Seus efeitos podem ser tóxicos quando inalados pelo ser humano, ou podem causar prejuízos em outros processos industriais, como

poeira em instalações de pintura etc. Por razões práticas, a palavra contaminante é utilizada em engenharia quando estuda-se o problema da eliminação de substâncias indesejáveis em processos industriais (VALLE PEREIRA FILHO e MELO, 1992).

6.1.1 Definição e Classificação

Ventilação pode ser definida como a movimentação intencional do ar de forma planejada a fim de atingir um determinado objetivo. Essa movimentação pode ser feita por **meios naturais ou mecânicos**. Deve-se ter em mente que o ar sempre se movimenta da zona de maior pressão para a zona de menor pressão. Portanto, o projeto correto de diferenciais de pressão no sistema é de fundamental importância para o seu funcionamento.

Os sistemas de ventilação se classificam como: Ventilação Geral, natural ou mecânica, que é aquela que ventila o ambiente como um todo, também conhecida como **Ventilação Geral Diluidora (VGD)** e **Ventilação Local Exaustora (VLE)** que retira as substâncias emitidas diretamente do local de geração, conduzindo-os para a atmosfera externa. Os dois tipos são mostrados na Figura 6. 2.

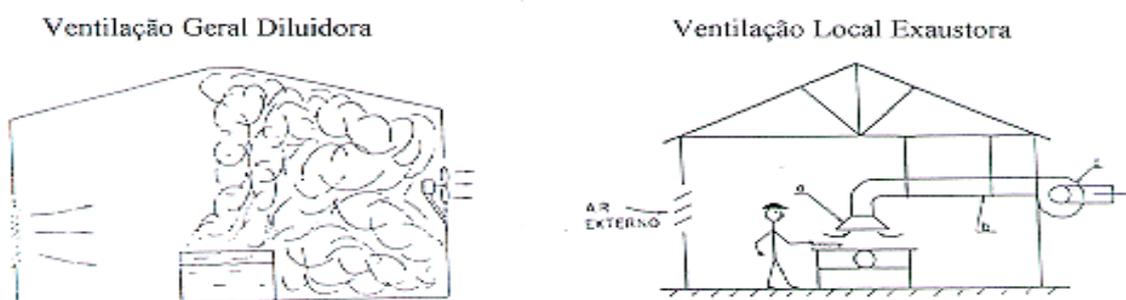


Figura 6. 2 - Diferença entre ventilação geral e ventilação local exaustora.

Fonte: VALLE PEREIRA FILHO e MELO, 1992

6.1.2 Tipos de Poluentes do Ar

As substâncias emitidas nos ambientes de trabalho podem estar na forma de partículas sólidas ou líquidas (aerossóis) ou na forma gasosa (gases e vapores) ou na forma mista. Os aerossóis são sistemas dispersos cujo meio de dispersão é gasoso e cuja fase dispersa consiste de partículas sólidas ou líquidas.

A forma como a substância é emitida é importante do ponto de vista da ventilação e também do ponto de vista toxicológico. Assim, partículas grosseiras (maiores que $40 \mu\text{m}$)² se depositam logo após a emissão e não representam em geral um problema de saúde ocupacional. A inércia das partículas maiores também é um fator importante do ponto de vista aerodinâmico e deve ser levado em consideração quanto do projeto do sistema de captação e transporte.

Dentre as partículas pequenas destacam-se aquelas de diâmetros menores de aproximadamente $10 \mu\text{m}$ que são consideradas as respiráveis. Quanto menor o diâmetro da partícula maior a probabilidade de penetração nas partes mais profundas do aparelho respiratório até causar danos à saúde dependendo evidentemente da toxicidade, quantidade de partículas presentes no fluxo e do tempo de exposição.

² μm = micrometros (1×10^{-6} metros)

6.2 Ventilação geral diluidora

Este tipo de ventilação consiste simplesmente em passar uma corrente de ar externo, não contaminado, através do recinto a ser purificado, desta forma então eliminando substâncias (reduzindo a concentração) indesejáveis. Esse método deve ser utilizado quando existir um número elevado de fontes de contaminantes diversos e em baixas concentrações. O termo diluidora provém do fato de que a adição de mais ar no recinto irá naturalmente diminuir a concentração do contaminante. O uso de ventilação geral diluidora no caso de várias fontes de contaminantes e várias composições é sempre mais econômico. No caso de ser produzido no ambiente, contaminante indesejável, mesmo a concentrações mínimas, o fator econômico deixa de ser o mais importante (VALLE PEREIRA FILHO e MELO, 1992).

O uso de ventilação geral diluidora, quando não há contaminante presente, pode também ser utilizada para retirar calor do ambiente, gerado por irradiação solar ou por processos diversos executados na instalação (VALLE PEREIRA FILHO e MELO, 1992).

A ventilação geral diluidora pode ser usada tanto para ambientes normais como para ambientes industriais. No caso de ambientes normais ela é usada afim de estabelecer condições de conforto ao homem e no ambiente industrial para remover contaminantes, calor ou ambos (VALLE PEREIRA FILHO e MELO, 1992).

Um ser humano em atividade, em geral produz CO_2 pela respiração, odores (gases), fumaça (cigarros) e consome oxigênio. Em geral uma pessoa em condições normais consome $0,89 \text{ ft}^3/\text{h}$, e produz $0,74 \text{ ft}^3/\text{h}$ de dióxido de carbono (CO_2) (2/39). O ar externo a ser fornecido ao ambiente deve ser a quantidade necessária para eliminar o CO_2 produzido, fornecer O_2 e eliminar odores.

A Figura 6. 3 é uma ilustração do processo. O equipamento necessário é basicamente o mesmo. Dois tipos básicos são usados na prática, por insuflamento e por exaustão. A forma mais simples de ventilação geral diluidora é a colocação de ventiladores que renovam o ar externo, e é prática comum em engenharia a estimativa do volume de ar necessário ser feita baseando-se no volume do recinto ambos (VALLE PEREIRA FILHO e MELO, 1992).

Na Figura 6. 3, casos (a) e (b) a ventilação é feita simplesmente por intermédio de ventiladores e a estimativa da quantidade de ar é feita em número de trocas de ar por hora ou por área de piso (metro quadrado). No caso (c) a estimativa da quantidade de ar necessária pode ser feita na base da área de piso, porém, a distribuição do volume de ar deve ser projetada conforme os mesmos procedimentos usados na ventilação local exaustora.

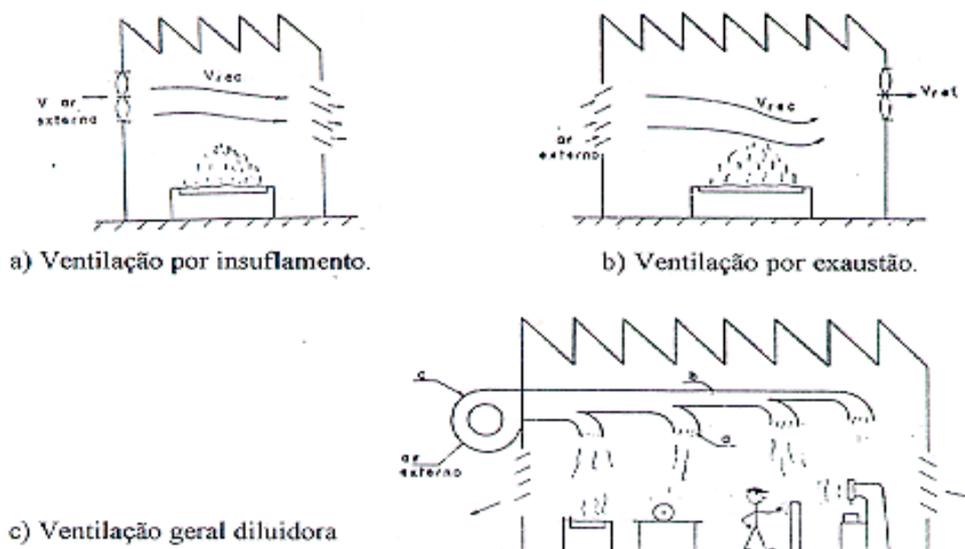


Figura 6. 3 - Esquemas diversos de sistemas de ventilação geral diluidora
Fonte: VALLE PEREIRA FILHO e MELO, 1992

6.2.1 Distribuição do ar no recinto

A simples renovação de ar em um recinto não significa que este tornar-se-á salubre, é necessário que o ar seja distribuído de tal forma que a taxa de contaminante seja a mesma em todos os pontos. O conhecimento da forma como o ar externo, por intermédio da turbulência, mistura-se com o ar interno é de fundamental importância no projeto de sistemas de ventilação⁴.

6.2.2 Limites de Tolerância

Concentração média de substâncias suspensas ou dispersas no ar dentro de um ambiente fechado em um determinado intervalo de tempo e que representa condições para as quais se pode presumir com certa segurança que os trabalhadores possam estar expostos em que ocorra efeito adverso em seus organismos.

Gases tóxicos são aqueles que causam alterações fisiológicas quando em contato com os seres vivos. A extensão e profundidade do efeito estão relacionadas com o tempo de exposição, tipo do gás, partes afetadas, etc. Os mecanismos de ação sobre organismos vivos são variados causando danos ou interferindo com o metabolismo. Em alguns casos os efeitos aparecerão apenas após várias horas, como por exemplo a ação do NO.

Normalmente as quantidades de gás necessárias para intoxicar, prejudicar ou as vezes matar são infinitamente menores que nos casos de sufocação, o que nos leva a definição dos LIMITES DE EXPOSIÇÃO (T.L.V. – Threshold Limit Value).

Os TLV (Threshold Limit Value) são valores assumidos através de experiências da ACGIH - American Conference of Governmental Industrial Hygienists para concentrações máximas de gases tóxicos em ambientes de trabalho, que não prejudiquem pessoas a elas expostas. Estes valores devem ser utilizados apenas como referência.

O TLV refere-se as condições limites de qualidade do ar em ambientes de trabalho e representa os valores sobre os quais acredita-se que a quase totalidade dos trabalhadores possa ser repetidamente exposta, dia após dia, sem efeito adverso. Por causa de grande variação de suscetibilidade individual, uma pequena percentagem destes trabalhadores pode experimentar desconforto com algumas substâncias em concentrações igual ou abaixo do valor limite. O TLV ou TWA (Time Weighted Average) refere-se à concentração média, em tempo, para um dia normal de trabalho (08 horas) ou uma semana (40 horas) (Macyntire, 1990).

O TLV-C (Threshold Limit Value - Short Term Exposure) refere-se ao teto ao qual a concentração não deve exceder, nem instantaneamente - ver Macyntire, 1990, pág. 10.

Atenção especial deve ser dada em recintos em que gases tóxicos são manipulados, especialmente naqueles nos quais os cilindros estejam forçosamente dentro de ambientes fechados - laboratórios por exemplo, recomenda-se:

- mantê-los em capelas com exaustão permanente
- haver renovação forçada de ar no laboratório
- instalar equipamentos de monitorização da atmosfera do recinto agrupados com alarme.

Sabe-se que, para muitos gases, quando o olfato nos indica alguma anormalidade o TLV já foi a muito excedido, o que nos torna a prática de cheirar o vazamento extremamente perigosa.

Considere-se também a existência de gases muito tóxicos e totalmente inodoros como o monóxido de carbono (CO) ou os que entorpecem o sentido do olfato como o sulfeto de hidrogênio (H₂S).

Ver: Concentrações limites : Quadro 6. 1 e Quadro 6. 2

OBS: No Brasil existe a portaria 3214/78 do Ministério do Trabalho, que fixa os limites de tolerância para as substâncias químicas, através dos anexos 11 e 12 da norma regulamentar nº 15 (M.T., 1997)

Quadro 6. 1 - Os TLV e a natureza do dano contra o qual se procura proteger o trabalhador (referência 1)

Coluna 1: unidade em ppm (partes por milhão) quando não-especificada; m.p.p.c.f (milhões de partículas por pé cúbico)

Coluna 2: pele, risco através da pele

Colunas 3, 4, 5, 6, 7: O = olhos; N = nariz; G = garganta; B = brônquios; A = alvéolos; P.S = pressão sanguínea; S.N.C = sistema nervoso central;

G.V = glóbulos vermelhos

Classe do produto químico	Substâncias	1	2	3	4	5	6	7	
		TLV 1969	Pele	Dano mais próximo ao TLV				Dano em níveis diversas vezes acima do TLV	
				Irritação	Narcole	Toxicidade	Outros		
I) Hidrocarbonetos alifáticos	Metano CH ₄	*						Asfixia	
	Etano C ₂ H ₆	*						Asfixia	
	Propano C ₃ H ₈	1000			X				
	Butano C ₄ H ₁₀	*			X				
	G.L.P	1000			X				
	Pentano C ₅ H ₁₂	1000			X				
	Hexano C ₆ H ₁₆	500			X				
	Heptano C ₇ H ₁₆	500		O.N. G	X				
	Octano C ₈ H ₁₈	500		O.N. G				Narcole	
	Etileno CH ₂ = CH ₂	*							Asfixia
	Propileno CH ₃ -CH=CH ₂	*							Asfixia, Narcole
	Butadieno CH ₂ =CH-CH-CH ₂	1000				X			Asfixia, Narcole
	Acetileno CH=CH	*							Asfixia
	Metilacetileno CH ₃ -C=CH	1000		O.N. G	X				
II) Hidrocarbonetos alicíclicos	Ciclo-hexano C ₆ H ₁₂	300			X				
	Metilciclo-hexano CH ₃ C ₆ H ₁₁	500			X				
	Ciclo-hexeno C ₆ H ₁₀	300			X				
	Ciclopentadieno C ₅ H ₆	75			X				
	Terebentina C ₁₀ H ₁₆	100		O.N. G					Narcole, rins

Quadro 6. 2 - Interpretação de alguns threshold limit values (TLV) propostos em 1969 (MESQUITA et al., 1988 - pág.71)

Substâncias	TLV ppm	Mais importante efeito de inalação	Efeitos esperados da inalação diária (8/hdia)		
			TLV	2 X TLV	10 X TLV
Aldeído acético	200	Irritação dos brônquios e dos pulmões; possíveis danos aos pulmões	Irritação marcante dos olhos, nariz e garganta odor perceptível	Nenhum	Irritação dos brônquios e dos pulmões; danos aos pulmões
Acetona	1000	Narcole	Alguma irritação dos olhos, nariz e garganta narcole definida e odor perceptível	Nenhum	Narcole marcante; tontura e até inconsciência
Acrilonitrila	20	Toxicidade aguda	Nenhum	Odor perceptível	Pequenos sintomas tóxicos
Anilina	5	Toxicidade aguda	Nenhum	Cianose pode ser evidente	Cianose pode ser marcante; pequenos sintomas tóxicos
diclorodifluor-metano	1000	Asfixia em altas concentrações	Nenhum	Nenhum	Nenhum
Níquelcarbonila	0,001	Câncer e irritação dos brônquios e dos pulmões possíveis danos aos pulmões	Nenhum	Nenhum	Nenhum
Quinona	0,1	Pigmentação dos olhos	Nenhum	Pigmentação dos olhos	Perda da acuidade visual
Fumos metálicos	5 mg/m ³	Febre-do-fumo	Febre-do-fumo	Febre-do-fumo e alguma irritação dos olhos, nariz e garganta	Irritação dos brônquios e dos pulmões; possíveis danos aos pulmões
Etilenodiamina	10	Alergia e irritação dos brônquios e dos pulmões possíveis danos aos pulmões	Odor perceptível	Alguma irritação dos olhos, nariz e garganta	Irritação severa dos olhos; o suficiente para requerer tratamento médico

THRESHOLD LIMIT VALUES (TLV)

Os threshold limit values (TLV), anualmente publicados pela American Conference of Governmental Industrial Hygienists, referem-se a concentrações de substâncias suspensas ou dispersas no ar dos ambientes de trabalho e representam condições sob as quais se supõe que quase todos os trabalhadores possam estar expostos repetidamente, dia após dia, sem efeito adverso. Devido à suscetibilidade individual, contudo, uma pequena porcentagem dos trabalhadores pode sentir desconforto a algumas substâncias em concentrações iguais ou abaixo dos TLV, e uma menor porcentagem pode ser afetada mais seriamente, por agravamento de uma condição pré-existente, ou pelo desenvolvimento de uma doença ocupacional (MESQUITA et al., 1988 - pág.71).

6.2.3 Aplicação da ventilação geral diluidora com objetivos de atender as necessidades de conforto

O cálculo da quantidade de ar é feito de três formas (VALLE PEREIRA FILHO e MELO, 1992):

a) Calculando-se o volume de ar por pessoa para remover odores – Quadro 6. 3.

Quadro 6. 3 - Ar externo necessário (ABNT)

Ar externo necessário em m ³ /h pessoa		
Por pessoa	Preferível	Mínimo
Não fumando	13	8
Fumando	50	40

b) Calculando-se a quantidade de ar para produzir correntes de ar com velocidades pré-estabelecidas em determinados pontos e melhorar o conforto térmico (1,5 a 15 m/min ABNT)

c) Calculando-se o volume de ar na base de renovações totais de ar do recinto – **Quadro 6. 4.**

Quadro 6. 4 - Tocas de ar recomendadas (MESQUITA et al., 1988)

Tipo de sala	Minutos por troca de ar	Trocas de ar por hora
Auditórios e salas de reuniões	5-10	6-12
Padarias	3	20
Salas de caldeira	1-5	12-60
Cabinas	5	12
Salas de jantar	5-15	4-12
Salas de tingimento	5-10	6-12
Fundição	5-15	4-12
Garagens	5	12
cozinhas	2-3	20-30
Laboratórios	3-10	6-20
Lavanderias	5	12
Oficinas	15-20	6-12
Escritórios	5-10	6-12
Túneis	1-10	6-60
Compartimentos de carga de navio	10	6

Exemplo:

Num escritório de 30x10x4m, com 30 pessoas. Qual o volume de ar necessário para ventilá-lo?

1ª maneira:

A Tabela 3 com todas as pessoas fumando recomenda 50 m³/h pessoa o que seria pouco provável, um valor de 30 m³/h pessoa é um valor razoável.

$$30 \text{ m}^3/\text{h pessoa} \times 30 \text{ pessoas} = 900 \text{ m}^3/\text{h}$$

2ª Maneira:

A Tabela 4 recomenda 10 trocas/hora o que nos dá:

$$\text{Volume} = 30 \times 10 \times 4 = 1200 \text{ m}^3$$

$$\text{Volume de ar necessário} = 10 \times 1200 \text{ m}^3 = 12000 \text{ m}^3/\text{h}$$

3ª Maneira:

Baseado na velocidade de 1,5 a 15 m/min

$$\text{Área de passagem do ar} = 4 \times 10 = 40 \text{ m}^2$$

Velocidade calculada pelo volume de ar encontrado na 1ª maneira.

$$V = \frac{900}{40} = 22,5 \text{ m/h} = 0,37 \text{ m/min}$$

que deu menor que a mínima.

Aqui pode-se escolher um valor da velocidade, como por exemplo $V = 2 \text{ m/min}$ e com este valor determinar a vazão, com

$$V = \frac{Q}{A} \quad Q = V \times A$$

$$Q = 2 \text{ m/min} \times 40 \text{ m}^2$$

$$Q = 80 \text{ m}^3/\text{min} = 4800 \text{ m}^3/\text{h}$$

Que é maior que 900 e menor que 12000 m^3/h sendo portanto um valor aceitável.

Entretanto, um valor da ordem de 7200 m^3/h atende todas as condições mínimas, sendo o mais indicado.

6.2.4 VENTILAÇÃO GERAL DILUIDORA PARA A DISPERSÃO DE CONTAMINANTES INDUSTRIAIS

TAXA DE VENTILAÇÃO - GASES E VAPORES (MESQUITA et al., 1988, pág 179; MACINTYRE, 1990, pág.107)

$$Q_N = G \cdot \frac{387}{M} \cdot \frac{10^6}{LT} \cdot k$$

onde, Q_N - vazão necessária ($\text{pé}^3/\text{min}$)

LT - limite de tolerância (ppm em volume) - concentração desejada

M - massa molecular (lb/lbmol)

G - taxa de geração da substância que se quer diluir (lb/min)

387 - volume de 1 lb mol de qualquer gás a 70 °F a 1 atm (volume molecular)

Em unidades métricas:

$$Q_N (\text{m}^3 / \text{h}) = \frac{G (\text{kg} / \text{h})}{M (\text{kg} / \text{kgmol})} \cdot 24,1 \cdot \frac{10^6}{LT (\text{ppm})} \cdot k$$

onde, $1,5 \leq K \leq 10$ (ref..6/108 ou 3/180) – Tabela 5

Quadro 6. 5 – Fator de segurança K

Tipo de entrada e saída de ar	Substância altamente tóxica	Substância moderadamente tóxica	Substância levemente tóxica
Teto perfurado para entrada de ar	NR (não recomendada)	3	1,5
Bons difusores para entrada de ar	NR	3-6	2-3
Janelas para entrada de ar e exaustores de parede para saída do ar	NR	6-10	3-6

Considera-se uma substância altamente tóxica quando $TLV \leq 100$ ppm, moderadamente tóxica quando $100 < TLV < 500$ ppm e levemente tóxica quando $TLV \geq 500$ ppm.

Não se recomenda ventilação geral diluidora para substâncias altamente tóxicas.

Devem-se usar valores superiores de K quando a taxa de geração da substância é variável.

Fonte: MESQUITA et al., 1988, pág 180; MACINTYRE, 1990, pág.108

Seja o exemplo: Um adesivo contendo 60% de tolueno como solvente é aplicado numa operação industrial à base de 1,5 l/h. Determinar a taxa de ventilação necessária para diluir o solvente à nível do TLV.

Dados $GE = 0,87$ $M = 92$

R:

60% de Tolueno \Rightarrow 1,5 l/h
 TLV Tolueno \Rightarrow 200 ppm (MESQUITA et al., 1988, pág 75)
 $GE = 0,87$ \Rightarrow gravidade específica - Quadro 6. 6

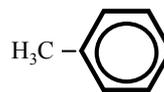
Considerando o caso de bons difusores: $K = 6 \Rightarrow$ subst. moderadamente tóxica

$$GE = \frac{\rho_{substancia}}{\rho_{subst.padrao}} = \frac{\rho_{Tolueno}}{\rho_{agua}}$$

$$\rho_{tolueno} = 0,87 \times 1 \text{ Kg/l} = 0,87 \text{ Kg/l}$$

Taxa de geração: $G = 1,5 \text{ l/h} \times 0,6 \times 0,87 \text{ Kg/l} = 0,783 \text{ Kg/h}$

Tolueno



$$QN = 0,783/92 \times 24,1 \times 10^6/200 \times 6 = 6153 \text{ m}^3/\text{h}$$

OBS: QN ou taxa de ventilação é a vazão de ar que o sistema de ventilação geral diluidora introduz ou retira de um ambiente.

Quadro 6. 6 - Constantes físicas de algumas substâncias

Substância	Fórmula	Peso molecular	Gravidade específica	Limites de explosividade, % em volume	
				Inferior	Superior
Gasolina	$C_nH_{(2n+2)}$	86	0,660	1,3	6,0
Gás clorídrico	HCl	36,47	1,268	—	—
Gás cianídrico	HCN	27,03	0,688	5,6	40,0
Gás fluorídrico	HF	20,01	0,987	—	—
Heptano	$CH_3(CH_2)_5CH_3$	100,20	0,684	1,1	6,7
Hexano	$CH_3(CH_2)_4CH_3$	86,17	0,660	1,18	7,4
Iodo	I_2	253,82	4,93	—	—
Isopropil-butano	$CH_3COCH(CH_3)_2$	86,13	0,803	—	—
Isopropanol	$(CH_3)_2CHOH$	60,09	0,785	2,02	11,60
Metilacetona	$CH_3COC_2H_5$	72,10	0,805	1,81	9,50
Monóxido de carbono	CO	28,10	0,968	12,5	74,2
Metanol	CH_3OH	32,04	0,792	6,72	36,5
Metilcelosolve	$HOCH_2CH_2OCH_3$	76,06	0,965	—	—
Metilcelosolve (acetato)	$CH_3OCH_2CH_2OOCCH_3$	118,13	1,007	—	—
Metilcicloexano	$CH_2(CH_2)_5H_2$	98,18	0,769	1,15	—
Metilcicloexanol	$CH_2(CH_2)_5CHOH$	114,18	0,934	—	—
Metilcicloexanona	$CH_2C_5H_9CO$	122,17	0,925	—	—
Metilisobutilcetona	$CH_3COC_4H_9$	100,16	0,801	—	—
Monocloro-benzeno	C_6H_5Cl	112,56	1,107	—	—
Monofluór-triclorometano	Cl_3CF	137,38	1,494	—	—
Mononitrotolueno	$CH_3C_6H_4NO_2$	137,13	1,163	—	—
Metilpropanona	$CH_3COCH_2C_2H_5$	86,13	0,816	1,55	8,15
N-butanol	$C_4H_9CH_2OH$	74,12	0,810	1,45	11,25
N-acetato de butila	$CH_3CO_2C_4H_9$	116,16	0,882	1,39	7,55
Nafta	$C_6H_4(CH_3)_2$	106,16	0,85	—	—
Níquel-carbonila	$Ni(CO)_4$	170,73	1,31	—	—
Nitrobenzeno	$C_6H_5NO_2$	123,11	1,205	1,8	—
Nitroetano	$CH_3CH_2NO_2$	75,07	1,052	—	—
Nitroglicerina	$C_3H_5(ONO_2)_3$	227,09	1,601	—	—
Nitrometano	CH_3NO_2	61,04	1,130	—	—
2-Nitropropano	$CH_3CHNO_2CH_3$	89,09	1,003	—	—
o-Diclorobenzeno	$Cl_2C_6H_4$	147,01	1,305	—	—
Óxido de etileno	CH_2CH_2O	44,05	0,887	3,0	80,0
Óxidos de nitrogénio	NO	30,0	1,0367	—	—
	N_2O	44,02	1,53	—	—
	N_2O_3	76,02	1,447	—	—
	NO_2	46,01	1,448	—	—
	N_2O_5	108,02	1,642	—	—
Octano	$CH_3(CH_2)_6CH_3$	114,22	0,703	0,95	3,2
Ozona	O_3	48	1,658	—	—
Pentano	$CH_3(CH_2)_4CH_3$	72,15	0,626	1,4	7,8
Propano	$CH_3CH_2CH_3$	44,09	1,554	2,12	9,35
Silicato de etila	$(C_2H_5)_2SiO_4$	208,30	0,933	—	—
Seleneto de hidrogénio	H_2Se	80,98	2,12	—	—
Sulfeto de hidrogénio	H_2S	34,08	1,189	4,3	45,5
Tetracloreto de carbono	CCl_4	153,84	1,595	—	—
Tricloreto de fósforo	PCl_3	137,35	1,574	—	—
1,1,2,2-Tetracloroetano	$Cl_2CHCHCl_2$	167,86	1,588	—	—
Tetracloroetileno	$Cl_2C=CCl_2$	165,85	1,624	—	—
Tolueno	$C_6H_5CH_3$	92,13	0,866	1,27	6,75
Toluidina	$CH_3C_6H_4NH_2$	107,15	0,999	—	—
Tricloroetileno	$ClCHCl_2$	131,40	1,466	—	—
Terebintina	$C_{10}H_{16}$	136,23	—	0,8	—
Xileno	$C_6H_4(CH_3)_2$	106,16	0,881	1,0	6,0

Fonte: ASSUNÇÃO, et al. (1989), pág.11 e 58

Exemplo de um bar esfumaçado...

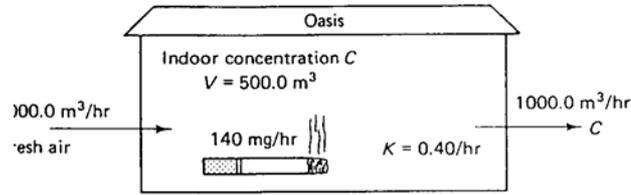


Figura 6. 4 - Fumaça de cigarro num bar

noky Bar

A bar with volume 500.0 m³ has 50 smokers in it, each smoking two cigarettes per hour (see Figure 1.5). An individual cigarette emits, among other things, about 1.40 mg of formaldehyde (HCHO). Formaldehyde converts to carbon dioxide with a reaction rate coefficient $K = 0.40/\text{hr}$. Fresh air enters the bar at the rate of 1000.0 m³/hr and stale air leaves at the same rate. Estimate the steady-state concentration of formaldehyde in the air, assuming complete mixing. At 25 °C and 1 atm of pressure, how does the result compare with the threshold for eye irritation of about 0.05 ppm?

Ref.
Introduction to
environmental engineering
and science, 1991

Solution The rate at which formaldehyde enters the bar is

$$\text{Input rate} = 50 \text{ smokers} \times 2 \text{ cigs/hr} \times 1.40 \text{ mg} = 140.0 \text{ mg/hr}$$

Since complete mixing is assumed, the concentration of formaldehyde C in the bar is the same as the concentration in the air leaving the bar, so

$$\text{Output rate} = 1000.0 \text{ m}^3/\text{hr} \times C \text{ (mg/m}^3\text{)} = 1000.0C \text{ mg/hr}$$

And the decay rate is

$$\text{Decay rate} = KCV = (0.40/\text{hr}) \times (C \text{ mg/m}^3) \times (500.0 \text{ m}^3) = 200.0 C \text{ mg/hr}$$

So, from (1.15),

$$\text{Input rate} = \text{Output rate} + \text{Decay rate}$$

$$140.0 = 1000.0C + 200.0C = 1200.0C$$

$$C = 0.117 \text{ mg/m}^3$$

We will use (1.7) to convert mg/m³ to ppm. The molecular weight of formaldehyde is 30, so

$$C(\text{ppm}) = \frac{C(\text{mg/m}^3) \times 24.45}{\text{mol wt}} = \frac{0.117 \times 24.45}{30} = 0.095 \text{ ppm}$$

This is more than enough to cause eye irritation.

6.2.5 VENTILAÇÃO GERAL PARA CONTROLE DE SUBSTÂNCIAS EXPLOSIVAS

Certos produtos químicos correm o risco de explosão ou inflamação em determinadas concentrações. Para evitar que isto ocorra realiza-se um estudo de ventilação por diluição.

$$Q_N (m^3 / h) = \frac{G (kg / h)}{M} \cdot 24,1 \cdot \frac{10^2}{LIE} \cdot \frac{fs}{B} \quad (\text{MESQUITA et al., 1988, pág 181})$$

onde,

LIE - limite inferior de explosividade (%)

fs - fator de segurança: fs = 4 para 25% do LIE

fs = 5 para 20% do LIE

B - fator que leva em consideração que o LIE

diminui com o aumento da temperatura:

$$B = 1 \quad p/ T < 120^\circ\text{C}$$

$$B = 0,7 \quad p/ T \geq 120^\circ\text{C}$$

Ver tabelas LIE : ver Quadro 6. 6

Exemplo: (ASSUNÇÃO et al.,1989, p.62)

Quatro litros de tolueno evaporam numa operação de secagem de adesivo a 90°C. Observações mostram que a maior parte do solvente evapora nos primeiros 10 minutos do ciclo de secagem. Determinar a taxa de ventilação necessária para manter a concentração abaixo de 20% do LIE. Dados: LIE = 1,27%; GE = + 0,87 ; M = 92

R. 4 l de Tolueno evaporam a 90°C

$$G = 4 \text{ l} / 10 \text{ min.} \times 60 \text{ min./h} \times 0,87 \text{ Kg/l} = 20,88 \text{ kg/h}$$

$$QN = 20,88/92 \times 24,1 \times 10^2/1,27 \times 5/1$$

$$QN = 2153 \text{ m}^3/\text{h} \Rightarrow \text{ a atm padrão (21}^\circ\text{C e 1 ATM)}$$

$$QN(90^\circ\text{C}) = 2153 \times (273 + 90)/(273 + 21) \Rightarrow QN = 2658 \text{ m}^3/\text{h}$$

6.3 VENTILAÇÃO LOCAL EXAUSTORA

6.3.1 Introdução

A ventilação local exaustora capta os poluentes diretamente na fonte evitando desta forma a dispersão dos mesmos no ambiente de trabalho. Desta forma a quantidade de ar externo envolvida no processo é pequena em comparação com o processo de ventilação natural (2/18). Pode-se deduzir portanto que esse tipo de ventilação é mais adequado à proteção da saúde do trabalhador. Conforme apresentado na Figura 6. 5 um sistema de ventilação local exaustora é composto de (ASSUNÇÃO, 1989):

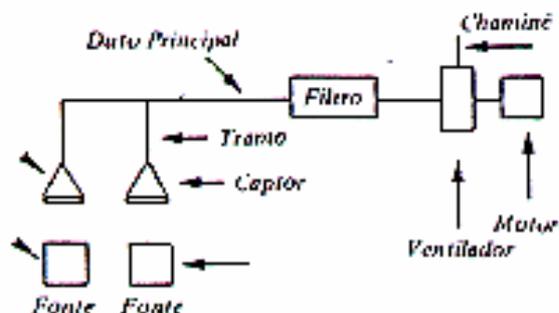


Figura 6. 5 - Componentes de sistemas de ventilação local exaustora

CAPTORES - os captores são os pontos de entrada dos poluentes mais gás carreador (em geral o ar) no sistema.

DUTOS - têm a função de transportar os poluentes. Podem ser divididos em tramos, duto principal e chaminé.

FILTRO - o filtro, que é o equipamento destinado à limpeza do ar exaurido antes de seu lançamento na atmosfera inclui tudo que é necessário para o seu funcionamento, como por exemplo, trocadores de calor e pré-filtragem (pré-coletor). A presença do filtro no sistema dependerá das normas locais de controle de poluição.

CONJUNTO VENTILADOR-MOTOR - o conjunto motor-ventilador fornece a energia necessária para movimentar o fluido e vencer todas as perdas de carga do sistema.

CHAMINÉ - a chaminé é parte integrante do sistema de transporte dos poluentes e é a parte final do sistema, cuja finalidade é o lançamento do gás transportador mais emissão residual na atmosfera.

O contaminante produzido na operação é capturado no captor e conduzido pelo tramo e duto e atirado no exterior do recinto.

O projeto de um sistema de ventilação local exaustor depende da estimativa da vazão de ar necessária para a retirada do contaminante. A estimativa desta quantidade de ar e da velocidade da corrente irá fornecer a área de entrada do captor, seção do duto e potência do ventilador. Conforme será visto, a estimativa da quantidade de ar necessária a retirada de certo contaminante do ambiente, depende consideravelmente do tipo do mesmo (VALLE PEREIRA FILHO e MELO, 1992, pág 18).

O adequado projeto, instalação e funcionamento de cada uma das partes é importante para a eficiência e eficácia do sistema como um todo influenciando, portanto, a performance final do mesmo.

OBS: Legislação Ambiental do Estado de São Paulo - Decreto lei nº8468 de 88/9/76

Seção III - Dos padrões de condicionamento e projeto para fontes estacionárias :

Art.35 (p.16) - "Toda fonte de poluição do ar deverá ser provida de sistema de ventilação local exaustora e o lançamento na ATM somente poderá ser realizado através de chaminé, salvo quando especificado diversamente neste Regulamento ou normas dele decorrentes".

6.3.2 Captação dos Poluentes

A captação é um ponto fundamental do sistema. Este não atingirá seus objetivos se não houver uma captação adequada dos poluentes. No projeto deste componente estão envolvidos os seguintes fatores: escolha do tipo e geometria dos captosres: posicionamento do captor em relação à fonte: velocidade de captura requerida para captar o poluente no ponto mais desfavorável; determinação da vazão de captação; requisitos de energia do captor.

Tipos de captosres : Quanto à forma e posição relativa à fonte, os captosres são usualmente classificados em:

Captosres Enclausurantes - São os captosres que envolvem a fonte de poluição, ou seja, a emissão dos poluentes acontece dentro do captor. Neste tipo de captor existem aberturas pequenas (frestas) para entrada do ar de exaustão - Figura 6. 6.

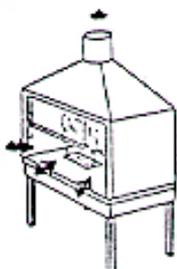


Figura 6. 6 - Captor Enclausurante

Captosres Tipo Cabine - São captosres similares aos enclausurantes mas, que se diferenciam pela maior área aberta para entrada ar de exaustão. Exemplo típico são as cabines com exaustão utilizadas em operações de pintura a revólver - Figura 5.

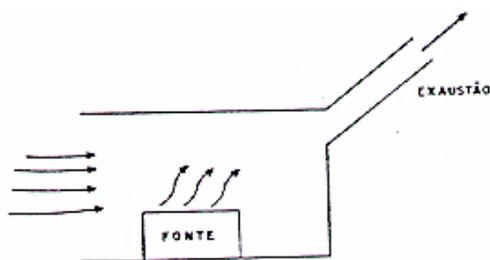


Figura 6. 7 – Captor tipo cabine.

Captosres Externos - São os captosres posicionados externamente à fonte. Esses captosres devem induzir, na zona de emissão dos poluentes, correntes de ar em velocidade suficiente para a captação e condução dos poluentes para dentro do captor. Podem ser do tipo lateral, superior ou inferior. O captor tipo coifa é um exemplo típico de captor externo superior – Figura 6. 8 e Figura 6. 9.

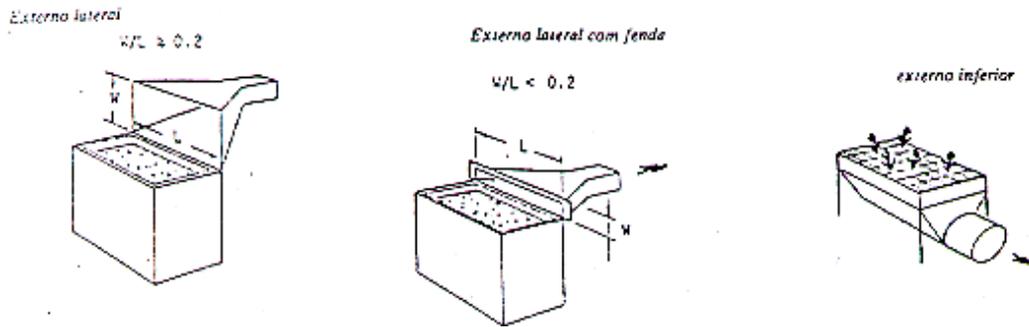
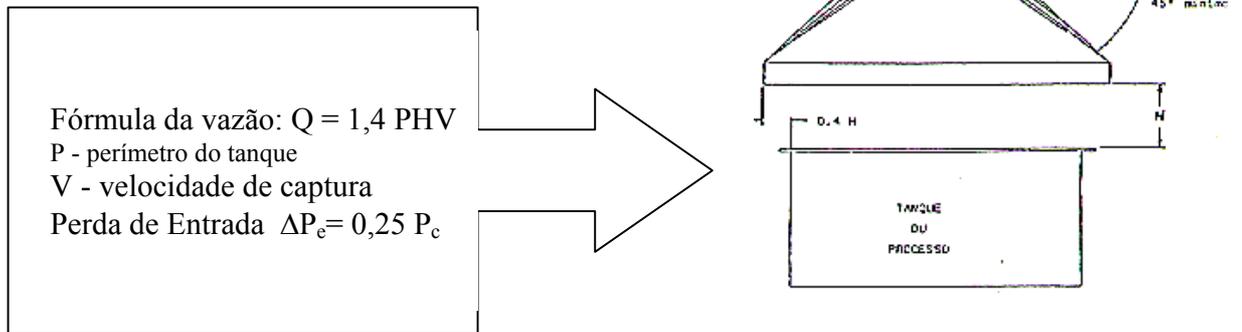


Figura 6. 8 – Captor lateral tipo tanque.

Figura 6. 9 - Captor Tipo Coifa - Não deve ser usado quando o material é muito tóxico e o operário precisa curvar-se sobre o tanque.



Captorees Receptores - São os captorees colocados estrategicamente no sentido de movimentação dos poluentes, de forma a receber naturalmente o fluxo de poluentes induzido pela própria operação poluidora, como por exemplo os gases quentes de fornos (Figura 6. 10) e as partículas geradas na operação de esmerilhamento.

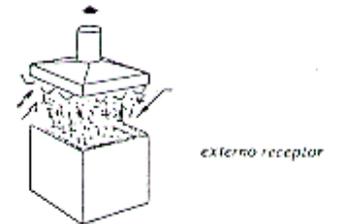


Figura 6. 10 – Captor receptor

A seleção do tipo de captor ideal para uma determinada fonte de poluidora dependerá do tipo de fonte, toxicidade do poluente emitido, restrições de espaço, condições operacionais, etc. Deve-se ter como regra geral que o melhor captor é aquele que capta com a eficiência desejada, não ocasione problemas para a operação da fonte e para a movimentação de pessoas, materiais e equipamentos na área, que apresente a menor perda de carga e que necessite menor vazão de captação, sendo os dois últimos fatores importantes sob o ponto de vista de custo do sistema e custo operacional (ASSUNÇÃO, 1989).

6.3.3 Alguns Aspectos Importantes no Projeto e Localização do Captor

O captor deve ser colocado o mais próximo possível da fonte poluidora. Isso promove melhor captação a uma vazão menor (menor custo operacional). Na Figura 6. 11 está mostrada a diferença de vazão para o caso de captores localizados a distância x e $2x$ em relação à fonte. A vazão em geral varia com o quadrado da distância portanto, no caso da distância $2x$ a vazão requerida será o quádruplo em relação à distância x . Ressalte-se ainda que, quanto maior for a distância do captor à fonte maior será a possibilidade de ação de correntes transversais de ar (vento) existentes no ambiente que agirão no sentido de prejudicar o encaminhamento dos poluentes para o captor, necessitando, portanto, de velocidade de captura mais alta, aumentando em consequência à vazão necessária a uma boa captação (ASSUNÇÃO, 1989).

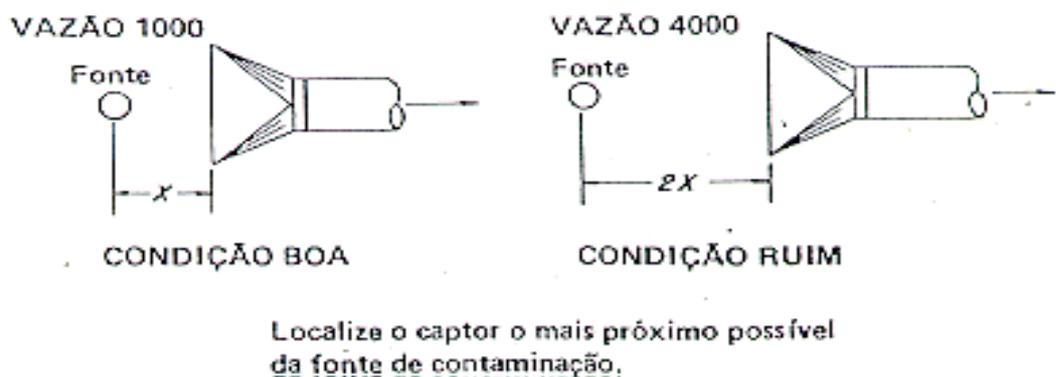
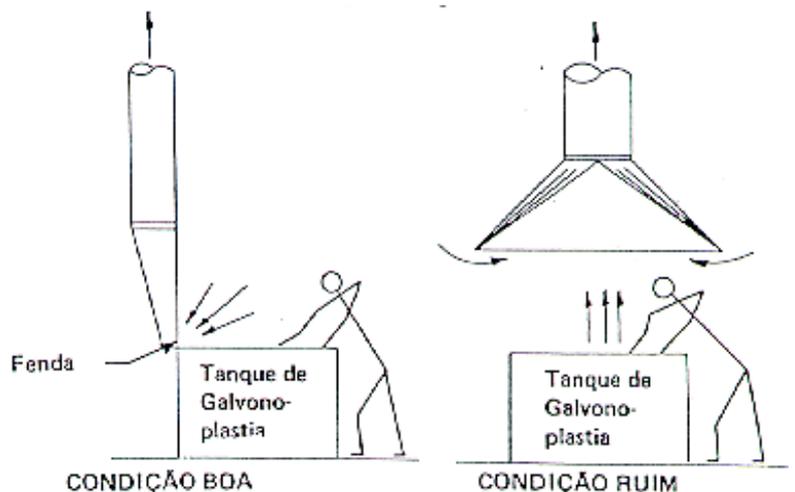


Figura 6. 11 - Influência da distância na vazão de exaustão.

A direção do fluxo de poluentes captados pelo sistema de exaustão em relação ao operador da fonte é importante do ponto de vista de proteção à exposição a altas concentrações. A Figura 6. 11 mostra a diferença da direção do fluxo de ar no caso de captores laterais e captores tipo coifa. O fluxo de ar induzido, ainda sem os poluentes, no caso do captor lateral, passa primeiro pela zona respiratória do operador, arrasta os poluentes e então se dirige para o captor.

No caso de coifas, o operador pode ficar sujeito a altas concentrações de poluentes ao se curvar para retirada ou colocação de peças no tanque, por exemplo (ASSUNÇÃO, 1989).

Figura 6. 12 - Influência da direção do fluxo do ar na vazão de exaustão.



O enclausuramento da fonte é um fator importante tanto para reduzir a vazão de exaustão como também para melhorar a eficiência de captação. Quanto mais aberta a área entre o captor e a fonte maior a possibilidade de ação de correntes de ar (vento) que arrastarão os poluentes para longe do captor impedindo a sua captação. O enclausuramento age de duas formas na redução da vazão de captação: uma na exigência de menores velocidades de captura e a outra na diminuição da área aberta. Como a vazão necessária é proporcional à velocidade de captura e à área aberta, verifica-se a importância de adotar o procedimento da limitação de áreas abertas. A colocação de anteparos para diminuir ou impedir a ação dos ventos é uma medida barata e que muitas vezes pode ser adotada quando não for possível enclausurar a fonte. Esses aspectos estão mostrados na Figura 6. 13 (ASSUNÇÃO, 1989).

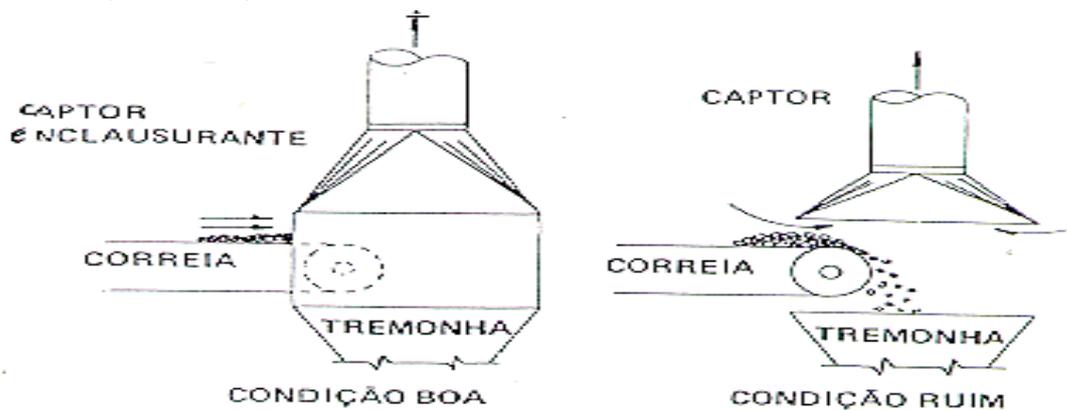


Figura 6. 13 - Influência do enclausuramento na captação.

A crença existente de que os gases mais densos que o ar sempre se dirigem para o solo não é verdadeira no caso de concentrações usuais em ambientes de trabalho. Os gases e vapores emitidos no ambiente de trabalho se misturam com o ar e essa mistura passa a se comportar como um todo, devendo então ser considerada a densidade da mistura para os projetos de ventilação. Somente nos casos de altas emissões de gases ou vapores mais densos que o ar é que consideraríamos a localização dos captores mais próximos ao solo para evitar incêndio ou explosão. Essa condição em geral só ocorre em casos de vazamentos acidentais. A Figura 6. 14 ilustra essa situação (ASSUNÇÃO, 1989).

Em higiene industrial, a densidade da mistura de solventes não é muito diferente da do ar. Exaustão no solo só para proteção contra incêndio ou explosão. Exemplo:

- Densidade do Ar = 1,0
- Densidade do Vapor de Amilacetato 100 = 4,49
- Densidade do Limite Inferior da Explosividade = 1,038
- Densidade da Mistura ao nível do TLV = 1,0003.

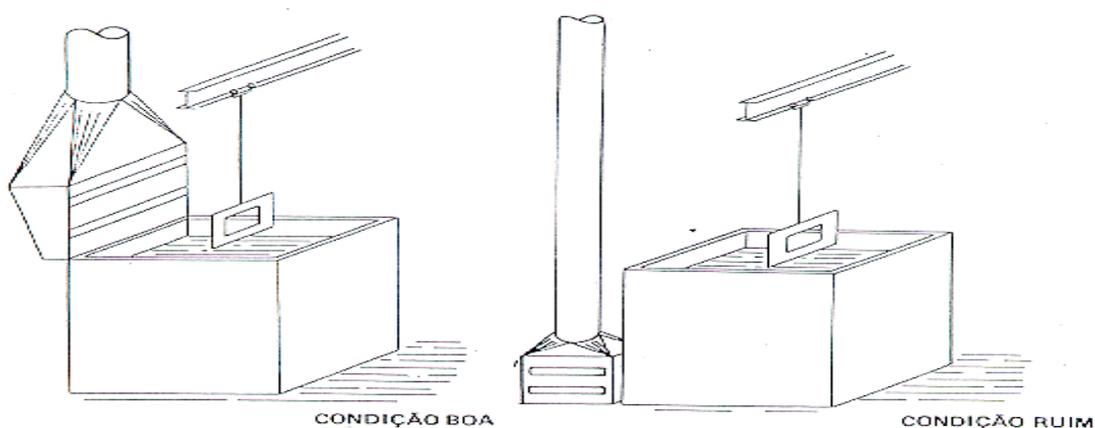


Figura 6. 14 -Influência da densidade do poluente na localização do captor.

6.3.4 Velocidade de Captura

A velocidade de captura é a velocidade que deve ter o ar na região estabelecida de forma a captar os poluentes conduzindo-os para dentro do captor. Se o poluente emitido no ponto mais desfavorável for captado, então todos os demais serão captados.

Em ventilação também se utiliza o termo “velocidade de controle” que no caso de captores externos é a própria velocidade de captura. No caso de captores tipo enclausurante ou tipo cabine, a velocidade de controle pode ser entendida como a velocidade necessária para evitar a saída dos poluentes do captor já que o captor envolve a fonte.

A velocidade de captura requerida para um determinado caso depende do tipo de captor, da velocidade de emissão, da toxicidade do poluente, do grau de movimentação do ar no ambiente (correntes transversais), do tamanho do captor e da quantidade emitida.

O Quadro 6. 7 mostra valores usuais de velocidades de captura para várias condições de dispersão e de correntes transversais do ar no ambiente, mostrando também alguns exemplos típicos.

6.3.5 Vazão de Exaustão

A vazão de exaustão representa o volume de ar que deve ser movimentado para captar uma determinada massa ou volume de poluentes emitidos por uma fonte poluidora. Cada conjunto fonte-captador exige uma determinada vazão de exaustão. A vazão total a ser movimentada será a somatória das vazões exigidas em cada captor. Os seguintes requisitos devem ser atendidos pela vazão de exaustão:

- Deve captar praticamente a totalidade dos poluentes emitidos;
- Não deve interferir com processos e operações, como por exemplo o arraste de matérias-primas e produtos, diminuição da temperatura dos equipamentos e processos etc.;
- Deve ser uma vazão econômica ou seja, deve ser a mínima necessária para atender os requisitos acima.

A fórmula geral para o cálculo da vazão é dada por:

$$Q = A_c.V_c$$

onde: Q é a vazão necessária num determinado captor: Ac é a área da superfície de controle e Vc é a velocidade do ar na superfície de controle necessária para captar os poluentes e conduzi-los ao sistema de exaustão.

Quadro 6. 7- Valores usuais de velocidades de captura

CONDIÇÕES DE DISPERSÃO DO POLUENTE	EXEMPLOS	VELOCIDADE DE CONTROLE (M/S)
Emitindo praticamente sem velocidade em ar parado	Evaporação de tanques, desengraxe, etc.	0,25 - 0,5
Emitido a baixa velocidade em ar com velocidade moderada	Cabines de pintura, enchimento de tanques de armazenagem (intermitente), pontos de transferência de transportadores de baixa velocidade, solda, deposição eletrolítica, decapagem.	0,5 - 1,0
Grande geração em zona de ar com velocidade alta	Enchimento de barris, carga de transportador	1,0 - 2,5
Emitido com alta velocidade inicial em zona de ar com velocidade alta.	Esmeris, jateamento com abrasivos	2,5 - 10,0

NOTA: Em cada categoria a escolha dos valores na faixa mostrada depende de diversos fatores, a saber:

LIMITE INFERIOR DA FAIXA

1. Ambiente sem corrente de ar ou favorável à captura
2. Poluente de baixa toxicidade
3. Intermitente, baixa emissão
4. Captor grande - grande vazão de ar.

LIMITE SUPERIOR DA FAIXA

1. Existência de corrente de ar
2. Poluente de alta toxicidade
3. Alta emissão
4. Captor pequeno - somente controle local

No caso de captores enclausurantes a superfície de controle é a área das aberturas (frestas). No captor tipo cabine a superfície de controle é a área da face da cabine mais qualquer área aberta que possa existir nas laterais da mesma. Nesses casos é fácil visualizar a superfície de controle através da qual se impõe uma determinada velocidade de controle e determina-se a vazão.

No caso de captores externos tem-se que ter um certo volume de ar passando pelo ponto mais desfavorável de emissão de forma a capturar e arrastar os poluentes para o captor, conforme ilustrado na

Figura 6. 15. Nesse caso a superfície de controle não está fisicamente delimitada. Se considerarmos uma superfície de controle imaginária na qual o ar, em todos os pontos possui a mesma velocidade e se houver condições de determinar a área dessa superfície podemos então determinar a vazão se aplicarmos nessa área a velocidade de captura necessária.

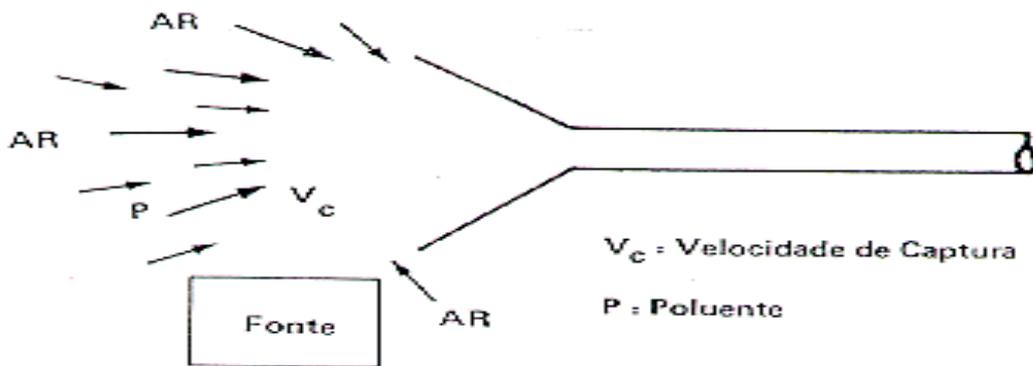


Figura 6. 15 - Fluxo de ar e velocidade de captura para captadores externos

A vazão para captadores externos é baseada em dados experimentais de determinação da área da superfície de controle, como por exemplo os estudos desenvolvidos por Dalla Valle; em estudos teóricos como os de Hemeon; e principalmente os dados práticos existentes para vários processos, operações e equipamentos em especial aqueles da publicação INDUSTRIAL VENTILATION, da ACGIH - American Conference of Governmental Industrial Hygienists.

Para exemplificar vamos mostrar o modelo matemático desenvolvido por Dalla Valle para a área da superfície de controle para captadores de abertura circular ou retangular. Consideremos um ponto localizado a uma distância x ao longo do eixo de um captador com ar penetrando em sua face com velocidade V_f . Segundo Dalla Valle, nessas condições a área da superfície de controle que passa pelo ponto x é dada por:

$$A_c = 10x^2 + A_f \text{ (para captor sem flange)}$$

$$A_c = (10x^2 + A_f) \cdot 0,75 \text{ (para captor com frange)}$$

onde A_f é a área da face do captador.

As fórmulas de Dalla Valle são válidas somente para distâncias x menores ou iguais a $1,5d$, onde d é o diâmetro da face do captador.

Deve-se ressaltar que no caso de exaustão a velocidade do ar cai rapidamente à medida que se afasta da face do captador. Em geral a velocidade num ponto situado a uma distância igual a 1 diâmetro da face do captador é de 10% da velocidade da face do captador.

No caso de sopro (jato), a velocidade cai menos rapidamente atingindo o valor 10% da velocidade da face a distâncias de aproximadamente 30 diâmetros da face do captador.

A Figura 6. 16 mostra diversos tipos de captadores e respectivas fórmulas para cálculo da vazão de exaustão.

Vazão insuficiente significa captação deficiente e, portanto, maior poluição do ambiente de trabalho. A Figura 6. 17 dá uma visão do que ocorre quando a vazão é insuficiente.

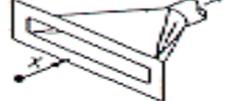
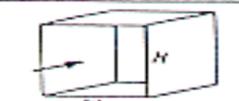
TIPO/CAPTOR	DESCRIÇÃO	RAZÃO W/L	VAZÃO
	COM FENDA	0,2 ou menor	$Q = 3,7 LVX$
	COM FENDA FLANGEADA	IDEM	$Q = 2,8 LVX$
	ABERTURA SEM FLANGE	0,2 ou maior (também serve para circular)	$Q = V (10 \times 2 A)$
	ABERTURA COM FLANGE	IDEM	$Q = 0,75 V (10 \times 22 A)$
	CABINE	—	$Q = VA_{\text{v}} = VWH$
	COIFA	—	$Q = 1,4 PHV$ P = perímetro do tanque

Figura 6. 16 - Fórmulas de vazão para diversos captos diversos

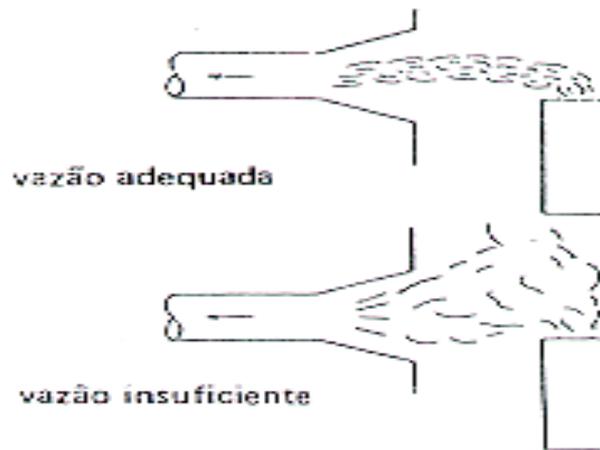


Figura 6. 17 - Efeito da vazão na captação dos poluentes

Deve-se ressaltar que a distribuição uniforme do ar na região frontal do captor é muito importante e isso pode ser conseguido de várias formas, conforme mostra a Figura 6. 18, sendo a utilização de fendas uma prática usual.

A ventilação de tanques e processos quentes (fornos de fundição por exemplo) são casos especiais e tem tratamento em separado. Existe metodologia específica para a escolha do captor e determinação da vazão de exaustão para tanques de tratamento superficial (galvanoplastia). Sugere-se consultar referências 1 e 2.

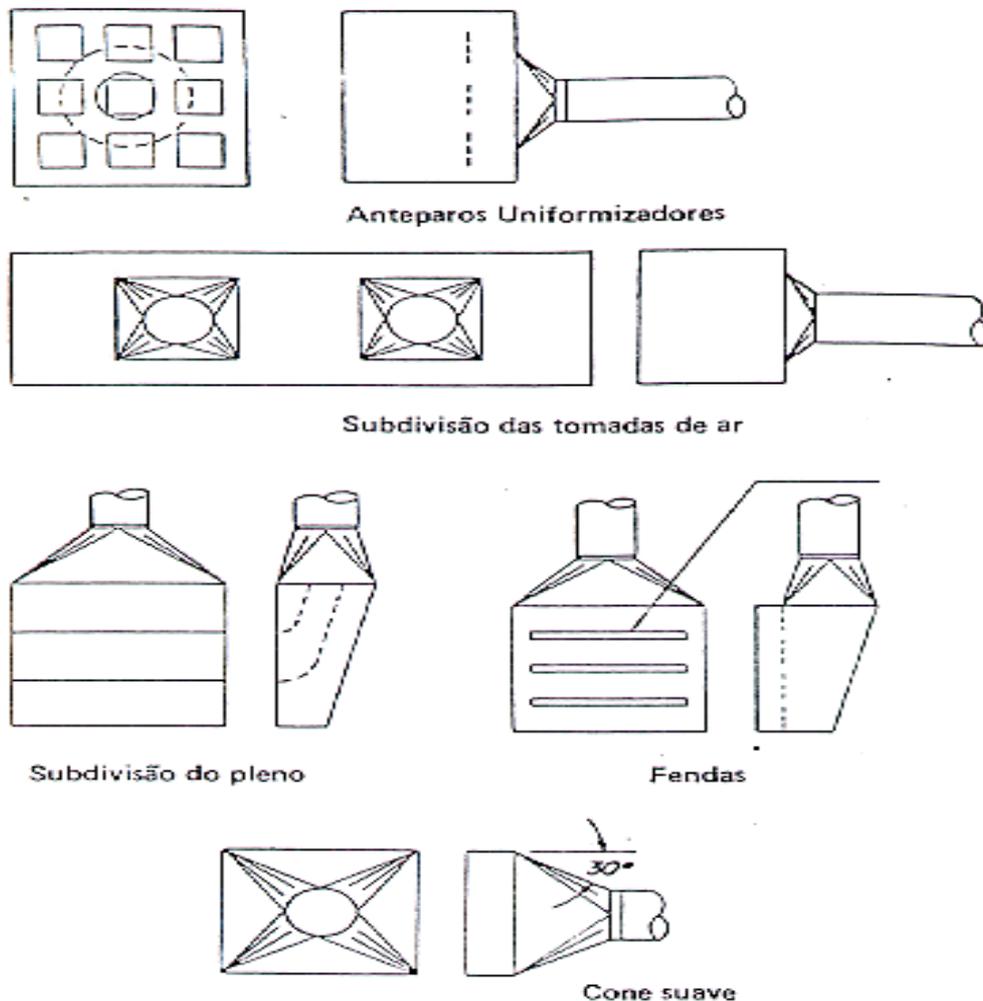


Figura 6. 18 - Formas para uniformização do ar em frente aos captores.

No caso de fontes quentes existem modelos de cálculo da vazão, considerando a quantidade de ar induzido na ascensão dos gases quentes. Nesse caso não valem as fórmulas usuais de vazão. Sugere-se consultar referências 1 e 3.

Como pode ser depreendido das explicações acima, a determinação da vazão de exaustão necessária é na maioria dos casos complexa e envolve uma boa dose de experiência no assunto. Como a vazão de exaustão é um dado importantíssimo para o projeto de sistemas de ventilação local exaustora, essa dificuldade muitas vezes se transforma em sistemas ineficazes na prática.

6.3.6 Requisitos de Energia do Captor

Para que o ar se movimente e penetre no captor é necessário fornecer energia para essa finalidade. Essa energia é fornecida na forma de pressão estática, a qual se denomina “pressão estática do captor”.

. Pressão estática : É a pressão exercida por um fluido em repouso em um corpo imerso no mesmo - Figura 6. 19.



Figura 6. 19 – pressão estática

A pressão estática em um ponto de um fluido é a mesma em todas as direções, mesmo se o fluido estiver em movimento.

OBS: a pressão estática pode ser positiva ou negativa em relação a pressão atmosférica local, se for maior ou menor que a pressão do local.

A pressão estática do captor é a somatória da pressão cinética necessária à movimentação do fluido até atingir a velocidade que o fluido deve ter no duto logo após o captor, mais as perdas de carga desde a face do captor até o início do duto, incluindo a região da “vena contracta”, conforme mostrado na Figura 6. 21. A configuração da “vena contracta” é formada quando o ar flui para dentro de um captor. Ela implica em perdas de energia (ASSUNÇÃO et al., 1989).

. Pressão cinética ou de velocidade: É a pressão devido a energia cinética do fluido. A pressão cinética não age na direção perpendicular à direção de escoamento do fluido. Ela é sempre positiva - Figura 6. 20 (ASSUNÇÃO et al., 1989, p.13).

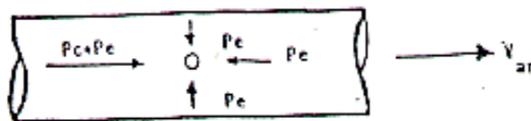


Figura 6. 20 - Pressão cinética.

Pressão total (5/p.14): A pressão total é a soma algébrica da pressão estática e pressão cinética, ou seja:

$$PT = Pe + Pc$$

OBS: PT pode ser positiva, negativa ou nula em relação à PATM local.

A área do fluxo de ar na seção da VENA CONTRACTA vai variar de acordo com a forma do CAPTOR ou abertura de entrada. Esta perda de energia resulta em uma diminuição da vazão. Esta queda de vazão é dada pelo coeficiente de entrada (K_e) que representa a relação entre a vazão real, obtida com uma dada pressão estática, e a vazão ideal (que seria obtida se o rendimento fosse 100%).

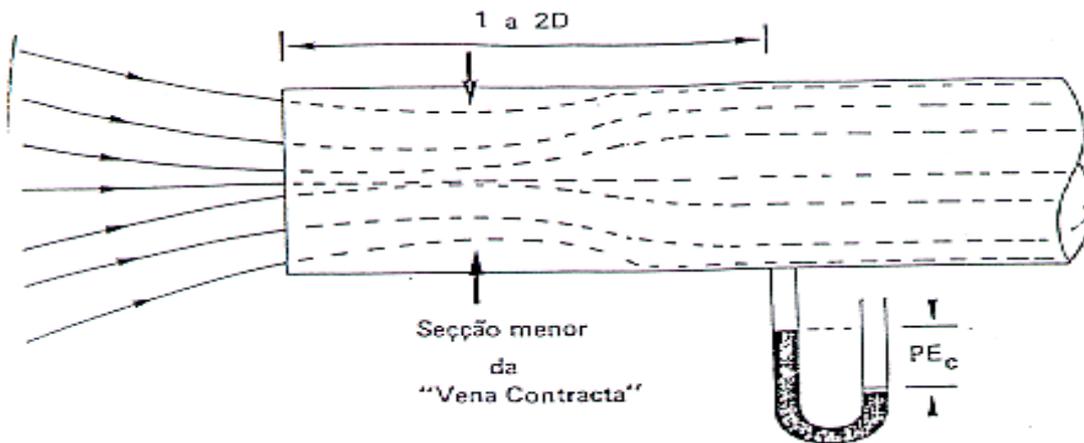


Figura 6. 21 - Pressão estática do captor e a vena contracta.

Coefficiente de entrada :

A pressão estática do captor (P_{ec}) é um bom indicador da vazão exaurida pelo mesmo, se for conhecido o coeficiente de entrada (K_e) do captor. O coeficiente de entrada representa a relação entre o captor ideal (sem perdas) e o captor real (com perdas), sendo que esse coeficiente varia entre os valores 0 e 1. O valor 1 representa o captor ideal que não apresentaria perdas, o que não existe na prática.

A vazão ideal pode ser dada, para o ar nas condições padrão (70°F e 1 ATM):

$$Q_i = 4005. A. \sqrt{P_e}$$

onde, A - área da seção transversal do duto, em pés²;
 P_e - pressão estática do captor (em pol. H₂O)

A vazão real é dada pela expressão:

$$Q_r = 4005. A. \sqrt{P_c}$$

onde,

P_c - pressão cinética à velocidade do duto (pol H₂O)

Portanto: $K_e = Q_r / Q_i$ $K_e = \sqrt{\frac{P_c}{P_e}}$ é o coeficiente de entrada

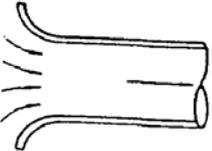
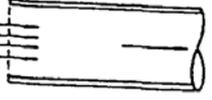
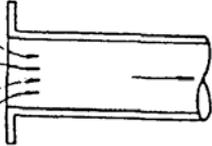
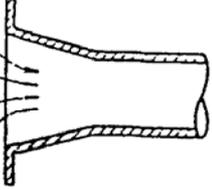
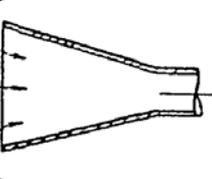
OBS: Ver Quadro 6. 8 ^{A-B}

Conhecido o coeficiente de entrada, o qual depende somente da geometria do captor e determinada a pressão estática pode-se determinar a vazão real de gases que está entrando no captor pela fórmula abaixo, válida para ar padrão ou seja, com densidade 1,2 Kg/m³ (ar a 21°C e 1 atmosfera de pressão):

$$Q = 4.043 . A_d . C_e . \sqrt{P_{ec}}$$

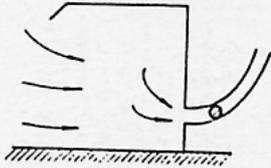
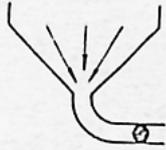
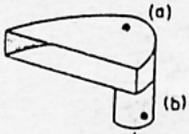
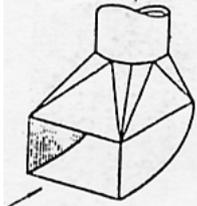
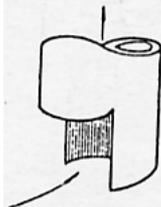
Sendo, Q a vazão em m³/s; A_d a área da seção transversal do duto em m²; C_e o coeficiente de entrada e P_{ec} a pressão estática do captor em milímetros de altura de coluna de água (mmCA).

Quadro 6. 8^A - Coeficiente de entrada (k_e) e de perda de carga (k_c) para captores
 Fonte (VALLE PEREIRA FILHO e MELO, 1992, p.66).

Tipo de BOCA	DESCRIÇÃO	K_e	K_c
	Boca arredondada	0,98	0,04
	Extremidade plana sem flange	0,72	0,93
	Extremidade do duto flangeada	0,82	0,49
	Cone flangeado com ângulo de 13°	0,94	0,13
	Cone flangeado com ângulo de 30°	0,90	0,24
	Cone sem flange com ângulo de 13°	0,82	0,49
	Cone sem flange com ângulo de 30°	0,79	0,60

Quadro 8^B - Coeficiente de entrada (k_e) e de perda de carga (k_c) para captores
Fonte (VALLE PEREIRA FILHO e MELO, 1992).

Tipo de BOCA	DESCRIÇÃO	K_e	K_c
--------------	-----------	-------	-------

TIPO DE BOCA	DESCRIÇÃO		
	Tipo Stand de Laboratório.	0,82	0,49
	Aspiração inferior	0,82	0,49
	Cone de 13° sem flange, para captação em máquinas operatizes.	0,82	0,49
	Captor de fumaça pressão em (b)	0,57	2,08
	Pressão em (a)	0,72	0,98
	Captador de pó no chão	0,61	1,69
	Captor de pó no chão	0,57	2,08

. Medida da pressão estática e pressão cinética:

- **Condição antes do ventilador:** antes do ventilador a P_e é negativa, a P_c é positiva e a P_T é negativa - **Erro! Fonte de referência não encontrada.**

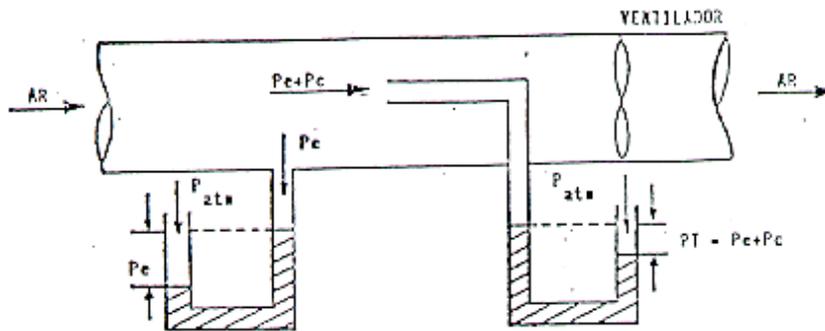


Figura 6. 22 - Condição antes do ventilador.

- **Condição depois do ventilador:** após o ventilador todas as pressões são positivas - Figura 6. 23

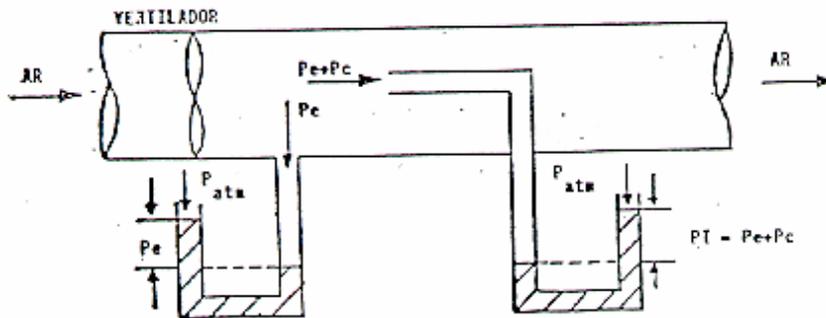


Figura 6. 23 - Condição depois do ventilador

Vê-se portanto que a pressão estática do captor é importante para controle da vazão de exaustão e deve ser utilizada na prática.

OBS: Equações fundamentais para ventilação: $Q = A.V$

$$V_{(fpm)} = 4005 \cdot \sqrt{P_c} \quad [fpm]$$

$$Q_r = 4005 \cdot A \cdot \sqrt{P_c} \quad Q_r = 4005 \cdot A_{duto} \cdot K_e \cdot \sqrt{P_{e\ captor}} \quad [feet^3/min]$$

$$V_{(m/s)} = 4,043 \cdot \sqrt{P_c (mmCA)} \quad Q_r (m^3 / s) = 4,043 \cdot A_{duto} (m^2) \cdot K_e \cdot \sqrt{P_{e\ captor} (mmCA)}$$

FATOR DE PERDA DE CARGA NA ENTRADA DO CAPTOR (Kc):

Sendo $Ke = \sqrt{\frac{Pc}{Pe}}$ (1) o coeficiente de entrada do captor

Como $\Delta P = Pe - Pc \Rightarrow$ Resultante da aplicação da eq de Bernoulli a jusante de um captor (págs 36 e 136 Livro Clezar

Tira-se de (1) que $Pe = \frac{Pc}{Ke^2}$ (2)

E de (2) $\Delta P = \frac{Pc}{Ke^2} - Pc$ portanto $\Delta P = Pc \left(\frac{1 - Ke^2}{Ke^2} \right)$

Conseqüentemente, $Kc = \left(\frac{1 - Ke^2}{Ke^2} \right)$

$\Delta P = Kc \cdot Pc$

Fonte: VALLE PEREIRA FILHO e MELO, 1992, pág 65.

Exercício : Determinar a vazão, velocidade no duto e fator de perda de carga de um captor tipo coifa, no qual foi medida uma pressão estática de 0,69"CA. O diâmetro da tubulação após o captor é de 12 polegadas e o coeficiente de entrada é de 0,894 (ASSUNÇÃO et al., 1989, pág.62).

Q = ? V = ? Kc = ? Pe = - 0,69 "CA $\phi = 12 "$ Ke = 0,894

1. Vazão de exaustão (Q)

$Q = 4005 \cdot A_{duto} \cdot Ke \cdot \sqrt{Pe}_{captor}$

$A_d = \frac{\pi \theta_d^2}{4} = \pi \frac{\left(\frac{12}{12}\right)^2}{4} = 0.7854 ft^2$

$Q = 4005 \cdot 0.7854 \cdot 0.894 \cdot \sqrt{0.69}$

Q = 2.336 cfm ou Q = 66,16 m³/min ou Q = 1,08 m³/s

2. Velocidade no duto $V = \frac{Q}{A}$

$$V = \frac{2336}{0.7854} = 2.974 \text{ fpm} = 15,11 \text{ ms}$$

3. Fator de perda de carga $Kc = \left(\frac{1 - Ke^2}{Ke^2} \right)$

$$Kc = \left(\frac{1 - 0.894^2}{0.894^2} \right) = 0.25$$

6.3.7 Dimensionamento de captores

Depende $\left\{ \begin{array}{l} - \text{ da experiência} \\ - \text{ bom senso do projetista} \end{array} \right.$

Regra geral: (MESQUITA et al., 1988, p.198)

→ Utilizar, para os vários tipos de operações poluidoras, as formas-padrão de captores provenientes de experiências anteriores com essas operações (Ver Industrial Ventilation³ ou recomendações da pág.316-335 de MESQUITA et al., 1988).

Ver também o item "Ventilação de processos, operações e equipamentos industriais", MESQUITA et al., 1988, p.228: 05 casos especiais, ou seja:

- ventilação de processos quentes;
- ventilação de operações de manipulação e transporte de material fragmentado;
- ventilação sopro-exaustora;
- sistemas de alta pressão e baixa vazão;
- ventilação de tanques.

Seleção do tipo de captor: $\left\{ \begin{array}{l} - \text{ toxicidade do poluente;} \\ - \text{ espaço físico disponível;} \\ - \text{ condições operacionais.} \end{array} \right.$

Posição relativa:

- mais próximo possível;
- menor vazão (menor custo);
- reduzida influência de correntes cruzadas;
- enclausuramento maior possível;
- uso de flanges, anteparos (evita correntes cruz.);
- direção do fluxo do ar induzido e contaminado - Figura 6. 24.

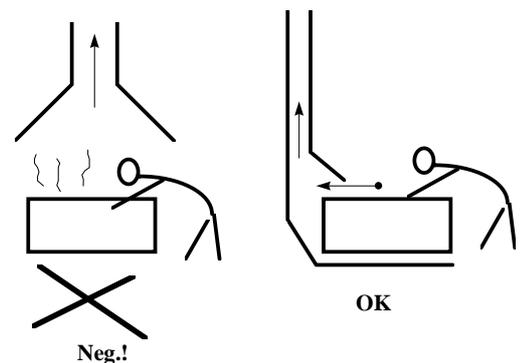


Figura 6. 24 – Cuidados com a posição do captor.

³ Da ACGIH - American Conference of Governmental Industrial Hygienists.

6.3.8 Dimensionamento de dutos

6.3.8.1. Transporte dos Poluentes

O transporte dos poluentes através dos dutos do sistema depende da velocidade do ar na tubulação. Para poluentes gasosos a velocidade tem pouca importância uma vez que não ocorre sedimentação na tubulação mesmo para velocidades baixas. Neste caso são utilizadas velocidades na faixa econômica, usualmente entre 5 e 10 m/s.

No caso de poluentes na forma de partículas é importante manter a velocidade mínima de transporte para que não ocorra sedimentação nos dutos. Essa velocidade varia de acordo com a densidade e granulometria das partículas. Os valores usuais estão mostrados no Quadro 6.9.

Quadro 6.9 - Velocidades de Transporte de Partículas em Dutos

Tipo de partícula	Velocidade Mínima (m/s)
1. Partículas de densidade baixa ex: fumaça, fumos de óxidos de zinco, fumos de óxidos de alumínio, pó de algodão.	10
2. Partículas de densidade média ex: cereais, pós de madeira, pó de plástico, pó de borracha.	15
3. Partículas de densidade média/alta ex: fumos metálicos, poeira de jateamento de areia e de esmerilhamento	20
4. Partículas de densidade alta ex: fumos de chumbo, poeiras de fundição de ferro.	25

A velocidade no duto tem também influência na perda de carga do sistema, ou seja, na energia requerida para o fluido percorrer o sistema de dutos. Quanto maior a velocidade maior será a perda de carga e maior a potência exigida do ventilador. Dessa forma, é conveniente, do ponto de vista econômico, que a velocidade fique próxima e acima da velocidade mínima de transporte requerida para o caso específico, de forma a atender ambos os objetivos, a não ser em pequenos trechos por razões específicas (restrição de espaço, balanceamento de tramos etc.), mas nunca abaixo da mínima recomendada.

Portas de inspeção são necessárias nas tubulações em intervalos de pelo menos 3 metros e junto às singularidades de maior probabilidade de deposição de pó.

6.3.8.2. Perdas de carga em Singularidades

Singularidade é qualquer elemento do sistema que causa distúrbio no fluxo do ar, como por exemplo os cotovelos, junções, contrações, expansões etc. As singularidades representam pontos de perda de carga localizada. Todos esses elementos devem ser projetados, de preferência, na geometria

que ocasione a menor perda de carga possível, como regra geral. Por exemplo, os cotovelos deveriam ser de raio de curvatura igual a 2,5 d; as junções deveriam ter ângulo de entrada máximo de 30 graus; as contrações e expansões deveriam ser suaves etc.

Deve-se ressaltar que os sistemas projetados com singularidades fora das recomendações acima podem funcionar bem, apesar de que a custa de maior potência e em consequência, com custo operacional mais elevado. Muitas vezes a disponibilidade do mercado conduz à utilização de singularidades de maior perda de carga.

- perda de carga em curvas (cotovelos) : Figura 6. 25

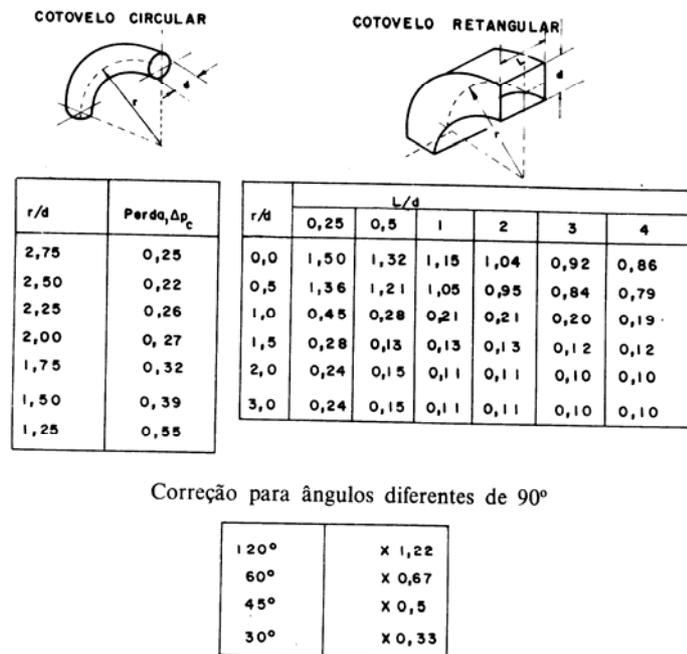


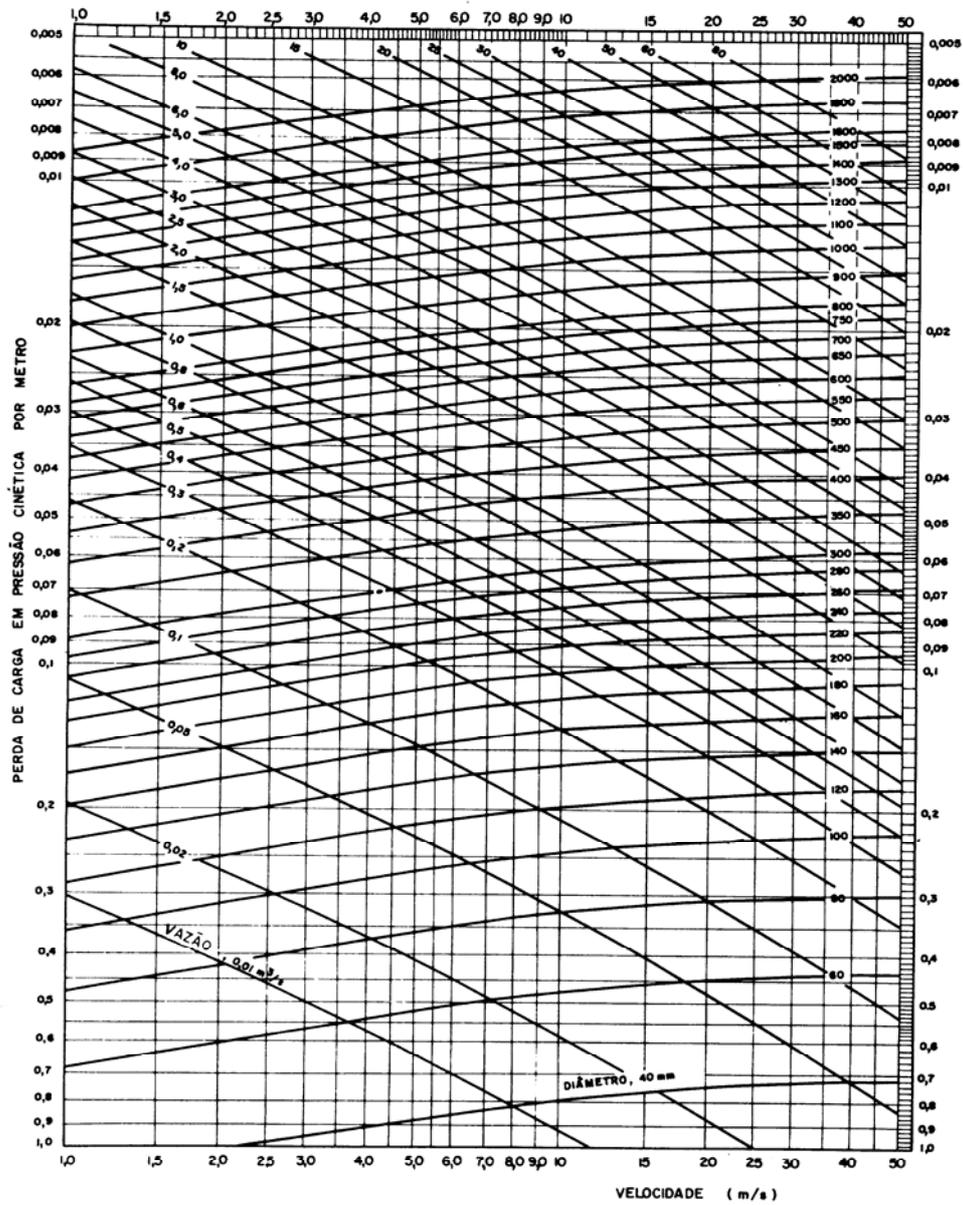
Figura 6. 25 - Perda de carga em curvas (cotovelos)
 Fonte: MESQUITA et al., 1988

- perda de carga em canalizações (trechos retos) : Abaco 6. 1

- perda de carga em expansões e contrações : Figuras 26 e 27

- perda de carga em junções : Figura 6. 28 e Figura 6. 29.

- perda de carga em outras singularidades: chapéus; equipamentos de coleta de partículas, gases e vapores; etc. (Ver MESQUITA et al., 1988, p.218)



Abaco 6. 1 - perda de carga em canalizações (trechos retos)
 Fonte: MESQUITA et al., 1988

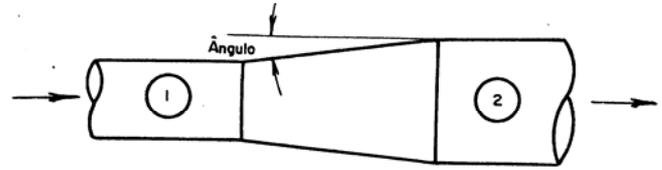


Figura 6. 26 - perda de carga em expansões. Fonte: MESQUITA et al., 1988

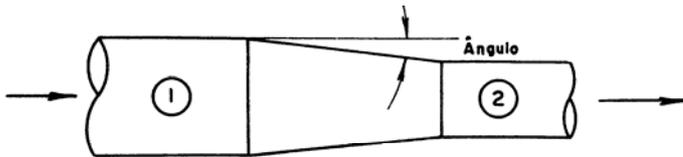
Ângulo em graus	X (reganho) em fração de diferença de p_c	Y (perda) fração de diferença de p_c
3,5	0,78	0,22
5	0,72	0,28
10	0,55	0,44
15	0,42	0,58
20	0,28	0,72
25	0,13	0,87
30	0,00	1,00
Mais de 30	0,00	1,00

Mudança em p_e

$$p_{e2} = p_{e1} + X(p_{c1} - p_{c2})$$

$$Y = 1 - X$$

$$p_{e2} = p_{e1} + (p_{c1} - p_{c2}) - Y(p_{c1} - p_{c2})$$



Para contração troncopiramidal

Ângulo (graus)	(perda) fração de diferença de p_c
5	0,05
10	0,06
15	0,08
20	0,10
25	0,11
30	0,13
45	0,20
60	0,30

Mudanças de p_e :

$$p_{e2} = p_{e1} - (p_{c2} - p_{c1}) - Y(p_{c2} - p_{c1})$$

$$p_{e2} = p_{e1} - (p_{c2} - p_{c1}) - Z(p_{c2})$$

Para expansões abruptas

Relação A_2/A_1	Z
0,1	0,48
0,2	0,46
0,3	0,42
0,4	0,37
0,5	0,32
0,6	0,26
0,7	0,20

Figura 6. 27 - perda de carga em contrações. Fonte: MESQUITA et al., 1988

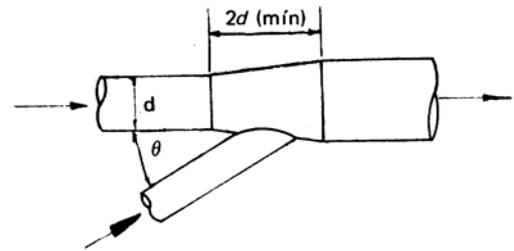


Figura 6. 28 - perda de carga em junções. Fonte: MESQUITA et al., 1988

Ângulo (graus)	Δp_i em fração de p_c
10	0,06
15	0,09
20	0,12
25	0,15
30	0,18
35	0,21
40	0,25
45	0,28
50	0,32
60	0,44
90	1,00



Figura 6. 29 - Junção no sistema de ventilação local exaustora da Formaplas, Palhoça, SC.

6.3.8.3. Dimensionamento de dutos para uma instalação de ventilação geral diluidora

Quem tiver interesse neste assunto recomenda-se consultar VALLE PEREIRA FILHO e MELO, 1992, p.117-130.

4.3.8.4. Dimensionamento de dutos para uma instalação de ventilação local exaustora

Balanceamento de Tramos : O termo “balanceamento de tramos” significa o procedimento para atingir o equilíbrio de pressões estáticas em pontos de junção de tubulações, de forma a conseguir em cada um dos tramos as vazões de exaustão requeridas. Considere os dois tramos mostrados na Figura 6. 30.

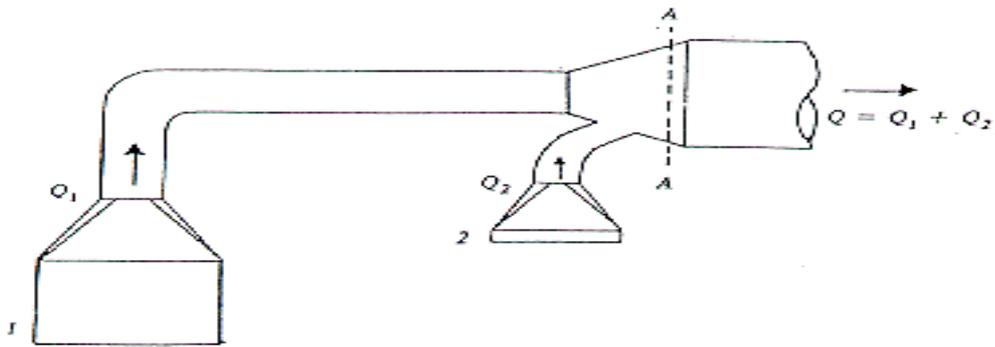


Figura 6. 30 - Balanceamento de tramos.

A pressão estática na seção AA é a somatória da pressão cinética de aceleração do fluido em cada um dos captores, mais as perdas de carga em cada um dos tramos. Num sistema balanceado tem-se:

$$PE_{AA} = PC_1 + P_{1A} = PC_2 + P_{2A}$$

Balancear um sistema significa dimensionar ou planejar, adequadamente a canalização para que no ponto de junção de dois ramais a pressão seja aproximadamente a mesma. Os métodos de balanceamento frequentemente adotados são :

- Balanceamento estático
- Balanceamento com registros
- Balanceamento com plenum

Balanceamento de um sistema de ventilação :

Se o sistema não estiver balanceado quando do projeto, na prática ele vai se autobalancear, pois numa junção só pode existir uma pressão estática. No entanto, esse balanceamento não programado e não controlado ocasionará vazões e mesmo velocidades diferentes daquelas desejadas. No tramo que tiver menor pressão estática ocorrerá aumento de vazão, mas ao custo de redução de vazão no outro tramo, podendo atingir condições não aceitáveis de vazão de exaustão ou de velocidade de transporte, promovendo deposição de partículas nos dutos e reduzindo a eficiência de captação.

O balanceamento pode ser conseguido através do adequado projeto das tubulações e singularidades, procedimento esse denominado “balanceamento estático”, e através do uso de dispositivos reguladores de perda de carga (válvulas borboletas, dampers e placas de orifício), os quais, devidamente ajustados balancearão o sistema no início de operação - “balanceamento por registros”.

- Balanceamento estático

O balanceamento estático deve ser utilizado sempre que possível pois, se bem projetado, o sistema funcionará dentro das condições previstas, sem necessidade de ajustes posteriores. Esse tipo de balanceamento, por ser estanque, dificulta a ação do operador sobre o sistema. Contudo, trata-se de método que exige conhecimento perfeito das perdas de carga de cada elemento do tramo, sendo de difícil consecução quando o número de tramos for elevado.

Neste método, parte-se do ramal que deverá apresentar maior perda de carga. Calcula-se para este ramal a perda de carga entre o ponto de captação e a primeira junção. A seguir, determina-se também a perda de carga do outro ramal que chega a esta junção (VALLE PEREIRA FILHO e MELO, 1992).

Se houver uma diferença entre as pressões estáticas, calculada em cada ramal, de 20% ou mais, deve-se recalcular um dos ramos fazendo-se modificações na velocidade, no diâmetro do duto, nas curvas, nas junções, etc., até se conseguir o mesmo valor da pressão estática calculado para o outro ramal.

Se a diferença entre as pressões estáticas situar-se na faixa de 5 a 20%, pode-se atingir o balanceamento aumentando-se a vazão do ramal de menor perda de carga. Esta nova perda de carga pode ser calculada através da expressão a seguir.

$$Vazão_corrigida = Vazão_inicial \cdot \sqrt{\frac{pressão_estática_maior}{pressão_estática_menor}}$$

No caso de haver uma diferença entre as pressões estáticas menor do que 5%, usualmente se ignora este pequeno erro, e o sistema é considerado balanceado.

A principal vantagem deste método é a segurança, pois a vazão em cada ramal será a especificada em projeto, desde que o sistema de dutos seja adequadamente instalado (VALLE PEREIRA FILHO e MELO, 1992).

Como outras vantagens pode-se relacionar a ausência de entupimento, desde que as velocidades sejam adequadamente escolhidas e de desbalanceamentos devido ao uso, como o que pode ocorrer com o sistema de balanceamento por registros (VALLE PEREIRA FILHO e MELO, 1992).

Entretanto, este sistema requer um projeto mais elaborado e portanto, mais caro, e apresenta pequenas flexibilidades de modificações na rede de dutos.

Este método de balanceamento será exemplificado na seqüência.

- Balanceamento com registros

O balanceamento por registros é mais simples, mais rápido e mais flexível, permitindo alterações desejadas de vazão posteriormente, dentro de certos limites. Contudo, apresenta diversas desvantagens, como por exemplo, a maior presença de pontos de deposição de partículas; pós-abrasivos podem desgastar as válvulas de balanceamento, ocasionando desbalanceamento do sistema e o balanceamento pode ser alterado pela ação dos operadores, provocando alterações de vazões que certamente prejudicarão a captação, podendo também causar deposição de partículas nas tubulações.

Todos os ramos são dimensionados tendo-se em vista somente as velocidades mínimas e as vazões necessárias. A regulagem da vazão faz-se dispondo registros nos ramos de menor perda, os quais vão introduzir uma perda de carga variável de acordo com o seu ângulo de abertura (VALLE PEREIRA FILHO e MELO, 1992).

No balanceamento procura-se não só igualdade de pressões nas junções, mas também que a vazão nos ramais seja efetivamente aquela que vai garantir uma exaustão eficiente. Dessa forma, a variação do ângulo de abertura dos registros deve ser sempre acompanhado de uma verificação da vazão em cada ramal, para então poder-se determinar qual a abertura ótima do registro (VALLE PEREIRA FILHO e MELO, 1992).

Como vantagens principais este método apresenta uma maior facilidade de projeto e maior flexibilidade de modificações na rede de dutos.

Como desvantagens, pode-se relacionar (VALLE PEREIRA FILHO e MELO, 1992):

- Variação na abertura dos registros, com conseqüente variação de vazões devido a ação do elemento humano;
- Dificuldade de balanceamento, pois a vazão em um ramal é dependente da vazão nos demais;
- Abrasão e entupimento dos registros quando o poluente é um material abrasivo ou pegajoso, respectivamente.

Um sistema com registro é apresentado na Figura 6. 31.

Figura 6. 31 - Registro na Formaplas, São José, SC



- Balanceamento com plenum (segundo VALLE PEREIRA FILHO e MELO, 1992)

Neste sistema utiliza-se um duto principal superdimensionado (plenum) ao qual são conectados os dutos oriundos de cada ponto de captação.

As velocidades neste duto são relativamente baixas, da ordem de 2,5 m/s a 10 m/s, sendo então também baixa a perda de carga.

A pressão estática reinante no duto principal será a mesma em todas as junções, sendo ela calculada em função do ramal de maior resistência. Os demais ramais devem ser calculados para dar a vazão requerida a essa mesma pressão estática, ou então poderão ser previstos registros nesses ramais de menor resistência para posterior regulagem de vazões.

Como vantagens deste método pode-se relacionar a maior flexibilidade de modificações na rede de dutos e a atuação do duto principal como uma câmara de sedimentação para partículas grosseiras.

As desvantagens principais são a necessidade de limpeza periódica do duto principal e a impossibilidade de se exaurir materiais sujeitos a combustão espontânea e materiais explosivos.

A Figura 6. 32 mostra a utilização deste método.

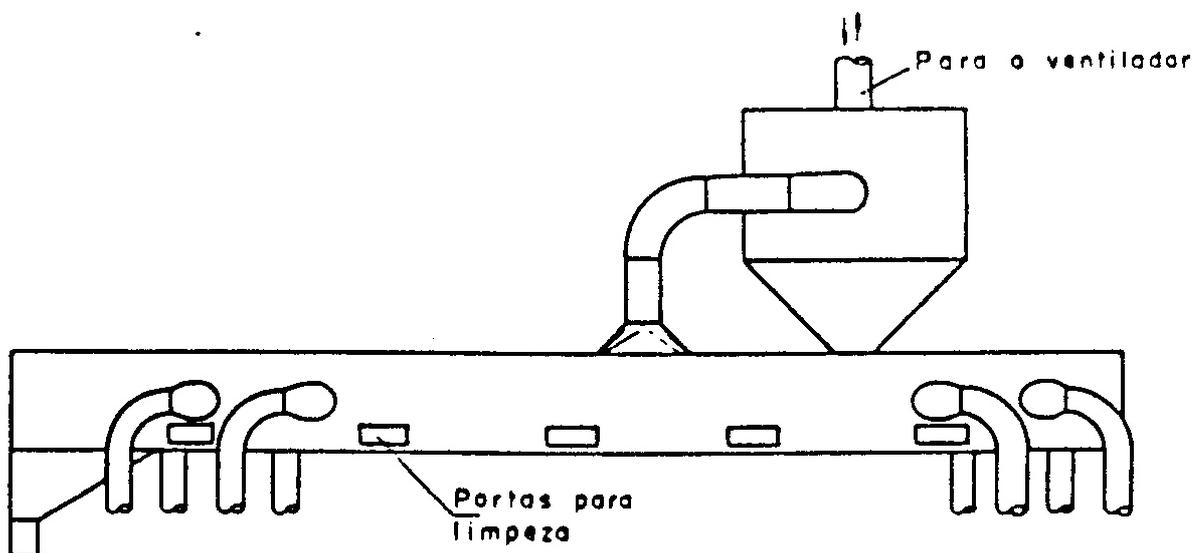


Figura 6. 32 - Balanceamento com plenum. Fonte: (VALLE PEREIRA FILHO e MELO, 1992).

Material das tubulações:

Para aplicações não corrosivas, as espessuras de chapa de aço são apresentadas no Quadro 6.

10

Quadro 6. 10 - Espessuras de chapa de aço

Diâmetro em polegadas	Bitola da chapa de aço		
	Classe I	Classe II	Classe III
Até 8	24	22	20
8 a 18	22	20	18
18 a 30	20	18	16
Além de 30	18	16	14

Fonte: VALLE PEREIRA FILHO e MELO (1992) - p.132-137.

Classe I – Material conduzido não abrasivo;

Classe II – Material abrasivo em fraca concentração / Material não abrasivo em alta concentração;

Classe I – Material abrasivo em altas concentrações.

Exemplos:

Classe I – Pintura com pistola, serraria;

Classe II – Politrizes, moagem de combustível;

Classe III – Britadores de rocha, chaminés.

De posse da velocidade recomendada (Quadro 6. 9) e da vazão requerida a cada trecho, o dimensionamento é feito simplesmente através da equação da continuidade, quando existe um único ponto de captação. Como frequentemente um mesmo sistema de ventilação local exaustora é utilizado com mais de um ponto de captação, torna-se necessário executar um estudo de balanceamento, para assegurar-se que em cada ponto de captação tenha-se, em operação a vazão de projeto VALLE PEREIRA FILHO e MELO (1992).

6.3.8.5. Filtros ou equipamentos de controle da poluição atmosférica

O sistema de filtragem será sempre necessário quando as emissões puderem poluir o ar externo. Em relação ao sistema de ventilação, os filtros representam pontos de perda de carga que devem ser levados em consideração no cálculo da pressão exigida pelo sistema e conseqüentemente na determinação da pressão e potência exigidas do ventilador e na potência do motor.

A perda de carga do filtro pode se alterar com o tempo de uso seja como característica própria (filtros-manga, por exemplo, necessitam do acionamento do sistema de limpeza das mangas periodicamente, de forma a retirar o material coletado nas mangas, evitando resistência excessiva) ou pela incrustação de poluentes ou pelo desgaste das peças ou superfícies internas do filtro.

No projeto deverá ser prevista a perda de carga limite para fins de dimensionamento de pressões e potências. Aumento de perda de carga acima do limite estabelecido ocasionará redução de vazão e conseqüentemente redução na eficiência de captação e, se a velocidade nos dutos cair abaixo da velocidade de transporte, ocorrerá deposição de partículas nas tubulações afetadas. Assim, a perda de carga nos filtros deverá ser frequentemente verificada através, por exemplo, de manômetros em U, de baixo custo e de fácil instalação e uso.

Este assunto será abordado no capítulo VII deste livro.

6.3.8.6. Conjunto Ventilador-Motor

O conjunto Ventilador-Motor fornece a energia necessária para movimentar o fluido e vencer todas as perdas de carga (resistência) do sistema.

Ventilador : O ventilador é o coração de qualquer sistema de ventilação. Ele cria um diferencial de pressão através do sistema que faz o ar fluir através do mesmo. A seleção do ventilador adequado e sua performance são vitais para o correto funcionamento de todo o sistema.

Os ventiladores são usualmente classificados de acordo com a direção de movimentação do fluxo através do rotor. Assim, tem-se os ventiladores **centrífugos** (Figura 6. 33) e os **axiais** (Figura 6. 34). Os centrífugos são destinados a movimentação de ar numa ampla faixa de vazões e pressões; enquanto os axiais se restringem a aplicações de baixa e média pressão (até 150 mmCA aproximadamente). Em ventilação local exaustora os ventiladores mais utilizados são os centrífugos, os quais estão disponíveis em quatro tipos, segundo as características de rotor ou seja, de pás radiais; de pás para trás; de pás curvadas para frente e o “radial tip”.

Figura 6. 33 - Ventilador Centrífugo

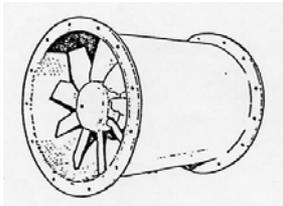
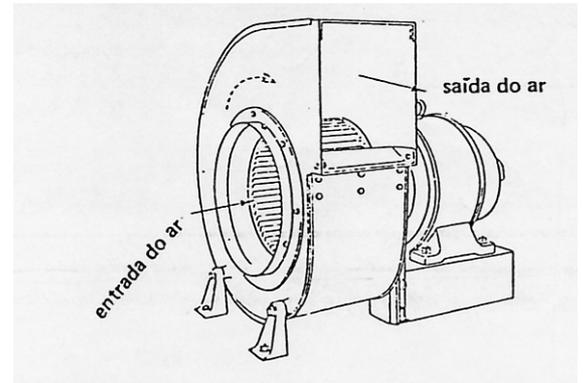
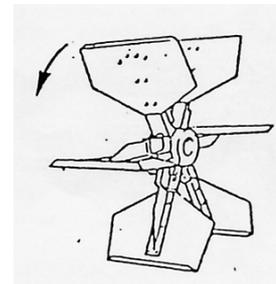


Figura 6. 34 - Ventilador Axial

Ventiladores Centrífgos Radiais : São ventiladores, robustos, para trabalho pesado e destinados a movimentar fluidos com grande carga de poeira, poeiras pegajosas e corrosivas. Apresentam eficiência baixa, da ordem de 60% e nível de ruído mais alto. É o tipo mais simples em termos construtivos, possuem alta resistência mecânica e são de mais fácil reparação -Figura 6. 35.

Figura 6. 35 – Rotor de pás radiais



Ventiladores Centrífgos de Pás para Trás : São ventiladores de alta eficiência chegando a atingir eficiências maiores que 80% e seu funcionamento é silencioso. Uma importante característica desse ventilador é a auto-limitação de potência, característica essa importante quando a perda de carga do sistema é variável, evitando assim a sobrecarga do motor. Possuem dois tipos de pás, as aerodinâmicas e as planas. As primeiras são de grande rendimento pois permitem uma corrente mais uniforme. São empregados nos casos de grandes vazões e pressões médias, sendo que a economia de potência chega a compensar o maior custo de aquisição. Já os de pás planas podem ser utilizados para transportar ar sujo já que apresentam a característica de serem auto-limpantes, no entanto apresentam eficiência menor que os de pás aerodinâmicas, chegando a atingir 80% - Figura 6. 36.

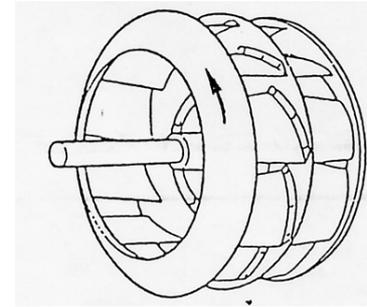


Figura 6. 36 – Rotor de pás para trás

Ventiladores Centrífugos de Pás Curvadas para Frente : Esses ventiladores requerem pouco espaço para sua instalação, apresentam baixa velocidade periférica e são silenciosos. São usados para pressões baixas a moderadas. Devido à forma os rotores de pás para frente não são recomendados para movimentar fluidos com poeiras e fumos que possam aderir às mesmas, e causar desbalanceamento do rotor e conseqüentemente vibração. A sua curva característica apresenta zona de instabilidade na qual o ventilador não deve trabalhar. Além disso não apresenta auto-limitação de potência podendo sobrecarregar o motor. A eficiência desses ventiladores é menor que a dos ventiladores de pás para trás. São recomendados para sistemas de ventilação geral e de ar condicionado onde a carga de poeiras e outras partículas é baixa – Figura 6. 37.

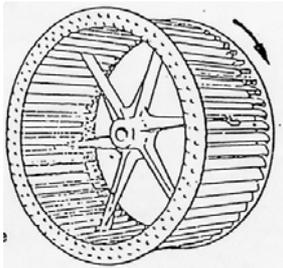


Figura 6. 37 – Rotor de pás para frente

Ventiladores “Radial Tip” : São ventiladores de pás planas inclinadas para trás, porém com pontas que se curvam até chegarem a ser radiais. Isso ocasiona uma queda na eficiência porém, proporciona maiores vazões. São utilizados em fornos de cimento, fábricas de celulose e papel, etc.

Cada tipo de ventilador apresenta suas características próprias de variação de pressão, potência e eficiência em função da variação da vazão que são apresentadas através de curvas características ou tabelas características as quais são importantes para estabelecer a região ótima de trabalho bem como para se saber o comportamento do ventilador quando um parâmetro é alterado, como por exemplo, a resistência do sistema. Aumento de resistência (perda de carga) significa queda da vazão a qual pode ser obtida na curva ou tabela característica do ventilador. Todo ventilador, portanto, deveria vir acompanhado de sua curva ou tabela característica.

6.3.8.7 Pressão e Potência do Ventilador

(segundo ASSUNÇÃO,1989, pág.41)

A pressão total do ventilador (P_{t_v}) representa a diferença entre a pressão total na saída do ventilador ($P_{t_{Sv}}$) e a pressão total na entrada do ventilador ($P_{t_{Ev}}$) ou seja:

$$P_{t_v} = P_{t_{Sv}} - P_{t_{Ev}}$$

A pressão estática do ventilador (P_{e_v}) é por definição, a pressão total do ventilador reduzida da pressão cinética na saída do ventilador ($P_{c_{sv}}$). Matematicamente tem-se:

$$P_{e_v} = P_{t_v} - P_{c_{sv}}$$

Deve-se recordar aqui que a pressão total é a soma algébrica das pressões estática e cinética ($P_t = P_e + P_c$).

A potência requerida pelo ventilador (N_{RV}) pode ser estimada pela seguinte fórmula:

$$N_{rv} = \frac{Q \text{ (m}^3\text{/s)} \cdot P_{t_v} \text{ (mmCA)}}{75 \cdot E_v} \quad (\text{CV})$$

ou

$$N_{rv} = \frac{Q_v \text{ (cfm)} \cdot P_{t_v} \text{ ("CA)}}{6356 \cdot E_v} \quad (\text{HP})$$

Sendo Q_v a vazão volumétrica, P_{t_v} a pressão total do ventilador e E_v a eficiência mecânica total do ventilador. A potência real deve ser obtida nas tabelas ou curvas características do ventilador escolhido, a qual é válida para as condições especificadas na curva ou tabela. Para condições de pressão e temperatura diferentes daquelas deve-se fazer a devida correção pela relação de densidade da condição real e da condição da curva ou tabela característica.

Quando as condições reais do fluido no ventilador, ou seja, a densidade do fluido, for diferente das condições estabelecidas para a curva ou tabela características deve-se proceder da seguinte forma:

- a) Considerar a vazão de entrada na tabela ou curva característica igual à vazão real a ser movimentada pelo ventilador.
- b) Utilizar a pressão equivalente do ventilador, para as condições da curva ou tabela característica determinada da seguinte forma:

$$P_{e(\text{EQUIV})} = P_{e(\text{REAL})} \times \frac{1}{F_d}$$

$$P_{t(\text{EQUIV})} = P_{t(\text{REAL})} \times \frac{1}{F_d}$$

sendo $F_d = \frac{\rho_{\text{curva}}}{\rho_{\text{real}}}$ (fator de densidade)

c) Determinar o ponto de operação na curva característica utilizando a vazão real e pressão equivalente, conhecendo-se então a eficiência mecânica do ventilador e a rotação que serão válidas também para as condições reais.

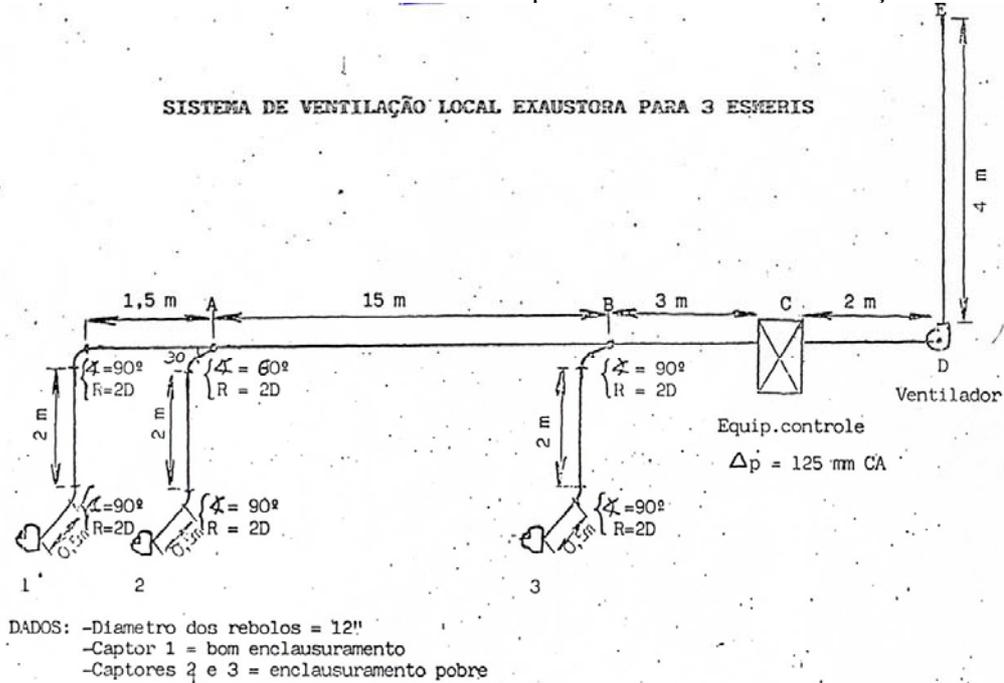
d) A potência equivalente ($N_{(\text{EQUIV})}$) servirá para dimensionar o motor para partida a frio e será igual a:

$$N_{(\text{EQUIV})} = N_{v(\text{REAL})} \times \frac{1}{F_d}$$

EXERCÍCIO

Sistema de Ventilação Local Exaustora para 3 Esmeris

Ref. Apostila do Curso de Ventilação Industrial – CETESB, 1989.



Solução:

1. Cálculo da vazão necessária para Esmeril 1

- $d_{reb} = 12''$
- bom enclausuramento
- recomendado por Ind. Vent. (ver Figura 6. 38)

VER CONVERSÃO DE UNIDADES NO ANEXO.

$$Q_1 = 300 cfm = 300 \times \frac{0,0283}{60} m^3 / s$$

ou $Q_1 = 0,14 m^3/s$

2. Dimensionamento do duto 1-A

$$V_1 = 4.500 \text{ fpm (recomendado por Industrial Ventilation - I.V.)} = \frac{4.500 \times 0,3048}{60}$$

Em tramo 4500; em duto princ. 3500

$$A_1 = \frac{Q_1}{V_1} = \frac{0,14}{22,86} = 6,12 \times 10^{-3} m^2$$

$V_1 = 22,86 \text{ m/s}$

$$A_1 = \frac{\pi(D_i)^2}{4} \rightarrow D_i = \sqrt{\frac{4 \times A_1}{\pi}} = \sqrt{\frac{4 \times 0,14}{\pi \times 22,86}} = 8,83 \times 10^{-2}$$

Portanto:

$D_1 = 88,3 \text{ mm}$

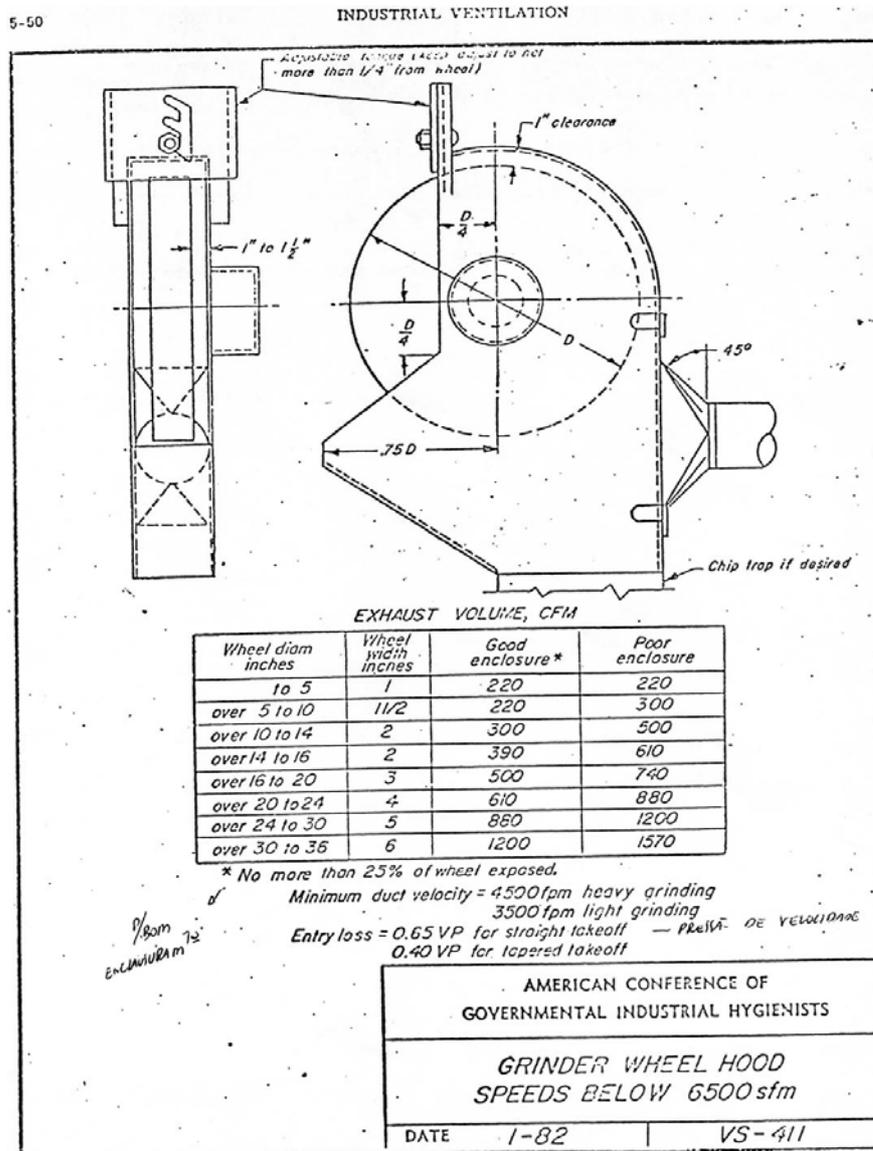


Figura 6. 38 – Captor para esmeril. Fonte: Industrial Ventilation

3. Cálculo da pressão estática em A vindo de 1

3.1 Perda de carga na entrada do captor

$$\Delta p_c = K_c PC_1$$

$$K_c = 0,40 \begin{cases} \text{- para entrada suavizada} \\ \text{- recomendado por Industrial Ventilation (ver Figura 6. 38)} \end{cases}$$

Portanto: $\Delta p_{c1} = 0,4 PC_1 \text{ mmCA}$

3.2 Pressão Estática do captor 1

$$PE_{c1} = - (\Delta p_{c1} + 1 PC_1)$$

OBS: $\Delta p = P_E - P_C$

$$PE_{c1} = - (0,4 + 1) PC_1$$

Assim: $PE_{c1} = - 1,4 x PC_1$

3.3 Perda de carga no duto reto de 1-A

$$L_{1-A} = 0,5 + 2 + 1,5 = 4,0 \text{ m}$$

$$\left. \begin{array}{l} D_1 = 88,3 \text{ mm} \\ Q_1 = 0,14 \text{ m}^3/\text{s} \\ V_1 = 22,86 \text{ m/s} \end{array} \right\} \text{ Ver Abaco 6. 1 – com 2 destes 3 parâmetros são suficientes para determinar o fator de perda por atrito em cada metro de duto reto.}$$

Portanto:
$$\Delta P_{L1} = \frac{0,26 PC_1}{1m} x L_{1-A} = 0,26 x 4,0 PC_1$$

$$\Delta P_{L1} = 1,04 PC_1 \text{ mmCA}$$

3.4 Perda de carga nos 2 cotovelos

$$\left. \begin{array}{l} \text{ângulo} = 90^\circ \\ R = 2D \end{array} \right\} \text{ ver Figura 6. 25}$$

para 1 cotovelo $\rightarrow \Delta P_{cot} = 0,27 PC_1$

para 2 cotovelos \rightarrow $\Delta P_{cot2} = 2 x 0,27 PC_1$

3.5 Pressão Estática no ponto A vindo de 1

$$PE_{A-1} = - (|PE_{c1}| + \Delta P_{L1} + \Delta P_{cot})$$

$$PE_{A-1} = - (1,40 + 1,04 + 0,54) PC_1 = - 2,98 PC_1$$

Sendo $V_1 = 22,86 \text{ m/s} \rightarrow PC_1 = 32 \text{ mmCA}$

$$\text{Demonstração: } V_1 = 4,043 \sqrt{PC_1} \left\{ \begin{array}{l} \text{para } \rho_{ar} = 1,2 \text{ kg/m}^3 \\ V_1 \text{ em m/s} \\ PC_1 \text{ em mmCA} \end{array} \right.$$

Portanto:
$$PC_1 = \left(\frac{V_1}{4,043} \right)^2 = \left(\frac{22,86}{4,043} \right)^2 \rightarrow PC_1 = 32 \text{ mmCA}$$

De modo que : $PE_{A-1} = - 2,98 x 32$

4. Cálculo da vazão necessária para Esmeril $PE_{A-1} = - 95,36 \text{ mmCA}$

$$d_{reb} = 12''$$

Enclausuramento pobre

Recomendação Ind. Vent. (ver Figura 6. 38)

$$Q_2 = 500cfm = \frac{500 \times 0,02832}{60}$$

$$Q_2 = 0,236 \text{ m}^3/\text{s}$$

5. Dimensionamento do duto 2-A

$$V_2 = 4.500 \text{ fpm (recomendado por I.V.)} = \frac{4.500 \times 0,3048}{60}$$

$$V_2 = 22,86 \text{ m/s}$$

$$A_2 = \frac{Q_2}{V_2} = \frac{0,236}{22,86} \text{ m}^2$$

$$\text{Portanto: } D_2 = \sqrt{\frac{4A_2}{\pi}} = \sqrt{\frac{4(0,236 / 22,86)}{\pi}}$$

$$D_2 = 0,115 \text{ m} \rightarrow$$

$$D_2 = 115 \text{ mm}$$

6 Pressão Estática no ponto A vindo de 2

6.1 Perda na entrada do captor

$$\Delta PC_2 = 0,40 PC_2 \text{ - Recomendação Ind. Vent.}$$

6.2 Pressão Estática do captor 2

$$PE_{c2} = - (\Delta PC_2 + 1 PC_2)$$

$$PE_{c2} = - 1,40 PC_2$$

6.3 Perda de carga no duto reto de 2-A

$$L_{2-A} = 0,5 + 2,0 = 2,5 \text{ m}$$

$$\left. \begin{array}{l} - D_2 = 115 \text{ mm} \\ - Q_2 = 0,236 \text{ m}^3/\text{s} \\ - V_2 = 22,86 \text{ m/s} \end{array} \right\}$$

Ver Abaco 6. 1

$$\Delta P_{L2} = \frac{0,19 PC_2}{1m} \times L_{2-A} = 0,19 \times 2,5 PC_2$$

$$\Delta P_{L2} = 0,475 PC_2$$

6.4 Perdas de cargas nos 2 cotovelos

$$\left. \begin{array}{l} \hat{\text{Ângulo}} = 90^\circ \\ R = 2D \end{array} \right\} \text{ ver Figura 6. 25} \rightarrow \Delta P_{cot. . 90^\circ} = 0,27 PC_2$$

$$\left. \begin{array}{l} \hat{\text{Ângulo}} = 60^\circ \end{array} \right\} \text{ ver Figura 6. 25} \rightarrow \Delta P_{cot. . 60^\circ} = 0,67 \times 0,27 PC_2$$

$$R = 2D$$

$$\Delta P_{cot.} = (0,27 + 0,18) PC_2 \rightarrow \boxed{\Delta P_{cot2} = 0,45 PC_2}$$

6.5 Perda de carga na junção

$$\left. \begin{array}{l} \hat{\text{Ângulo}} = 30^\circ \\ \text{Figura 6. 28} \end{array} \right\} \rightarrow \boxed{\Delta P_i = 0,18 PC_2}$$

6.6 Pressão estática em A vindo de 2

$$PE_{A-2} = - (|PE_{c2}| + \Delta P_{L2} + \Delta_{cot.} + \Delta P_j)$$

$$PE_{A-2} = - (1,4 + 0,475 + 0,45 + 0,18) PC_2$$

$$PE_{A-2} = - 2,505 PC_2$$

$$\text{Onde: } PC_2 = \left(\frac{V_2}{4,043} \right)^2 = \left(\frac{22,86}{4,043} \right)^2 = 32 \text{ mmCA}$$

$$\text{Portanto: } \boxed{PE_{A-2} = - 2,505 \times 32 = - 80,16 \text{ mmCA}}$$

7. Balanceamento de Pressão Estática no ponto A

$$\%desbalanc = \frac{|PE_{A-1}| - |PE_{A-2}|}{|PE_{A-2}|} \times 100 = \left(\frac{95,36 - 80,16}{80,16} \right) \times 100$$

$$\boxed{\%desbalanc = 19\%}$$

Recordando:

$\%desbalanc \geq 20\% \rightarrow$ Redimensionar o tramo de menor perda de carga

$5\% \leq \%desbalanc < 20\% \rightarrow$ Corrigir a vazão do tramo de menor perda, usando:

$$Q_{FINAL} = Q_{INICIAL} \sqrt{\frac{PE_{FINAL}}{PE_{INICIAL}}}$$

$\%desbalanc < 5\% \rightarrow$ Desprezar, considerando o sistema balanceado

No ponto A $\rightarrow \%desbalanc = 19\%$

Portanto, nestas condições, deve-se corrigir a vazão no tramo 2-A (de menor perda).

7.1 Correção da vazão no captor 2

$$Q'_2 = Q_2 \sqrt{\frac{PE_{A-1}}{PE_{A-2}}} = 0,236 \sqrt{\frac{95,36}{80,16}}$$

$$Q'_2 = 0,257 \text{ m}^3/\text{s}$$

8. Vazão no trecho A-B

$$Q_{AB} = Q_1 + Q'_2 = 0,14 + 0,257$$

$$Q_{AB} = 0,397 \text{ m}^3/\text{s}$$

OBS : Naturalmente o sistema se autobalancia, aumentando a velocidade e a perda de carga no tramo de menor perda, igualando (balanceando) os tramos.

9. Dimensionamento do duto principal AB

$V_{AB} = 3.500 \text{ fpm}$ (recomendado para duto principal - ver Figura 6. 38)

$$V_{AB} = \frac{3.500 \times 0,3048}{60} = 17,78 \text{ m/s}$$

$$A_{AB} = \frac{Q_{AB}}{V_{AB}} = \frac{0,397}{17,78} \text{ m}^2$$

Portanto:
$$D_{AB} = \sqrt{\frac{4 \times A_{AB}}{\pi}} = \sqrt{\frac{4 \times 0,397 / 17,78}{\pi}}$$

$$D_{AB} = 169 \text{ mm}$$

9.1 Perda de carga no trecho A-B (duto reto)

$$L_{AB} = 15 \text{ m}$$

$$D_{AB} = 169 \text{ mm}$$

$$Q_{AB} = 0,397 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$V_{AB} = 17,78 \text{ m/s}$$

Ver Abaco 6. 1

$$\Delta PL_{AB} = \frac{0,12 PC_{AB}}{1 \text{ m}} \times L_{AB} = 0,12 \times 15 PC_{AB}$$

$$\Delta PL_{AB} = 1,8 PC_{AB}$$

$$\text{Mas: } PC_{AB} = \left(\frac{V_{AB}}{4,043} \right)^2 = \left(\frac{17,78}{4,043} \right)^2 = 19,34 \text{ mmCA}$$

Portanto:
$$\Delta PL_{AB} = 1,8 \times 19,34 = 34,81 \text{ mmCA}$$

10 Pressão Estática em B vindo de 1 ou 2

$$PE_{B-1} = PE_{B-2} = - (|PE_{A-1}| + \Delta PL_{AB})$$

$$PE_{B-1} = PE_{B-2} = - (95,36 + 34,81)$$

$$PE_{B-1} = PE_{B-2} = - 130,17 \text{ mmCA}$$

11. Vazão necessária para Esmeril 3 (idem 2)

$$Q_3 = 500 \text{ cfm}$$

$$Q_3 = 0,236 \text{ m}^3/\text{s}$$

12. Pressão Estática em B vindo de 3

Considerando que a vazão do captor 3 e a configuração do tramo 3B é igual ao tramo 2A (antes de se fazer a correção para balanceamento), tem-se:

$$\text{Assim: } PE_{B-3} = PE_{A-2} = - 2,505 PC_2 = - 2,505 \times 32$$

$$PE_{B-3} = - 80,16 \text{ mmCA}$$

$$\text{Vale lembrar que: } \begin{cases} D_3 = 115 \text{ mm} \\ Q_3 = 0,236 \text{ m}^3/\text{s} \\ V_3 = 22,86 \text{ m/s} \end{cases}$$

13. Balanceamento das Pressões Estáticas no ponto B

$$\%desbalanc = \frac{|PE_{B-1}| - |PE_{B-3}|}{|PE_{B-3}|} \times 100 = \left(\frac{130,17 - 80,16}{80,16} \right) \times 100$$

$$\%desbalanc = 62,4\%$$

Portanto, como $\%desbalanc. > 20\%$, devemos redimensionar o tramo 3 que é o de menor perda de carga.

13.1 Redimensionamento do duto 3B

$$\text{Sabemos que: } PE_{B-3} = - 2,505 PC_3$$

Portanto, para uma primeira tentativa, se nós impusermos $PE_{B-3} = PE_{B-1} = PE_{B-2}$, podemos calcular a nova Pressão Cinética (PC'_3) e conseqüentemente uma nova velocidade e daí conhecendo-se a vazão, calcular o novo diâmetro do duto 3B. Vale lembrar que é uma primeira tentativa pois o valor 2,505 não é constante, na parcela referente a perda em trecho de duto reto.

13.2 Cálculo do diâmetro tentativo do duto 3B

$$\text{Assumindo } \begin{cases} PE'_{B-3} = PE_{B-1} = - 130,17 \text{ mmCA} \\ 2,505 = \text{constante} \end{cases}$$

$$PC'_3 = \frac{130,17}{2,505} = 51,96 \text{ mmCA}$$

$$\text{Portanto: } V'_3 = 4,043 \sqrt{51,96} = 29,14 \text{ m/s}$$

$$\text{Então: } A'_3 = \frac{Q_3}{V'_3} = \frac{0,236}{29,14} m^2$$

$$\text{Assim: } D'_3 = \sqrt{\frac{4 \times 0,236 / 29,14}{\pi}} \times 1000 mm$$

$$D'_3 = 101,5 \text{ mm}$$

13.3 Cálculo da nova perda no duto reto 3B

$$L_{3-B} = 2,5 \text{ m}$$

$$\left. \begin{array}{l} D'_3 = 101,5 \text{ mm} \\ Q_3 = 0,236 \text{ m}^3/\text{s} \\ V'_3 = 29,14 \text{ m/s} \end{array} \right\} \text{ Figura 19}$$

$$\Delta P'_{L3-B} = \frac{0,22 \times PC'_3}{1m} \times L_{3-B} = 0,22 \times 2,5 PC'_3 \text{ mmCA}$$

$$\Delta P'_{L3-B} = 0,55 PC'_3 \text{ mmCA}$$

13.4 Cálculo da nova Pressão Estática em B vindo de 3

Tendo em vista a não mudança da configuração do captor, dos cotovelos e da junção temos:

$$PE'_{C-3} = - 1,4 PC'_3$$

$$\Delta P'_{cot.} = 0,45 PC'_3$$

$$\Delta P_J = 0,18 PC'_3$$

$$\Delta P'_{L3-B} = 0,55 PC'_3$$

$$\text{Portanto: } PE'_{B-3} = - (1,4 + 0,45 + 0,18 + 0,55) PC'_3$$

$$PE'_{B-3} = - 2,58 \times 51,96$$

$$PE'_{B-3} = - 134 \text{ mmCA}$$

13.5 Novo balanceamento no ponto B

$$\%desbalanc = \frac{|PE'_{B-3}| - |PE_{B-1}|}{|PE_{B-1}|} \times 100 = \left(\frac{134 - 130,17}{130,17} \right) \times 100$$

$$\%desbalanc = 2,9\%$$

Sendo %desbalanc < 5%, consideramos o sistema balanceado adotando-se o valor da Pressão Estática maior do ponto B em diante.

14. Duto principal B – C ; C – D e D – E

$$V_{BC} = 3500 \text{ fpm} = 17,78 \text{ m/s}$$

14.1 – Vazão do trecho B – C

$$Q_{BC} = Q_1 + Q_2 + Q_3$$

$$Q_{BC} = 0,14 + 0,257 + 0,236$$

$$Q_{BC} = 0,63 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$A_{BC} = \frac{0,63}{17,78} = 0,04 \text{ m}^2$$

$$D_{BC} = 212 \text{ mm}$$

14.2 – Cálculo da perda de carga em duto reto

$$L_{BC} = 3 \text{ m}$$

$$L_{CD} = 2 \text{ m}$$

$$L_{DE} = 4 \text{ m}$$

$$D = 212 \text{ mm}$$

$$Q = 0,63 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$V = 17,78 \text{ m/s}$$

Figura 6.22

$$\Delta P_L = \frac{0,095 \times PC}{1 \text{ m}} \times L$$

$$\Delta P_{L_{BC}} = 0,095 \times 3 \times PC_{BC}$$

$$\Delta P_{L_{BC}} = 0,29 \times PC_{BC}$$

Mas: $PC_{BC} = PC_{AB} = 19,34 \text{ mmCA}$

$$\Delta P_{L_{BC}} = 5,51 \text{ mmCA}$$

$$\Delta P_{L_{CD}} = 0,095 \times 2 \times PC_{BC}$$

$$\Delta P_{L_{CD}} = 3,67 \text{ mmCA}$$

$$\Delta P_{L_{DE}} = 0,095 \times 4 \times PC_{BC}$$

$$\Delta P_{L_{DE}} = 7,35 \text{ mmCA} \quad *$$

* pressão estática na saída do ventilador

15. Perdas de cargas totais até o ventilador

Pressão estática até o ventilador

$$P_{E(B)} = - 134 \text{ mmCA}$$

$$P_{E(C)} = - 134 + (- 5,51) \text{ mmCA} = - 139,51 \text{ mmCA}$$

$$P_{E(D)} = - 139,51 + (- 125) + (- 3,67) = - 268,18 \text{ mmCA}$$

16. Pressão e potência do ventilador

$$P_{t(V)} = P_{t(SV)} - P_{t(EV)}$$

$$P_t = P_e - P_c$$

$$P_{e(V)} = P_{t(V)} - P_{c(SV)}$$

N_{RV} = potência requerida pelo ventilador

$$N_{RV} = \frac{Q(m^3 / s) \cdot Pt_{(V)mmCA}}{75 \cdot E_v}$$

$$Pt_{(V)} = Pe_{(SV)} - Pc_{(SV)} - Pe_{(EV)} - Pc_{(EV)}$$

$$Pt_{(V)} = 7,35 + 19,34 - (-268,18) - 19,34$$

$$Pt_{(V)} = 275,53 \text{ mmCA}$$

$$p/E_v = 0,7$$

$$N_{RV} = \frac{0,63 \cdot 275,53}{75 \cdot 0,7}$$

$$N_{RV} = 3,31 \text{ CV}$$

Considerando uma região de pressão 700 mm (cidade de São Paulo, p.ex.)

$$\tau_d = \frac{700}{760} = 0,92$$

$$N_{RV} = 3,31 \tau_d$$

$$N_{RV} = 3,04 \text{ CV}$$

SEGUNDO EXERCÍCIO DE VENTILAÇÃO LOCAL EXAUSTORA

- Dados das Fontes
 - . Moinho
 - .. tipo munhão redondo
 - .. diâmetro interno: 60 polegadas
 - . Peneira vibratória
 - .. tipo cilíndrica
 - .. área da seção circular da peneira: 2 m^2
 - . Silos
 - .. tipo carga mecânica
 - .. captação localizada no ponto de descarga
 - .. área aberta do captor = 2 m^2
 - .. local com pressão atmosférica de 700 mmHg

- Dados do Sistema
 - . Comprimentos de Dutos (m)
 $l_1 = 4$ $l_2 = 3$ $l_3 = 4$ $l_4 = 1,5$ $l_5 = 2,5$ $l_6 = 2$ $l_7 = 1,5$ $l_8 = 2$ $l_9 = 3,5$
 $l_{10} = 2,5$ $l_{11} = 1,5$ $l_{12} = 3$ $l_{13} = 2$ $l_{14} = 2$ $l_{15} = 3,5$ $l_{16} = 1$ $l_{17} = 1,5$
 $l_{18} = 5$ $l_{19} = 1$ $l_{20} = 5$ $l_{21} = 1,5$ $l_{22} = 2$ $l_{23} = 3,5$ $l_{24} = 4$

 - . Junções e cotovelos
Todas as junções tem $\alpha = 30^\circ$
Usar $R = 2D$ para os cotovelos

 - . Ciclone
Perda de carga de 89 mm CA
 - . Filtro Manga
Perda de carga de 150 mm CA

- Outros Dados
 - . Assumir o que for necessário, dentro da boa técnica de engenharia de ventilação.

- Condições do Projeto
 - . Projetar com balanceamento estático.

6.4 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Brasil: Ministério do Trabalho – Segurança e medicina do trabalho. 36º edição. Editora Atlas, 1997.

VALLE PEREIRA FILHO, H.; MELO, C. (1992)

Ventilação industrial. Apostila do curso de Engenharia Mecânica da UFSC.

MESQUITA, A.L.S.; GUIMARÃES, F.A. e NEFUSSI, N. (1988)

Engenharia de ventilação industrial. Ed. CETESB, São Paulo, 442 pgs.

ASSUNÇÃO, J.V. (1989)

Ventilação industrial: proteção à saúde do trabalhador. Artigo da revista Saúde Ocupacional e Segurança, n.3, ano XXIV, 9-22.

ASSUNÇÃO, J.V. et alli (1989)

Ventilação industrial. Apostila da CETESB, São Paulo.

MACINTYRE, A. J. (1990)

Ventilação industrial e controle da poluição. Ed. Guanabara, Rio de Janeiro, 404 p.

AGRADECIMENTOS

Este capítulo foi possível graças ao apoio do CNPQ na forma de bolsa pós-doutoral do autor principal.

ANEXO - CONVERSÃO DE UNIDADES

01 - comprimento

$$1 \text{ ft (pé)} = 12'' = 0,3048 \text{ m} = 30,48 \text{ cm}$$

$$1'' = 2,54 \text{ cm} \quad (1'' = 1 \text{ in} = 1 \text{ polegada})$$

$$1 \text{ m} = 39,37'' = 3,28083 \text{ ft (ou } 3,28 \text{ ft)}$$

$$1 \text{ micrômetro} = 10^{-3} \text{ mm} = 10^{-4} \text{ cm} = 10^{-6} \text{ m}$$

02- Área

$$1 \text{ m}^2 = 10,76 \text{ ft}^2 = 1550 \text{ in}^2 = 10^4 \text{ cm}^2$$

$$1 \text{ ft}^2 = 144 \text{ in}^2 = 0,0929 \text{ m}^2$$

03- Volume

$$1 \text{ ft}^3 = 28,321 = 1728 \text{ in}^3 = 7,48 \text{ gal} = 0,02832 \text{ m}^3$$

$$1 \text{ m}^3 = 35,31 \text{ ft}^3$$

$$1 \text{ in}^3 = 16,39 \text{ cm}^3$$

$$1 \text{ gal (galão americano)} = 3,7851 = 0,1337 \text{ ft}^3 = 231 \text{ in}^3$$

$$1 \text{ bbl (barril ou U.S. barrel)} = 42 \text{ gal} = 158,97 \text{ l}$$

04- Massa

$$1 \text{ lb (libra, pound)} = 453,59 \text{ g} = 0,45359 \text{ kg}$$

$$1 \text{ kg} = 2,205 \text{ lb}$$

$$1 \text{ t métrica} = 1000 \text{ kg} = 1,102 \text{ t curta} = 0,9842 \text{ t longa} = 2205 \text{ lb}$$

05- Massa Específica

$$1 \text{ g/cm}^3 = 62,4 \text{ lb/ft}^3 = 8,33 \text{ lb/gal}$$

06- Velocidade

$$1 \text{ fpm (pé/min)} = 0,00508 \text{ m/s} = 0,3048 \text{ m/min}$$

$$1 \text{ m/s} = 196,85 \text{ fpm}$$

07- Pressão

$$1 \text{ atm}^* = 760 \text{ mm Hg} = 10,33 \text{ m H}_2\text{O} = 29,92'' \text{ Hg} = 33,93 \text{ ft H}_2\text{O} = 14,691 \text{ psi}$$

$$1 \text{ psi} = 0,0703 \text{ kg/cm}^2 = 2,309 \text{ ft H}_2\text{O}$$

$$1 \text{ atm técnica} = 1 \text{ kg/cm}^2 = 0,9678 \text{ atm física}$$

$$1'' \text{ H}_2\text{O a } 60^0\text{F} = 0,0361 \text{ psi}$$

$$(\text{ata} = \text{atmosfera absoluta, psia} = \text{lb/in}^2 \text{ absoluta, psig} = \text{lb/in}^2 \text{ manométrica})$$

$$(*) \text{ atmosfera física} = 1,033 \text{ kg/cm}^2$$