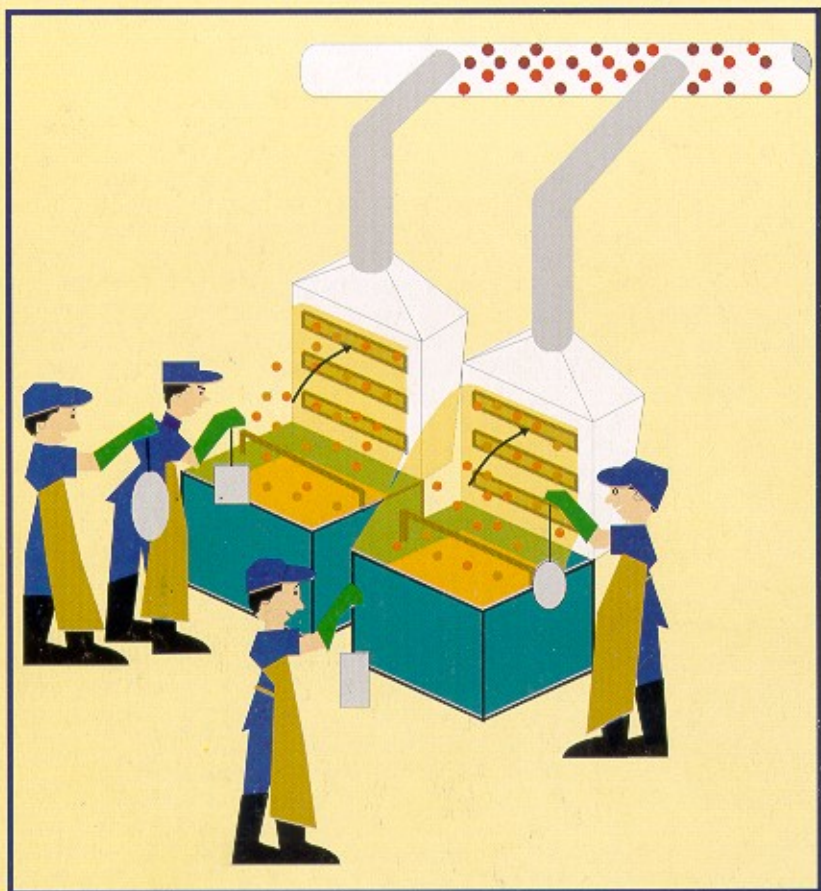


VENTILAÇÃO LOCAL EXAUSTORA EM GALVANOPLASTIA



MINISTÉRIO
DO TRABALHO E EMPREGO



FUNDACENTRO
FUNDAÇÃO JORGE DUPRAT FIGUEIREDO
DE SEGURANÇA E MEDICINA DO TRABALHO

VENTILAÇÃO LOCAL EXAUSTORA
EM GALVANOPLASTIA

PRESIDENTE DA REPÚBLICA
Fernando Henrique Cardoso
MINISTRO DO TRABALHO E EMPREGO
Francisco Dornelles

FUNDACENTRO

PRESIDENTE DA FUNDACENTRO

Humberto Carlos Parro

DIRETOR EXECUTIVO

José Gaspar Ferraz de Campos

DIRETOR TÉCNICO

João Bosco Nunes Romeiro

DIRETOR DE ADMINISTRAÇÃO E FINANÇAS

Antonio Sérgio Torquato

ASSESSORA ESPECIAL DE PROJETOS

Sonia Maria José Bombardi

DIVISÃO DE PUBLICAÇÕES

Elisabeth Rossi

Fernando Vieira Sobrinho

Engenheiro Químico
Engenheiro de Segurança do Trabalho
FUNDACENTRO – Centro Técnico Nacional – CTN/SP

VENTILAÇÃO LOCAL EXAUSTORA EM GALVANOPLASTIA

Colaboração:
Francisco Kulesar Neto
Lourenil A. Ferreira
Paulo S. S. Barros
Ronildo Barros Órgão

Elaborado pela Coordenação de Segurança no Processo de Trabalho
durante o Projeto Segurança e Higiene em Galvânicas.

MINISTÉRIO
DO TRABALHO E EMPREGO



FUNDACENTRO
FUNDAÇÃO JORGE DUPRAT FIGUEIREDO
DE SEGURANÇA E MEDICINA DO TRABALHO

2002

Copyright © 1995 – FUNDACENTRO, Fernando Vieira Sobrinho

DADOS INTERCIONAIS DE CATALOGAÇÃO NA PUBLICAÇÃO
DB – FUNDACENTRO

V718v Vieira Sobrinho, Fernando, 1954 –
Ventilação local exaustora em galvanoplastia / Fernando Vieira Sobrinho;
colaboração [de] Francisco Kulcsar Neto...[et al.]. – São Paulo: FUNDACENTRO,
1996.
50p. : il.

Elaborado durante o desenvolvimento do Projeto Segurança e Higiene em
Galvânicas – 1995

1. Galvanização – Ventilação exaustora 2. Galvanização – Risco químico 3.
Ventilação industrial – Equipamento – Higiene e segurança do trabalho I. Kulcsar
Neto, Francisco II. FUNDACENTRO III. Título

CDU	621.357.7:621.63	CIS	HyeHg Sevel
	621.357.7:613.63		HyeHg Fyht Mg
	628.83:67.05:614.8		Seve Hm A

ÍNDICES PARA CATÁLOGO SISTEMÁTICO

- | | |
|---|--------------------------------------|
| 1. Galvanização - Ventilação exaustora | 621.357.7:621.63*
HyeHg Sevel** |
| 2. Galvanização - Risco Químico | 621.357.7:613.63*
HyeHg Fyht Mg** |
| 3. Ventilação industrial - Equipamento - Higiene
e segurança no trabalho | 628.83:67.05:614.8*
Seve Hm A** |
| 4. Ventilação exaustora - Galvanização | 621.63:621.357.7*
Sevel HyeHg**r |
| 5. Risco Químico - Galvanização | 613.63:621.357.7*
Fyht Mg HyeHg** |
| 6. Higiene e segurança do trabalho - Ventilação
industrial - Equipamento | 614.8:628.83:67.05*
A Seve Hm** |
| 7. Equipamento - Ventilação industrial - Higiene
e segurança do trabalho | 67.05.628.83:614.8*
Hm Seve A** |

* Classificação Decimal Universal

** Classificação do "Centre International d'Informations de Sécurité et d'Hygiène du Travail"

AGRADECIMENTOS

Agradecimentos aos participantes do projeto Segurança e Higiene em Galvânicas abaixo relacionados, e a todos os funcionários da FUNDACENTRO que indiretamente também colaboraram de forma valiosa para que esta publicação fosse realizada.

Agda Aparecida Delia, Amarildo Aparecido Pereira,
Carlos Sergio da Silva, Cláudio do Valle Giuliano, Janaína Pessoa Oliveira
João Apolinário da Silva, Myriam Matsuo,
Moira Martins Andrade, Ronildo Barros Órfão, Salim Amed Ali

Agradecimentos especiais aos Engenheiros Jorge Santos Reis e Roberto do Valle Giuliano, pela importante colaboração no final dos encaminhamentos.

Aos pais:

† Odilon Newton Silva
Lecyr de Souza Vieira

PREFÁCIO

"Não há dúvidas de que a ventilação local exaustora é uma das ferramentas mais eficazes disponíveis para os profissionais de segurança e higiene do trabalho efetuarem o controle Os ambientes laborais.

A eficácia do sistema pode ser incrementada combinando-se a ventilação local exaustora com outras medidas de controle.

Entretanto, o sistema deve ser projetado, instalado e operado corretamente, se é esperado alcançar-se todo o seu potencial. Erros cometidos na fase de projeto geralmente requerem redimensionamento total do sistema, com custo equivalente ao inicial.

Todo sistema deve ser checado após a instalação para que se tenha certeza de que atende às especificações do projeto.e de que as concentrações dos poluentes estejam reduzidas aos níveis seguros desejados.

É de fundamental importância mencionar que a falta de manutenção adequada de qualquer sistema de exaustão produzirá degradação e queda de eficiência no decorrer do tempo".

(Burgess, Ellenbecker, Treitman...1999)

SUMÁRIO

AGRADECIMENTOS	05
PREFÁCIO	07
1 CONSIDERAÇÕES INICIAIS	13
2 PRINCÍPIOS BÁSICOS DE HIGIENE INDUSTRIAL	15
3 CONSIDERAÇÕES BÁSICAS SOBRE PROCESSOS ELETROLÍTICOS	17
4 TOXIDADE DOS PRODUTOS	
5 PRINCÍPIOS BÁSICOS DE VENTILAÇÃO INDUSTRIAL	23
5.1 Perdas de carga através de tubulações	24
5.2 Alcance de sucção de um captor	26
5.3 Reposição de ar de interiores	27
6 COMPONENTES DE UM SISTEMA DE VLE	29
6.1 Tipos de captor	30
6.2 Ventiladores	34
6.3 Coletores	34

6.4 Dutos	35
6.5 Descarga	35
7 VARIÁVEIS DE INTERESSE PARA O DIMENSIONAMENTO DE UM CAPTOR	37
7.1 Velocidade de fresta	42
7.2 Velocidade de face	42
7.3 Velocidade de controle ou de captura	43
7.4 Velocidade de transporte nos dutos	44
7.5 Velocidade no <i>plenum</i>	44
7.6 Vazão de controle	45
7.7 Taxa de exaustão	45
7.8 Correntes de exaustão	45
7.9 Tabelas	46
8 ROTEIRO PARA O DIMENSIONAMENTO DE UM CAPTOR	51
8.1 Exemplos de aplicação	53
8.1.1 Tanque de cromação	53
8.1.2 Tanque de decapagem de ferro/aço com ácido sulfúrico	56
8.2 Sistema integrado de captadores	57
9 SISTEMA SOPRO-EXAUSTÃO (<i>Push-Pull</i>)	61
10 VENTILAÇÃO GERAL, VETILAÇÃO GERAL DILUIDORA E REPOSIÇÃO DE AR EXAURIDO	63
11 AVALIAÇÃO DA EFICIÊNCIA DE UM CAPTOR	67
11.1 Metodologia de avaliação da eficiência de um captor	68
11.1.1 Introdução	68
11.1.2 Avaliação do fluxo de ar (superfície de controle)	68
11.1.3 Avaliação dos parâmetros dimensionais	72
11.1.4 Avaliação da velocidade do ar	72
11.1.5 Amostragem do ar ambiente	74
11.2 Exemplo real de avaliação da eficiência de um captor	76
12 EXAUSTÃO EM OPREACÕES DE LIMPEZA E POLIMENTO	83
13 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	85

LISTA DE TABELAS

TABELA 1	Velocidade de Transporte nos Dutos
TABELA 2	Determinação do Risco Potencial
TABELA 3	Determinação da Taxa de Evaporação
TABELA 4	Velocidade de Controle Mínima Para Locais Sem Correntes Cruzadas
TABELA 5	Taxa de Exaustão Mínima para Exaustão Lateral
TABELA 6	Processos Típicos e Respectivas Liberações de Contaminantes e Classes de Risco

LISTA DAS FIGURAS

FIGURA 1	Fluxo de ar entre dois pontos
FIGURA 2	Perdas de carga através de um sistema de dutos
FIGURA 3	Alcance de sucção de um captor
FIGURA 4	Admissão de ar externo
FIGURA 5	Componentes de um SVLE
FIGURA 6	Captor tipo fresta
FIGURA 7	Captor tipo fresta com flange
FIGURA 8	Captor tipo frestas laterais
FIGURA 9	Captor tipo multi-fresta
FIGURA 10	Captor tipo cabine
FIGURA 11	Captorees tipo coifa e capela
FIGURA 12	Duto de descarga adequado
FIGURA 13	Duto de descarga inadequado
FIGURA 14	Captorees tipo coifa e capela
FIGURA 15	Captor tipo fresta lateral
FIGURA 16	Captor tipo frestas laterais
FIGURA 17A	Cabine com exaustão lateral
FIGURA 7B	Cabine com exaustão lateral e posicionamento do trabalhador
FIGURA 18	Captor tipo multifresta
FIGURA 19	Banho com exaustão lateral
FIGURA 20	Velocidade de fresta
FIGURA 21	Velocidade de face
FIGURA 22	Tanque com exaustão lateral
FIGURA 23	Velocidade de transporte nos dutos
FIGURA 24	<i>Plenum</i>

FIGURA 25	Correntes cruzadas
FIGURA 26	Fresta única teórica
FIGURA 27	Dimensionamento das frestas laterais
FIGURA 28	Fresta dimensionada
FIGURA 29	Sistema integrado de captores
FIGURA 30	Curvas
FIGURA 31	Expansões e contrações
FIGURA 32	Ramificações ou entradas
FIGURA 33A	Sistema sopro-exaustão
FIGURA 33B	Sopro-exaustão - especificações
FIGURA 34	Ventilação geral diluidora
FIGURA 35	Princípios de ventilação geral diluidora
FIGURA 36	Fluxo de ar em captor tipo fresta lateral
FIGURA 37	Fluxo de ar em captor tipo frestas laterais
FIGURA 38	Fluxo de ar em captor tipo coifa
FIGURA 39	Fluxo de ar em captor tipo multifresta
FIGURA 40	Velocidades do ar
FIGURA 41	Avaliação das velocidades de face e de fresta
FIGURA 42	Amostragem do ar ambiente
FIGURA 43	Banho de cromo duro
FIGURA 44	Esquema para exaustão lateral
FIGURA 45	Banhos e enxaguamento - posição relativa ideal
FIGURA 46	Banho com espuma seladora
FIGURA 47	Uso de bolas plásticas ou de isopor
FIGURA 48A	Cabine com flange
FIGURA 48B	Visão geral da cabine com flange
FIGURA 49A	Limpeza de peça sem exaustão liberando poeira de material pesado
FIGURA 49B	Limpeza de peça sem exaustão liberando poeira e fibras leves
FIGURA 50	Captor-coletor

1 CONSIDERAÇÕES INICIAIS

A Ventilação Local Exaustora (VLE) é um dos recursos mais eficazes para o controle dos ambientes de trabalho, principalmente quando aplicada em conjunto com outras medidas que visem a redução, ou mesmo a eliminação, da exposição de trabalhadores a contaminantes químicos presentes ou liberados na forma de névoas, gases, vapores e poeiras.

Para atingir o objetivo de manter o ambiente de trabalho dentro de parâmetros seguros em termos de contaminação do ar e, por conseguinte, preservar a saúde dos trabalhadores, é indispensável que o sistema de exaustão seja projetado, construído, instalado, operado e mantido segundo os melhores preceitos da Engenharia, atendendo às necessidades específicas de cada processo ou operação a ser controlada.

Um sistema de exaustão dimensionado de forma inadequada obviamente não cumpre o seu papel e, além do mais, induz os trabalhadores a terem a falsa sensação de que o sistema de VLE está protegendo o ambiente. As conseqüências são os prejuízos à saúde desses trabalhadores.

Via de regra, o custo financeiro para a reformulação de um sistema de VLE mal dimensionado equivale ao custo total do sistema instalado, pois há necessidade de um total redimensionamento, uma vez que são sistemas executados sob medida.

Trabalhos efetuados pela FUNDACENTRO em empresas que utilizam processos de galvanoplastia demonstraram a existência de sistemas de VLE instalados sem que fossem observados princípios elementares de Higiene Industrial (por exemplo, um estudo da forma de realização das tarefas pelos operários e do fluxo de ar gerado pela VLE sobre a superfície dos tanques) e, tam-

pouco, os parâmetros de eficiência mecânica recomendados pelos manuais de ventilação industrial. Houve casos, comprovados, nos quais o sistema de VLE agravava a exposição dos trabalhadores aos poluentes.

De outro lado, levantamento bibliográfico feito sobre o tema abordado por esta publicação, mostrou a inexistência de normas técnicas e de legislação sobre o uso da VLE como ferramenta para o controle de processos industriais que gerem poluentes do tipo das névoas do ácido crômico, por exemplo.

Em razão das considerações anteriores, o presente trabalho foi elaborado com os objetivos de propiciar informações básicas para profissionais envolvidos com as atividades de galvanoplastia, segurança e saúde do trabalhador, com projetos de ventilação industrial; além de divulgar dados obtidos em estudos e pesquisas.

Almeja-se, como objetivo central, a especificação dos captores, levando-se em consideração o tipo de fluxo de ar que os mesmos devam gerar sobre a superfície a ser controlada, de forma a se retirarem os poluentes antes que os mesmos contaminem o ambiente de trabalho e atinjam a zona respiratória do trabalhador.

A elaboração de um projeto completo de ventilação industrial é tarefa que, para alcançar resultados positivos, requer a atuação de profissionais capacitados, não só, nos aspectos mecânicos intrínsecos como também em saúde ocupacional.

Em resumo, esta publicação fornece subsídios para o dimensionamento correto de captores de sistemas de VLE, combinando os fundamentos básicos da Mecânica dos Fluidos com conceitos da Higiene Industrial. É também apresentado um capítulo sobre avaliação de eficiência, para captores já instalados.

PRINCÍPIOS BÁSICOS DE HIGIENE INDUSTRIAL

obtenção de um ambiente de trabalho isento de contaminação ambiental por agentes químicos requer a aplicação de três princípios:

- a) Reconhecimento dos riscos (potenciais e reais)
- b) Avaliação dos riscos (quantificação e comparação)
- c) Controle dos riscos (redução e eliminação)

Vejam, como exemplo, a aplicação dos princípios acima em uma área onde ocorre o processo de cromação: o engenheiro ou químico responsável tem conhecimento das características do processo e dos produtos e subprodutos gerados nas reações. Um estudo do processo e dos aspectos toxicológicos dos produtos químicos usados e gerados nas reações consiste então no **reconhecimento dos riscos**. Sabe-se, por exemplo, que névoas de ácido crômico, nas quais o cromo se apresenta na forma hexavalente, são liberadas para o ambiente, com potencial para causar diversos danos à saúde dos trabalhadores, como ulcerações na pele, perfuração do septo nasal e até mesmo câncer pulmonar.

A avaliação ambiental, feita de forma estratégica para medir a concentração de poluentes no ar, nos pontos onde o trabalhador está presente durante sua jornada de trabalho, propicia dados quantitativos que podem, então, ser comparados com referências técnicas e legais que indicam se o ambiente requer medidas de controle para a adequação aos parâmetros aceitos cientificamente (avaliação dos riscos).

Uma vez caracterizada a presença dos riscos, o passo seguinte é a adoção de providências que eliminem a presença dos agentes nocivos ou redu-

zam ao mínimo, bem abaixo dos limites legais, a exposição dos trabalhadores a tais agentes (controle dos riscos).

O procedimento correto é a realização do estudo relativo à segurança e higiene do trabalho na fase de elaboração do projeto de uma instalação industrial. A VLE tem sua eficácia aumentada quando se adotam medidas complementares de controle. Essas medidas podem ser técnicas (mudanças no processo, substituição do produto por outro menos nocivo, enclausuramento, segregação no espaço, utilização correta de equipamentos de proteção individual), ou administrativas (rotatividade de funcionários entre áreas onde possam existir poluentes e áreas isentas, treinamento e fornecimento de informação aos funcionários, realização de exames médicos periódicos).

A aplicação da VLE requer o uso de ventilação natural e ventilação geral diluidora adequadamente projetadas para os locais a serem controlados.

CONSIDERAÇÕES BÁSICAS SOBRE PROCESSOS ELETROLÍTICOS

O processo de revestimento eletrolítico de uma peça por um metal (cromação, niquelarão, etc.) tem como finalidade o embelezamento, a proteção contra corrosão ou o aumento da resistência de um material destinado a trabalhos mecânicos pesados.

O processo consiste, basicamente, na imersão da peça a ser revestida em uma solução (banho) por determinado período de tempo.

Durante o processo, ocorre a passagem de uma corrente elétrica contínua através da solução contendo íons do metal que irá revestir a peça.

No exemplo da cromação, os íons do metal cromo (positivamente carregados) são atraídos para o cátodo (eletrodo negativo), que é a própria peça trabalhada. Ali o metal de revestimento se deposita, sendo formadas grandes quantidades de bolhas de hidrogênio, em consequência de reação secundária. Paralelamente, no ânodo (eletrodo positivo) ocorre o desprendimento de outro gás, normalmente o oxigênio. As bolhas liberadas no processo, juntamente com a evaporação normal do banho, provocam o arraste de minúsculas partículas da solução para o ar (névoas). Grande parte da corrente utilizada é responsável pela formação do gás hidrogênio, e o processo ocorre a uma temperatura maior do que a ambiente. Assim, as variáveis temperatura e amperagem influem grandemente na quantidade de névoas desprendidas para o ambiente de trabalho.

No processo de "cromo duro", o objetivo é a obtenção de peças com camadas maiores de cromo depositado, permitindo sua utilização em condições de trabalho pesado. O tempo de permanência da peça no banho é, então, bastante superior ao que ocorre nos processos de cromo decorativo. Essa di-

ferença no tempo do processamento e também a maior amperagem utilizada implicam uma quantidade de névoas bastante maior. Cerca de 85% da corrente produz gás hidrogênio nos processos de cromação.

TOXICIDADE DOS PRODUTOS

Qualquer elemento ou substância química possui potencial toxicológico, que depende da dose com a qual o organismo entra em contato e da via de penetração nesse mesmo organismo.

Nas indústrias que operam com banhos de galvanoplastia são encontrados diversos produtos químicos utilizados como matéria-prima ou gerados nas reações que ocorrem nos processos.

Os produtos químicos podem estar na forma de sais como os cianetos; na forma de líquidos ou soluções, como os solventes e os ácidos/banhos, e na forma de névoas ou vapores, como os vapores de solventes e as névoas ácidas e alcalinas.

Os efeitos nocivos à saúde dos trabalhadores dependem basicamente dos seguintes fatores:

- toxicidade do produto
- quantidade de produto em contato com o organismo e tempo
- de exposição ao mesmo
- via de penetração do produto no organismo
- susceptibilidade individual

São a seguir descritos os riscos decorrentes dos principais produtos utilizados nos processos de galvanoplastia:

ÁCIDO SULFÚRICO, NÍTRICO, CLORÍDRICO E FLUORÍDRICO

- a) Por contato - queimaduras, descoloração da pele (ácido nítrico), conjuntivite, danos à córnea e até cegueira.

- b) Inalação - irritação das vias respiratórias superiores, corrosão dental, coriza, congestão nasal e problemas pulmonares.

ÁCIDO CRÔMICO

- a) Por contato - dermatites e ulcerações da pele.
b) Inalação - irritação das vias respiratórias superiores, podendo chegar à perfuração do septo nasal e câncer pulmonar.

SOLVENTES CLORADOS

- a) Por contato - conjuntivite e inflamações da pele. Embora muito raro, exposições prolongadas podem levar à paralisção parcial dos dedos.
b) Inalação - irritação das vias respiratórias superiores, problemas pulmonares, náuseas, falta de apetite e distúrbios do sistema nervoso central.
- arritmia cardíaca, que pode ser fatal.

HIDRÓXIDO DE AMÔNIA

- a) Por contato - danos à vista, irritação da pele e mucosas.
b) Por inalação - dores de cabeça, náuseas e vômitos, dificuldade de respiração e problemas pulmonares.

NÍQUEL E SAIS

Dermatites de contato

CIANETOS

- Por ingestão - pequenas quantidades podem levar à morte.
- os cianetos em contato com um meio ácido liberam o gás cianídrico (HCN) que é fatal por inalação.

HIDRÓXIDO DE SÓDIO (SODA CÁUSTICA)

- a) Por contato - queimaduras da pele, conjuntivite e até cegueira.
b) Inalação - irritação das vias respiratórias superiores e problemas pulmonares.

CLORETO DE ZINCO

- a) Por contato - conjuntivite, inflamações da córnea e dermatites.
- b) Inalação - irritação das vias respiratórias superiores, dificuldades de respiração e problemas pulmonares, febre, náuseas e vômitos.

A legislação brasileira, por meio da NR-15, da Portaria 3214 do Ministério do Trabalho, estabelece limites de tolerância para produtos sob a forma de gases, névoas e vapores, para jornadas de trabalho de até 48 horas semanais. O limite de tolerância para o ácido crômico, por exemplo, é de 0,04 mg/m³ (miligramas por metro cúbico no ar).

O limite de tolerância é um valor que não deve ser interpretado como uma fronteira entre situações seguras e não-seguras, mas como uma referência para a adoção de medidas de controle do ambiente e outras providências legais.

Trabalhos efetuados pela FUNDACENTRO em empresas que utilizam processos de cromação demonstraram que trabalhadores expostos a valores inferiores ao limite de tolerância apresentavam ocorrências bem significativas de problemas de saúde. Existem dados que evidenciam a necessidade de uma revisão da Portaria 3214 no que tange aos limites de tolerância e métodos de avaliação ambiental (amostragem do ar para a determinação da concentração de determinado poluente). Os métodos atualmente disponíveis para coleta de amostras de ar na presença do ácido crômico dificultam a avaliação de picos de exposição (altas concentrações em períodos curtos de tempo).

5
PRINCÍPIOS BÁSICOS DE VENTILAÇÃO INDUSTRIAL

A movimentação de ar entre dois pontos, P_1 e P_2 , ocorre em razão da diferença de pressão entre esses dois pontos. Tal diferença de pressão gera uma força que resulta no fluxo de ar entre as zonas de alta e baixa pressão.

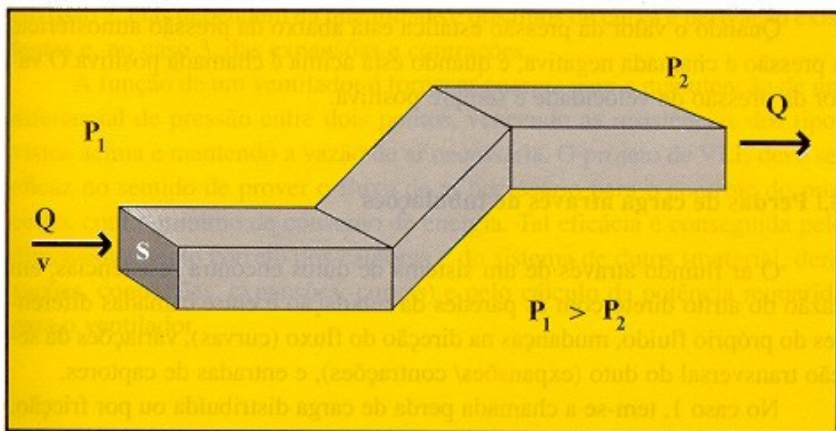


Figura 1 - Fluxo de ar entre dois pontos

Num sistema de VLE a diferença de pressão entre dois pontos ocorre de forma forçada, com o auxílio de um equipamento mecânico (ventilador).

A vazão, a área da seção transversal do duto e a velocidade do ar estão relacionadas de acordo com a equação $Q = v \times S$, onde:

- $Q =$ vazão de ar (m^3/s) (metros cúbicos por segundo)
 $v =$ velocidade do ar na seção transversal considerada (m/s)
(metros por segundo)
 $S =$ seção transversal por onde passa o fluxo de ar (m^2)
(metros quadrados)

A equação $Q = v \times S$ descreve o fluxo de ar sob quaisquer condições.

As unidades mais utilizadas para as variáveis da equação do fluxo de ar são:

Vazão: m^3/s e cfm (*cubic feet per minute* - pés cúbicos por minuto)

Velocidade: m/s e fpm (*feet per minute* - pés por minuto)

Área: m^2 e Sqft (*square feet* - pés quadrados)

O ar em movimento a certa velocidade cria uma pressão de valor definido, exercida na direção do fluxo, chamada de **pressão de velocidade ou pressão cinética ou dinâmica**.

O ar confinado em um recipiente ou compartimento qualquer, em movimento ou não, cria um outro tipo de pressão, exercida em todas as direções perpendiculares às paredes que o contém. Essa pressão é chamada de **pressão estática**.

A soma das pressões estática e dinâmica é chamada de **pressão total**.

Quando o valor da pressão estática está abaixo da pressão atmosférica, a pressão é chamada negativa, e quando está acima é chamada positiva. O valor da pressão de velocidade é sempre positiva.

5.1 Perdas de carga através de tubulações

O ar fluindo através de um sistema de dutos encontra resistências, em razão do atrito direto com as paredes da tubulação e entre camadas diferentes do próprio fluido, mudanças na direção do fluxo (curvas), variações da seção transversal do duto (expansões/ contrações), e entradas de captadores.

No caso 1, tem-se a chamada perda de carga distribuída ou por fricção, e nos casos 2 e 3 ocorrem as perdas de carga localizadas ou por turbulência, também chamadas de singularidades.

Um outro tipo de perda de carga (4) é aquele devido às resistências que ocorrem na entrada de ar de um SVLE e que varia conforme a geometria e a aerodinâmica da abertura de sucção (captor).

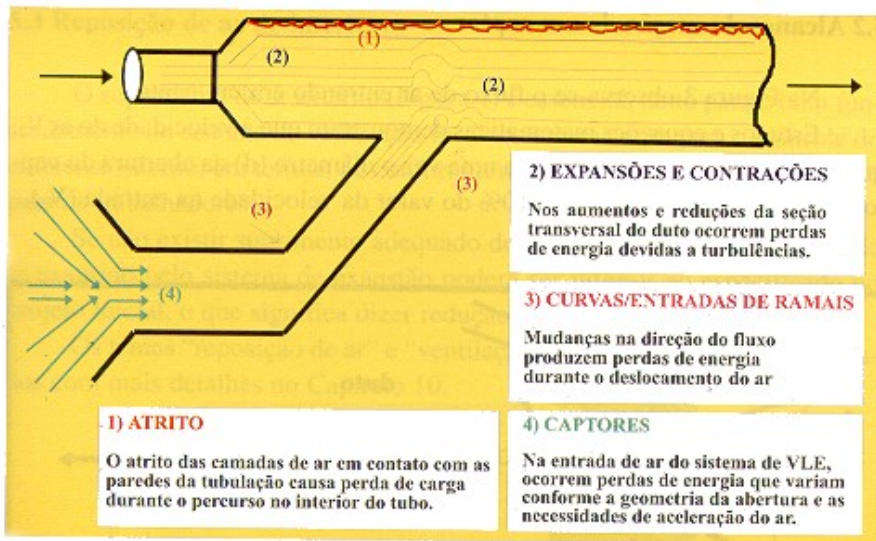


Figura 2 - Perdas de carga através de um sistema de dutos

As perdas de carga no caso 1 são diretamente proporcionais ao comprimento da tubulação e dependem do tipo de material de construção do duto. No caso 2, elas dependem da quantidade e dos tipos de curva e derivação existentes e, no caso 3, das expansões e contrações.

A função de um ventilador é fornecer energia para a manutenção de um diferencial de pressão entre dois pontos, vencendo as resistências dos tipos vistos acima e mantendo a vazão de ar necessária. O projeto de VLE deve ser eficaz no sentido de prover o fluxo de ar necessário para o controle do processo, com o mínimo de consumo de energia. Tal eficácia é conseguida pelo dimensionamento correto dos captadores e do sistema de dutos (material, derivações, contrações, expansões, curvas) e pelo cálculo da potência requerida para o ventilador.

5.2 Alcance de sucção de um captor

Na figura 3 observa-se o fluxo de ar entrando em um captor.

Estudos e equações matemáticas demonstram que a velocidade do ar V_2 , quando medida à distância igual a uma vez o diâmetro (d) da abertura do captor, cai para aproximadamente 10% do valor da velocidade na entrada (V_1).

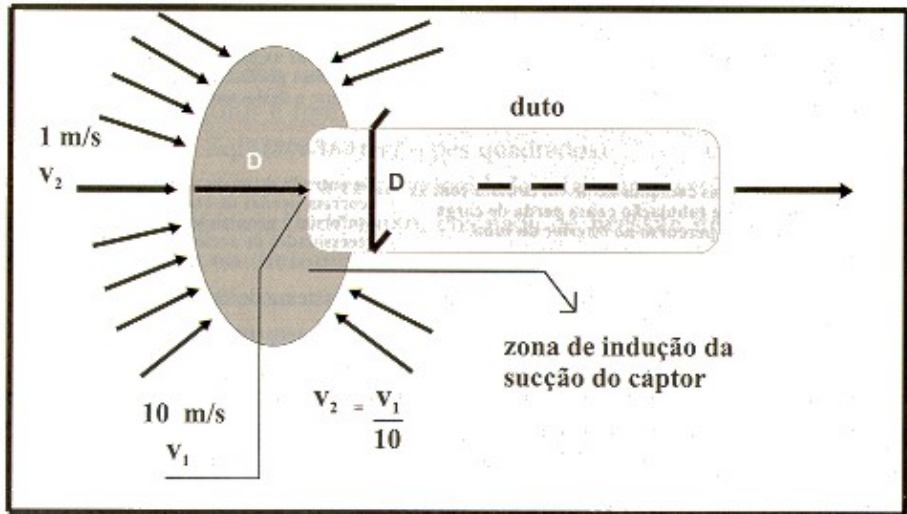


Figura 3 - Alcance de sucção de um captor

5.3 Reposição de ar de interiores

O suprimento de ar externo (Figura 4) é essencial, tanto para o bom funcionamento do sistema de ventilação local exaustora como para o controle do ambiente interno, em termos de conforto térmico e fornecimento de ar fresco para os trabalhadores.

Se não existir suprimento adequado de ar externo, o volume efetivo de ar exaurido pelo sistema de exaustão poderá ser inferior ao especificado no projeto inicial, o que significa dizer redução de eficiência.

Os temas “reposição de ar” e “ventilação geral diluidora” serão abordados com mais detalhes no Capítulo 10.

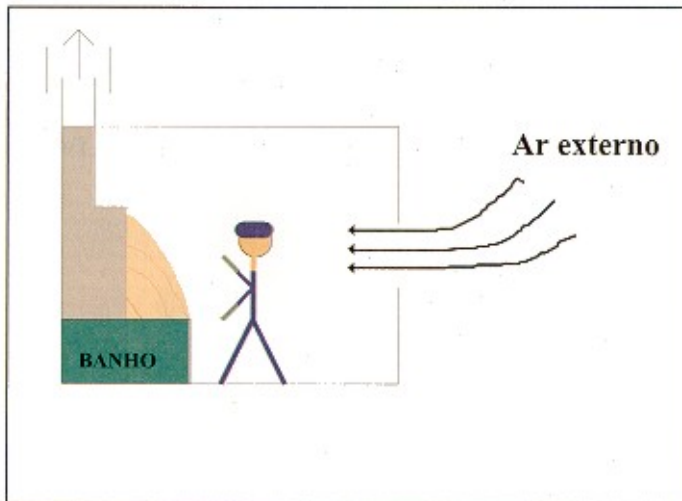


Figura 4 - Admissão de ar externo

6
COMPONENTES DE UM SISTEMA DE VLE

Na Figura 5, temos esquematicamente os componentes básicos de um sistema de VLE.

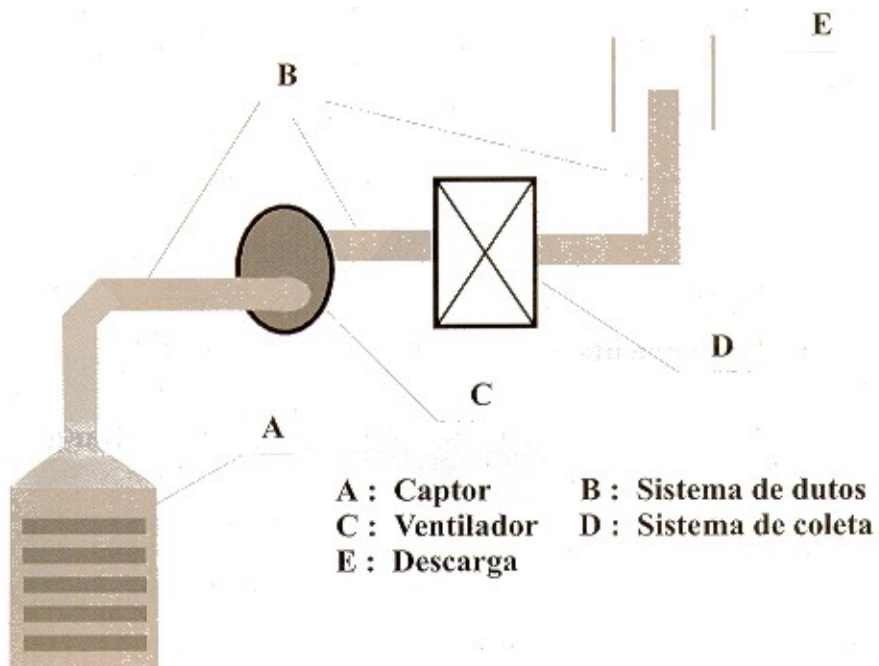


Figura 5 - Componentes de um SVLE

6.1 Tipos de captor

O captor é o ponto de entrada dos poluentes no sistema de exaustão.

A escolha do tipo de captor mais adequado para certo processo depende de fatores ambientais e da forma como é executada a tarefa pelos trabalhadores. Atualmente, na maioria das galvanicas no Brasil, a colocação e a retirada das peças dos banhos e feita manualmente, pelos trabalhadores.

As Figuras 6 e 11 ilustram os tipos de captor mais encontrados em galvanicas nos trabalhos realizados pela FUNDACENTRO nos últimos anos, no estado de São Paulo. A adequação e eficiência dos diferentes tipos de captor serão discutidas em capítulos específicos desta publicação.

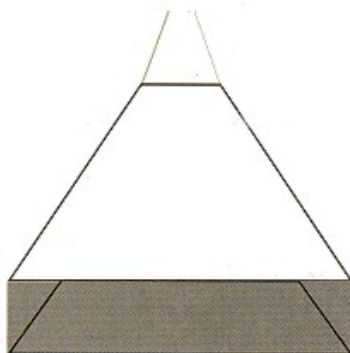


Figura 6 - Captor tipo fresta



Figura 7 - Captor tipo fresta com flange

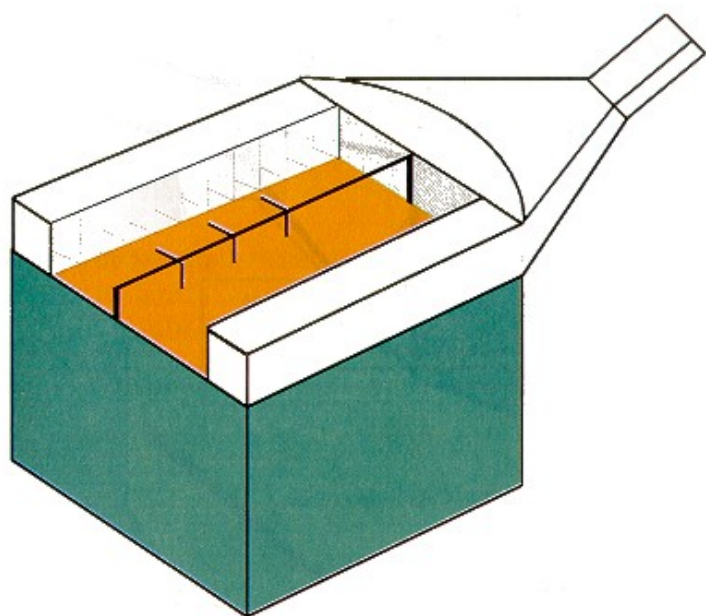


Figura 8 - Captor tipo frestas laterais

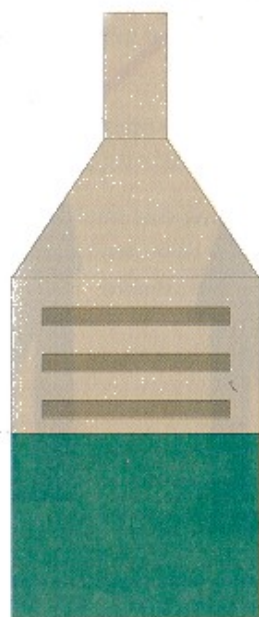


Figura 9 - Captor tipo multifresta

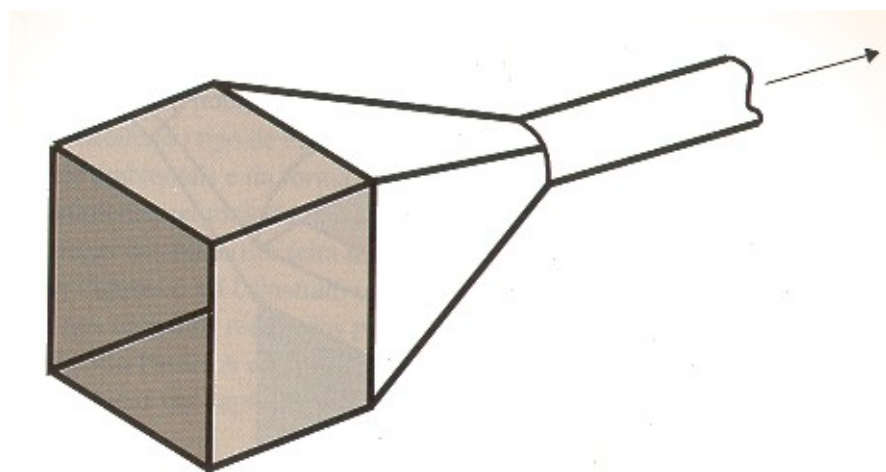


Figura 10 - Captor tipo cabine



Figura 11 - Captadores tipo coifa e capela

6.2 Ventiladores

O ventilador é o equipamento responsável pelo suprimento da energia necessária para a obtenção do fluxo de ar ideal para o processo, por meio da geração de uma pressão estática suficiente para vencer as resistências vis tas no item 5.1, bem como de uma pressão de velocidade que mantenha o ar em movimento.

Na escolha do ventilador mais adequado ao projeto, devem ser considerados alguns fatores como:

a) Tipo de poluente

- materiais particulados como poeiras e fibras, podem acelerar o desgaste dos rotores e carcaça, por causa do atrito contínuo. Em razão disso o ventilador deve ser instalado após o filtro;
- misturas gasosas inflamáveis e/ou explosivas requerem construções à prova de faíscas e motores à prova de explosão;
- névoas corrosivas requerem revestimento superficial protetivo adequado.

b) Localização

Ventiladores não devem ser instalados em interiores, pois normalmente constituem fator de incremento de níveis de ruído, causando um problema de Saúde Ocupacional. Recomenda-se a instalação de ventiladores em casa de máquinas, fora do ambiente de trabalho.

c) Eficiência

O equipamento deve trabalhar no ponto de operação, atendendo às especificações com o mínimo de consumo de energia e o máximo de rendimento.

d) Densidade e temperatura das misturas exauridas

Os ventiladores são de dois tipos básicos:

- ventiladores axiais: normalmente aplicados em ventilação geral diluidora;
- ventiladores centrífugos: geralmente destinados à ventilação local exaustora.

6.3 Coletores

Os coletores são equipamentos destinados a remover os contaminantes da corrente de ar exaurida do processo, antes da descarga para o ambiente externo.

Existem vários tipos de coletor, e a escolha depende de fatores relativos às propriedades do contaminante e do gás carreador (propriedades físico-químicas e temperatura) e de aspectos práticos e econômicos.

6.4 Dutos

Os dutos constituem o sistema responsável pela condução da mistura ar + poluentes exauridos do processo.

O sistema de dutos deve ser dimensionado de forma a reduzir ao mínimo as perdas de carga, o que pode ser obtido mediante a observação criteriosa das recomendações dos manuais de ventilação industrial.

O material de construção dos dutos deve ser resistente à corrosão e à abrasão que possa ser provocada pelos poluentes presentes na corrente exaurida.

6.5 Descarga

A descarga da corrente de ar exaurida deve ser feita para fora do ambiente e de forma que ela não retorne pelas tomadas de ar e aberturas naturais do prédio. Neste ponto também ocorrem perdas de carga.

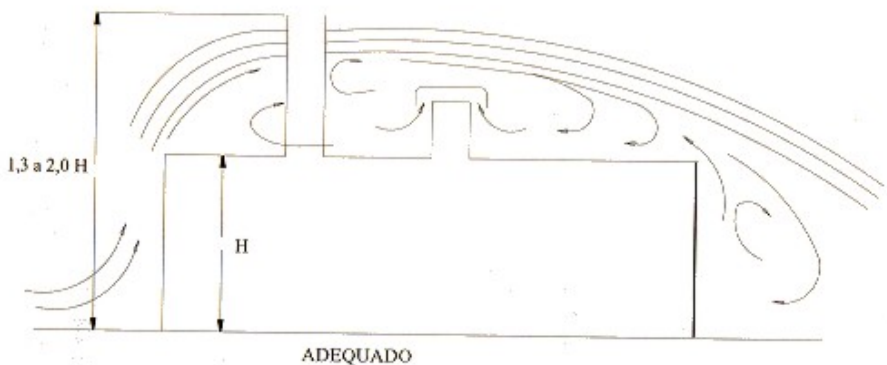


Figura 12 - Duto de descarga alto em relação à altura do prédio e à entrada de ar do teto

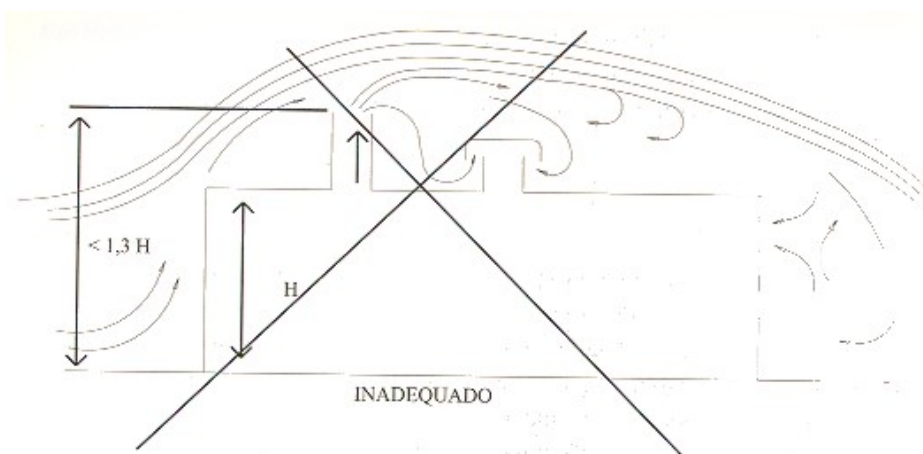
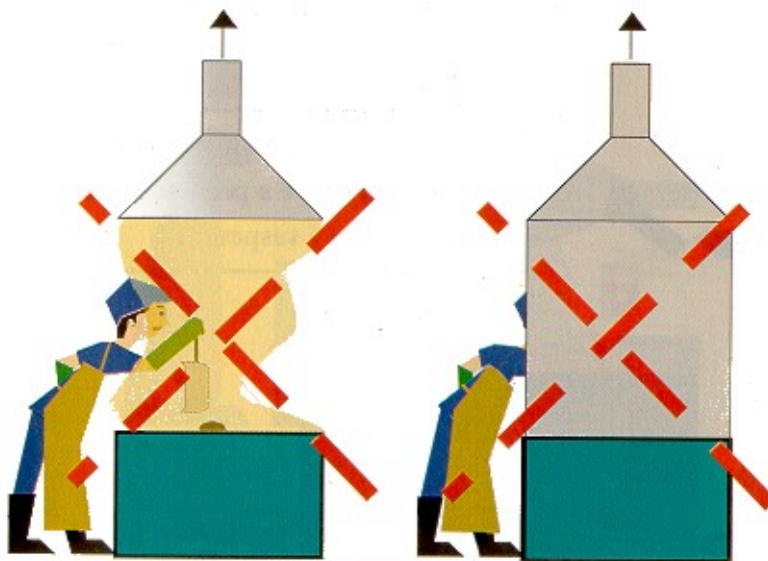


Figura 13 - Duto de descarga baixo em relação à altura do edifício e às entradas de ar natural

7
VARIÁVEIS DE INTERESSE PARA
O DIMENSIONAMENTO DE UM CAPTOR

As Figuras 14 e 18 mostram os tipos de captor encontrados no trabalho realizado pela FUNDACENTRO, incluindo-se os respectivos fluxos de ar que os mesmos impõem sobre as superfícies dos tanques, supondo-se que o ventilador esteja suprindo a energia necessária para tanto.



Estes modelos são inadequados, pois os vapores e névoas tóxicas passam diretamente pela zona respiratória do trabalhador.

Figura 14 - Captadores tipo coifa e capela



Figura 15 - Captor tipo fresta lateral

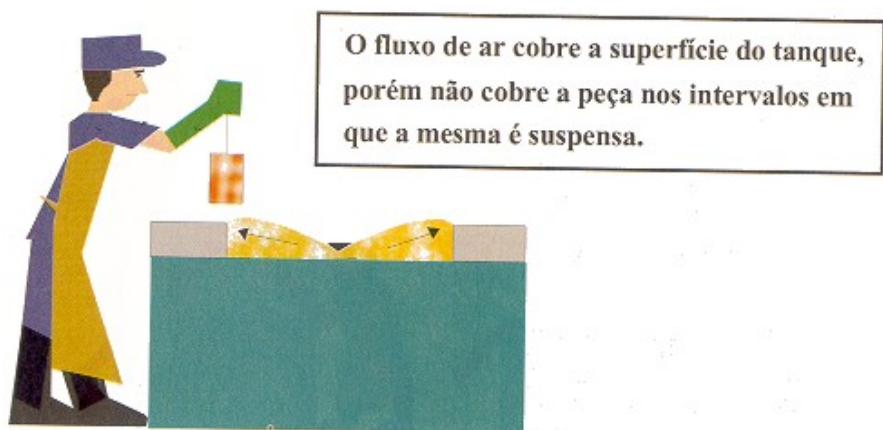


Figura 16 - Captor tipo frestas laterais

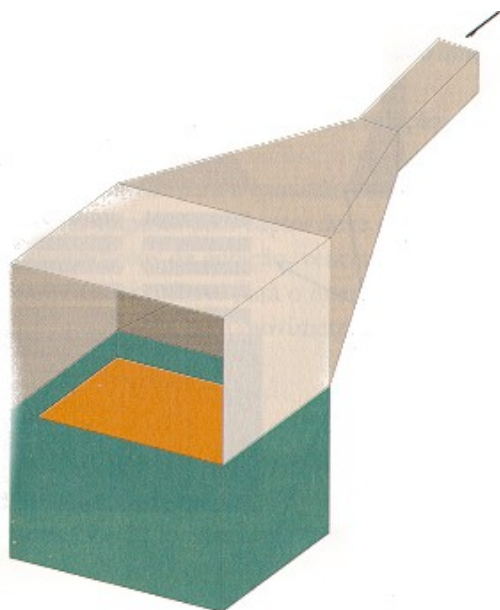
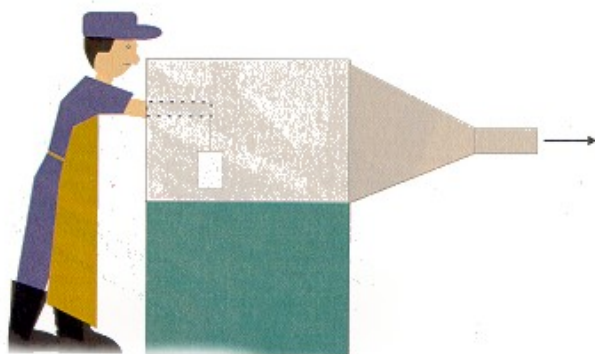
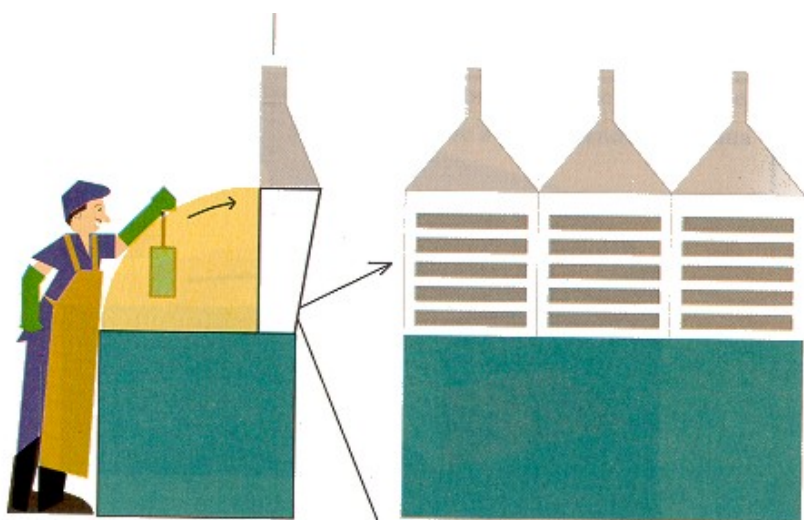


Figura 17 A - Cabine com exaustão lateral



A geometria deste captor dificulta a execução da tarefa quando existem vários banhos e enxaguamentos e não permite o uso de talha nem a mudança rápida e segura de tanque.

Figura 17B - Cabine com exaustão lateral e posicionamento do trabalhador



O fluxo de ar cobre tanto a superfície do tanque como a peça suspensa.

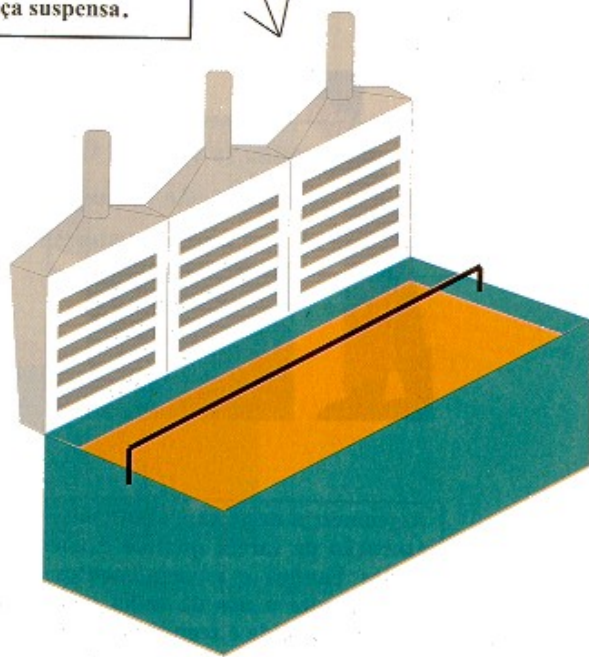


Figura 18 - Captor tipo multifresta

Um captor está completamente dimensionado quando são determinados:

a) Formato, dimensões e posição em relação ao trabalhador e à fonte geradora de poluentes;

b) Vaza de controle para a exaustão completa dos poluentes;

O fluxo de ar imposto pelo captor deve garantir a captação dos poluentes em todas as condições de geração, vencendo as correntes de ar em oposição, a fim de direcionar o fluxo para o interior do SVLE.

c) Energia necessária para movimentar os gases exauridos para o interior do captor.

DEFINIÇÃO DAS VARIÁVEIS DE INTERESSE

As Figuras 19 e 22 mostram um banho com exaustão lateral.

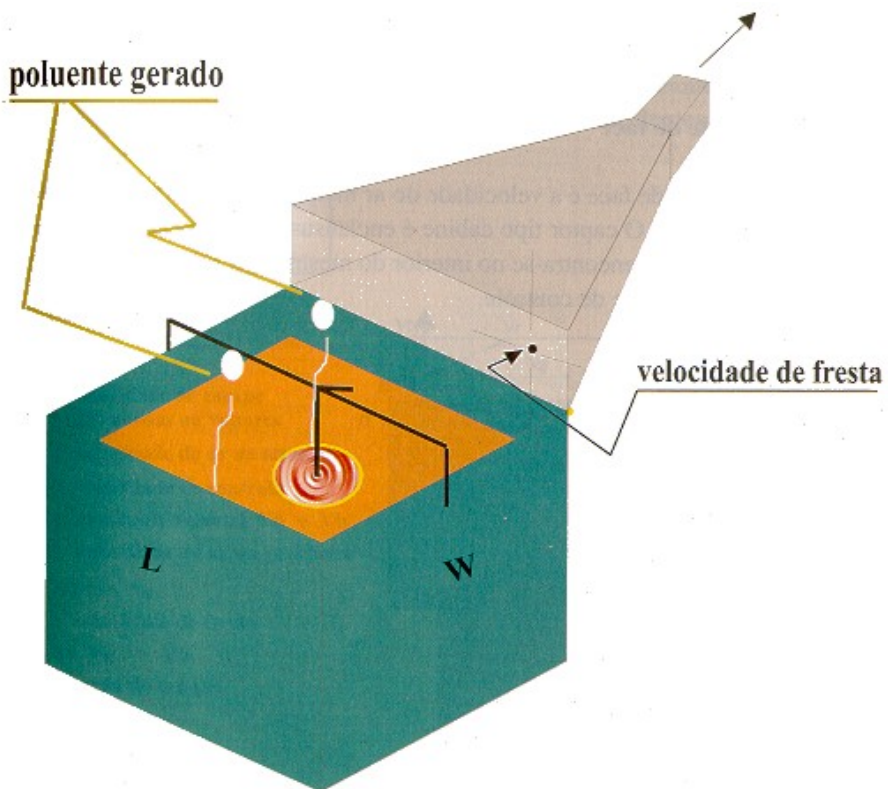


Figura 19 - Banho com exaustão lateral

7.1 Velocidade de fresta

Velocidade de fresta é a velocidade do ar medida no plano da abertura dos captosres tipo fresta/multifresta. É usada tão-somente para a obtenção de uma distribuição uniforme do fluxo de ar defrente ao captor.

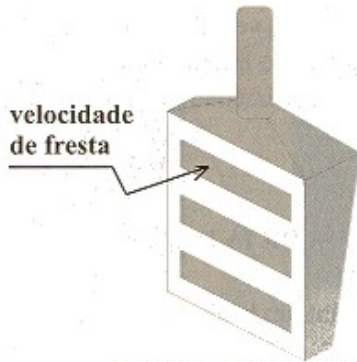


Figura 20 - Velocidade de fresta

7.2 Velocidade de face

Velocidade de face é a velocidade do ar medida no plano da entrada do captor tipo cabine. O captor tipo cabine é enclausurante, ou seja, a fonte geradora de poluentes encontra-se no interior do mesmo, e a velocidade de face é a própria velocidade de controle.

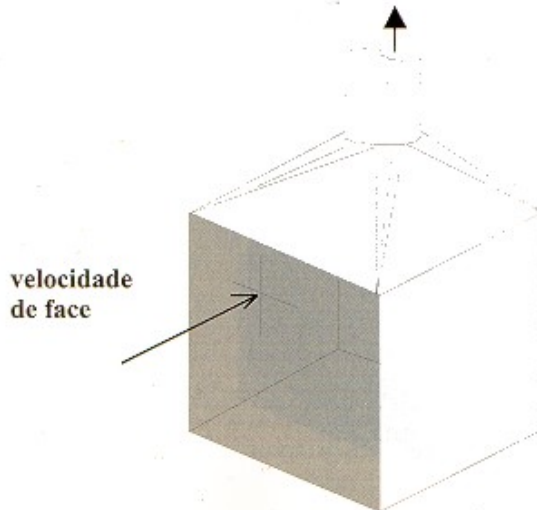


Figura 21 - Velocidade de face

7.3 Velocidade de controle ou de captura

A velocidade de controle é a velocidade mínima que garante a captação dos poluentes no ponto mais desfavorável do processo, que é o ponto mais afastado da entrada do captor, e/ou onde seja gerada a maior quantidade de poluentes (V_b).

Na Figura 22, se a velocidade de controle (V_b) for adotada na borda do tanque, estará garantida também a captação dos poluentes na região das gancheiras (peças), onde é gerada grande quantidade de névoas. Isto porque, conforme já citado, a velocidade do ar é acelerada na direção da entrada do captor.

A variação da velocidade do ar em função do afastamento da entrada do captor não deve servir de base para a determinação da velocidade de controle em função da velocidade de fresta. O correto é que o sistema de VLE seja dimensionado em função da **vazão de controle**.

Mais adiante, os valores da velocidade de controle serão apresentados em tabelas, em função de variáveis de processo e toxicidade de poluentes, levando-se em consideração o desnível entre a borda do tanque e a superfície do banho, e ainda influências de correntes de ar incidentes sobre o processo controlado.

Na altura h , a velocidade V_h é bem menor do que V_e . Isso facilita a captura do poluente.

- d : desnível
- V_e : velocidade de escape das névoas ou vapores
- V_h : velocidade do ar na altura h
- V_b : velocidade de controle
- V_r : resultante vetorial $V_h + V_b$
- V_g : velocidade do ar na gancheira
- $V_h \lll \lll V_e$
- V_f : velocidade de fresta
- $V_f \gg V_g \gg V_b$
- h : borda do tanque

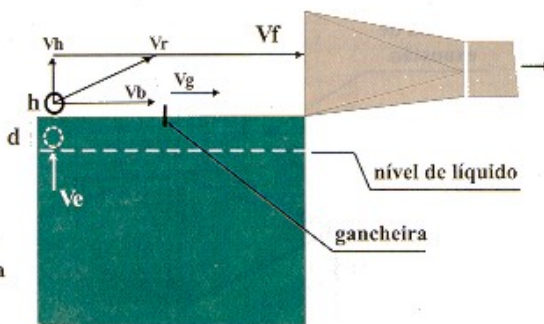


Figura 22 - Tanque com exaustão lateral

7.4 Velocidade de transporte nos dutos

A velocidade de transporte nos dutos é o valor mínimo da velocidade do ar necessário para manter em flutuação e transportar, pelos dutos, os poluentes presentes na corrente exaurida. Varia de acordo com o tipo e a densidade do poluente.



Figura 23 - Velocidade de transporte nos dutos

7.5 Velocidade no plenum

O *plenum* é uma câmara de equalização de pressão.

Para a obtenção de uma boa distribuição de ar nos captores tipo (multi) fresta, o valor máximo da velocidade do ar no interior do *plenum* deve ser igual ou menor que a metade da velocidade de fresta.

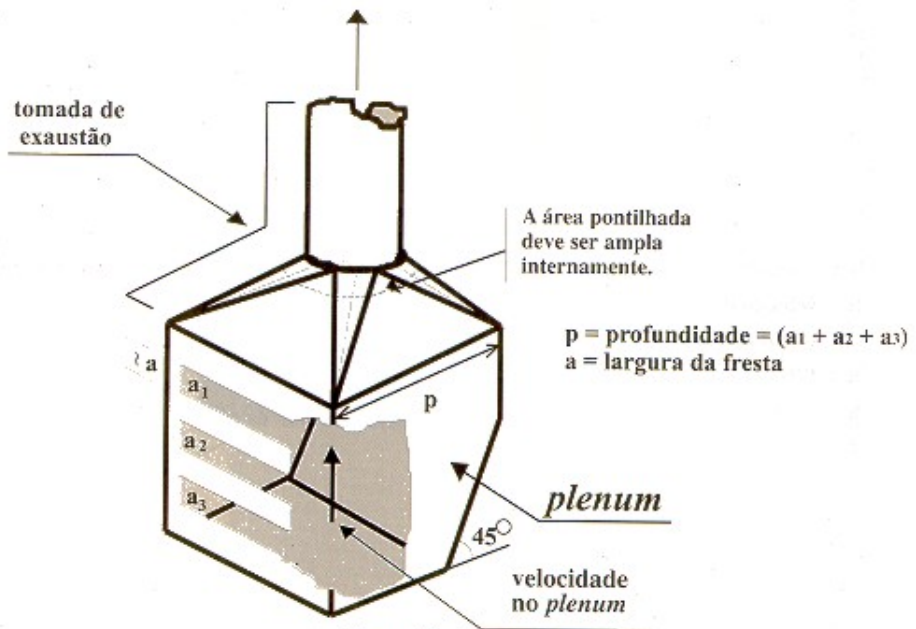


Figura 24 - Plenum

7.6 Vazão de controle

A vazão de controle é a vazão mínima necessária para a exaustão total dos poluentes gerados no processo. Os valores para a vazão de controle serão encontrados em tabelas apresentadas mais adiante.

7.7 Taxa de exaustão

A taxa de exaustão é expressa em unidade de vazão/unidade de área ($m^3/s/m^2$), ou seja, metros cúbicos por segundo por metro quadrado de tanque. É o valor necessário para a manutenção da velocidade de controle requerida para o processo, em função da relação largura/comprimento do tanque (W/L). Os valores serão fornecidos adiante, em tabelas.

7.8 Correntes cruzadas

Movimentações de ar no ambiente, incidindo sobre um processo controlado por um SVLE, podem interferir na eficiência da captação, fazendo com que os poluentes se dispersem para o ambiente, ao invés de serem captados. Instalação de barreiras mecânicas podem evitar a influência das correntes cruzadas, assim como a adoção de um captor do tipo mostrado na Figura 9, cuja geometria pode funcionar como barreira.

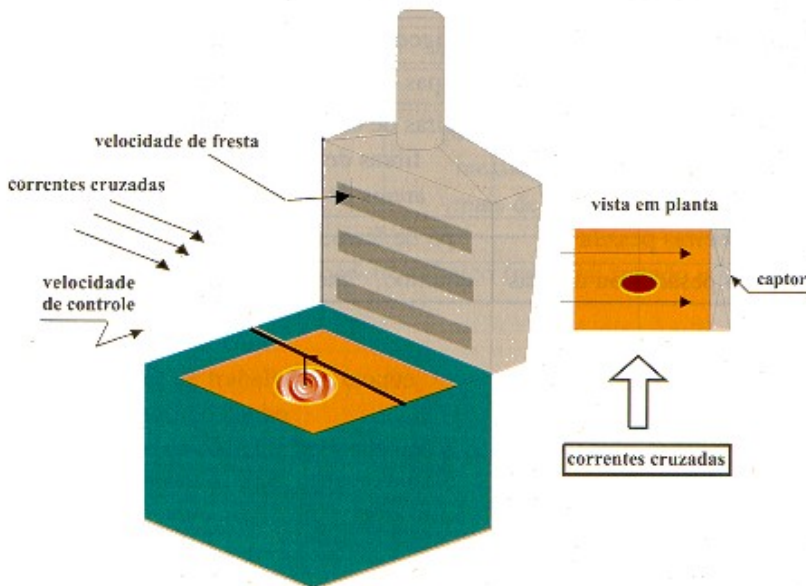


Figura 25 - Correntes cruzadas

7.9 Tabelas

Apresentadas as definições das variáveis de interesse para o dimensionamento de um captor, existe ainda o trabalho com os valores quantitativos das mesmas.

A equação básica $Q = v \times S$ e tabelas encontradas em manuais de ventilação industrial são as ferramentas para a determinação quantitativas das variáveis.

As Tabelas 1 a 6 contêm dados, relações e informações necessárias para a tarefa de dimensionamento de captores.

As Tabelas seguintes foram adaptadas do *Industrial Ventilation – ACGIH, USA, 20th Edition, 1988*.

Tabela 1. Velocidade de Transporte nos Dutos

Natureza do Contaminante	Exemplos	Velocidade de Transporte (m/s)
gases, vapores, fumaça	todos os tipos	5,0 a 6,0
névoas de ácido crômico	chromo duro e decorativo	12,5
fumos	zinco e alumínio	7,0 a 10,0
poeiras leves, muito finas	algodão, pó de madeira	10,0 a 12,5
poeiras secas	raspas de couro e borracha	12,5 a 17,5
poeiras industriais em geral	poeiras de cimento/cerâmica fibras de amianto areais de fundição	17,5 a 20,0
poeiras pesadas	pó de ferro, de chumbo	20,0 a 22,5
poeiras pesadas ou úmidas	chumbo, cimento, amianto	22,5 ou mais

Tabela 2. Determinação do Risco Potencial

Risco Potencial	Limites de Tolerância Gás ou Vapor (ppm) (*)	Limites de Tolerância Névoas (mg / m³) (*)	Ponto de Fulgor (°F)
A	0- 10	0-0,1	-
B	11 - 100	0,11 - 1,0	abaixo de 100
C	101 -500	1,1 - 10	100-200
D	acima de 500	acima de 10	acima de 200

(*) Utilizados valores da tabela de limites de tolerância da *ACGIH - American Confêrence of Governmental Industrial Higienists.*

Tabela 3. Determinação da Taxa de Evaporação

TAXA	Temperat. do Líquido (°F)	Graus Abaixo do Ponto de Ebulição (°F)	Evaporação Relativa (tempo para 100%) (horas)	Gaseificação (*)
1	acima de 200	0 - 20	rápida (0 - 3)	alta
2	150-200	21 - 50	média (3 - 12)	média
3	94- 149	51 - 100	lenta (12 - 50)	lenta
4			praticamente inexistente (mais de 50)	inexistente

(*) Depende do processo químico/eletroquímico (material tratado e solução utilizada no banho)

Tende a aumentar com:

- a) quantidade de trabalho no tanque
- b) temperatura do banho
- c) densidade da corrente aplicada nos processos eletroquímicos

Tabela 4. Velocidade de Controle Mínima Para Locais Sem Correntes Cruzadas

Classe de Risco (Tabs. 2 e 3)	Captor Tipo Cabine (enclausurante)	Exaustão Lateral (fresta/multifresta) (1)
A-1 ; A-2	0,50 - 1,0 m/s	0,8 - 1,0 m/s
A-3 ; 13-1 ; 13-2 ; C-1	0,4 - 0,8 m/s	0,5 m/s
13-3 ; C-2 ; D-1	0,4 m/s	0,4 m/s
A-4 ; C-3 ; D-2	0,3 m/s	0,3 m/s
13-4; C-4; D-3; D-4	(2)	(2)

(1) Usar relação W/L (largura/comprimento) (Tab 5) para determinar o volume de ar.

(2) Apenas ventilação geral diluidora é suficiente.

Para controle total de água quente, usar a classe imediatamente superior.

Tabela 5. Taxa de Exaustão Mínima para Exaustão Lateral (m³/s/m²)

Velocidade de Controle Mínima (Tab. 4) (m/s)	Taxa de Exaustão para Manter Velocidade de Controle Mínima nas seguintes situações W/L (largura do tanque / comprimento do tanque) (m ³ /s/m ²)				
	0,0 - 0,09	0,1 - 0,24	0,25 - 0,49	0,5 - 0,9	1,0 - 2,0

Captor contra parede ou do tipo multifresta ou com *plenum*

0,25	0,254	0,305	0,381	0,457	0,508
0,38	0,381	0,457	0,558	0,660	0,762
0,50	0,507	0,635	0,761	0,889	1,016
0,75	0,761	0,965	1,142	1,270	1,270

Captor tipo fresta(s) lateral(is), sem estar contra parede ou sem *plenum*

(1)

0,25	0,381	0,457	0,508	0,558	0,635
0,38	0,559	0,660	0,762	0,867	0,965
0,50	0,762	0,889	1,016	1,148	1,270
0,75	1,142	1,270	[1,270] ₍₂₎	[1,270] ₍₂₎	[1,270] ₍₂₎

(1) Usar W/2 para captor tipo frestas laterais (2 lados do tanque)

(2) Mesmo não produzindo velocidade de controle igual a 0,75 m/s em todos os casos, o valor de [1,270] é considerado adequado para o controle do processo.

Tabela 6. Processos Típicos e Respectivas Liberações de Contaminantes e Classes de Risco

Tipo de Processo		Contaminante Liberado	Classe de Risco	Temperatura usual (°C)
Anodização de Alumínio		Ácido Crômico-Sulfúrico	A - 1	35
Anodização de Alumínio		Ácido Sulfúrico	B - 1	15 -2 7
Endurecimento Superficial de Alumínio		Ácido Crômico-Sulfúrico	A - 1	48-82
Endurecimento Superficial de Alumínio		Ácido Sulfúrico	B - 1	48-82
Decapagem	Ferro Fundido	Ácidos Nítrico e Fluorídrico	A-2,1 (1)	21 - 32
	Cobre	Ácido Sulfúrico	B - 3,2 (1)	51 -80
	Ferro e Aço	Ácido Clorídrico	A - 2	21
	Ferro e Aço	Acido Sulfúrico	B - 1	21 -80
	Aço Inox	Ácidos Nítrico e	A - 2	51 -82
	Aço Inox	Ácido Clorídrico	A - 2	54-66
Desengraxe	Aço inox	Acido Sulfúrico	B - 1	82
	Alcalino	Sais Alcalinos de Sódio	C-2,1 (1)	71 -99
	Com Tri ou Percloroetileno	Tri ou Percloroetileno	B -1 (2)	86- 121
Solventes de Petróleo		Solventes de Petróleo	B - 3,2 (3)	21 -60
Deposição Não- eletrolítica de Níquel		Hidróxido de Amônia	B - 1	88
Eletrodeposição com Fluorboratos	Cobre	Fluorborato de Cobre	C-3,2(1)	21-76
	Níquel	Fluorborato de Níquel	C-3,2(1)	37-76
	Zinco	Fluorboratos	C-3,2(1)	37-76
Eletrodeposição com Cianetos	Latão e Bronze	Cianetos e Hidróxido de Amônia	B -4,3 (1)	15 -37
	Zinco	Cianetos e Amônia	C-3,2(1)	21 -49
	Cobre	Cianetos e Hidróxido de Sódio	C-2	43-71
	Ouro	Cianetos	C-4,3(1)	24- 101
	Prata	Nenhum	D-4	22-49

Tabela 6. Processos Típicos e Respectivas Liberações de Contaminantes e Classes de Risco (continuação)

Tipo de Processo		Contaminante Liberado	Classe de Risco	Temperatura usual (°C)
Eletrodeposição com Ácidos	Cromo	Ácido Crômico	A - 1	32-60
	Cobre	Ácido Sulfúrico (se a temperatura do banho > 32-'C)	13 - 4,3	24 - 49
	Ferro	Cloretos / Ácido	A - 2	99
	Níquel (Sulfato)	Sulfato de Níquel (c/ânodos insolúveis)	13 - 2	21 -32
	Zinco	Cloreto de Zinco	13 - 3	87-49
	Zinco (Sulfato)	Nenhum	D-4	21 -49
Outros processos não especificados acima podem ser encontrados na bibliografia apresentada.				

- (1) A classe de maior risco está associada aos valores maiores de temperatura.
- (2) Depende da forma de execução da operação. Melhor enclausurar com resfriamento.
- (3) Depende da natureza do solvente. Ver tabelas de limites de tolerância na legislação.

Neste capítulo, será mostrado o trabalho com as variáveis de interesse e o manuseio das tabelas anteriormente apresentadas.

Conforme já visto no Capítulo 7, um captor está completamente dimensionado quando são determinados: formato, dimensões, posição relativa à fonte de poluentes, vazão de controle e energia necessária para movimentar o ar para o interior.

Considerando-se os tipos de tanque comumente encontrados em galvanoplastia (superfície aberta), alguns parâmetros podem ser adotados diretamente dos manuais de ventilação industrial (13.1). Os dados contidos na literatura referida correspondem a projetos executados e aprovados quanto à sua eficácia em propiciar um fluxo de ar adequado e garantir um ambiente de trabalho seguro.

ESPECIFICAÇÃO DE CAPTOR PARA TANQUES DE SUPERFÍCIE ABERTA

A VELOCIDADE DE DUTO: qualquer valor adequado para o processo.

B PERDA DE CARGA NA ENTRADA: varia de acordo com o formato do captor.

Referências numéricas são encontradas na literatura (13.1).

C VELOCIDADE MÁXIMA NO PLENUM = 1/2 da velocidade de fresta.

- D VELOCIDADE DE FRESTA:** 10 m/s ou 2.000 pés/minuto.
- E DIMENSOES DO *PLENUM*:** conforme Figura 20.
- F** Se $L \geq 1,83$ m (6 pés), são desejáveis múltiplas tomadas de exaustão
Se $L \geq 3,0$ m (10 pés), são necessárias múltiplas tomadas de exaustão
L = comprimento do tanque
W = largura efetiva do tanque (da entrada do captor à borda oposta do tanque)
- G** Se $W \leq 0,5$ m (20 pol.), é suficiente fresta apenas numa lateral do tanque
Se $W > 0,5$ m $\leq 0,9$ m (20 a 36 pol.), são desejáveis frestas nas duas laterais do tanque
Se $W > 0,9$ m:5 1,2 m (36 a 48 pol.), são necessárias frestas nas duas laterais do tanque
Se $W > 1,2$ m, não é viável o uso de exaustão lateral. Melhor enclausurar ou usar "Sopro-Exaustão" (Push-Pull).
- H** O nível de líquido (banho) deve estar no mínimo 15 cm (6 pol) abaixo da borda do tanque
- I** Captores com *plenum* são preferíveis porque o *plenum* age como barreira contra correntes cruzadas.
O captor tipo multifresta propicia fluxo de ar que cobre as peças suspensas, exaurindo as emissões de tal etapa.
- J** Enclausuramentos, barreiras contra correntes cruzadas e tampas parciais sobre os tanques aumentam a eficiência do controle dos poluentes.
- K** Os dutos, captores, ventiladores e filtros devem ser resistentes à corrosão, devendo haver facilidades para a drenagem e limpeza interna dos mesmos.

DETERMINAÇÃO DAS CONDIÇÕES DO FLUXO DE AR (Q, v, S)

(Para locais isentos de correntes cruzadas e com reposição de ar adequada no ambiente interno)

- PASSO 1** Determinar o Risco Potencial na Tabela 2, usando dados sobre limites de tolerância e ponto de fulgor dos produtos envolvidos.
- PASSO 2** Determinar a Taxa de Evaporação, conforme Tabela 3, empregando a faixa maior de risco, eventual, conforme Tabela 6 (Observação 1).
- PASSO 3** Determinar a Classe de Risco, pela conjugação dos dados obtidos nos Passos 1 e 2. Em se tratando de processos típicos, pode-se determinar a Classe de Risco diretamente da Tabela 6.
- PASSO 4** Conhecida a Classe de Risco do processo, determinar a velocidade de controle na Tabela 4.
- PASSO 5** Da Tabela 5, obtém-se a taxa de exaustão mínima.
- PASSO 6** Multiplicar a área do tanque pelo valor encontrado para a taxa de exaustão, obtendo-se a vazão de controle requerida.
- PASSO 7** Com o valor da vazão de controle determinado e com o auxílio da relação $Q = v \times S$, determinam-se os valores da área e da abertura da(s) fresta(s).

8.1 Exemplos de aplicação

8.1.1 Tanque de cromação

comprimento $L = 3,0$ m

largura $W = 0,8$ m

captor escolhido: multifresta (com *plenum*)

local isento de correntes cruzadas

velocidade de fresta $V_f = 10$ m/s

Como se trata de processo típico, temos diretamente da Tabela 6:

Classe de Risco A.1 (**Passo 3**)

Passo 4: Da Tab. 4: velocidade de controle = 1,0 m/s

Passo 5: da Tab. 5: $W/L = 0.8 / 3.0 = 0,267$
portanto, taxa de exaustão = $1,142 \text{ m}^3/\text{s}/\text{m}^2$

Passo 6: Vazão de controle = $Q = \text{taxa de exaustão} \times \text{área do tanque}$

$$Q = 1,142 \text{ m}^3/\text{s}/\text{m}^2 \quad \times \quad 0,8 \times 3,0 \text{ m}^2 = 2,741 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$\text{vazão de controle} = 2,741 \text{ m}^3/\text{s}$$

Passo 7: Dimensões da fresta:

$$\text{área da fresta} = A = Q / V_f = 2,741 \text{ m}^3/\text{s} / 10 \text{ m/s}$$

$$\text{área da fresta} = 0,2741 \text{ m}^2$$

comprimento da fresta = comprimento do tanque (teórico)

largura da fresta = área da fresta / comprimento da fresta

$$\text{largura da fresta} = 0,2741 / 3,0$$

largura da fresta = 91 milímetros

Observe-se que o cálculo das dimensões da fresta é feito considerando-se uma única fresta teórica, conforme a figura abaixo:

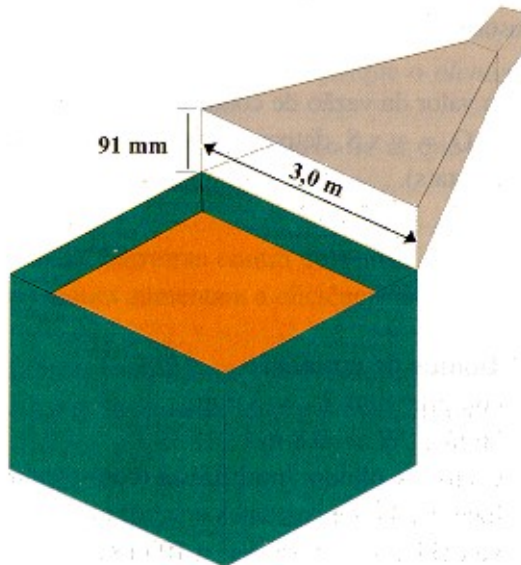
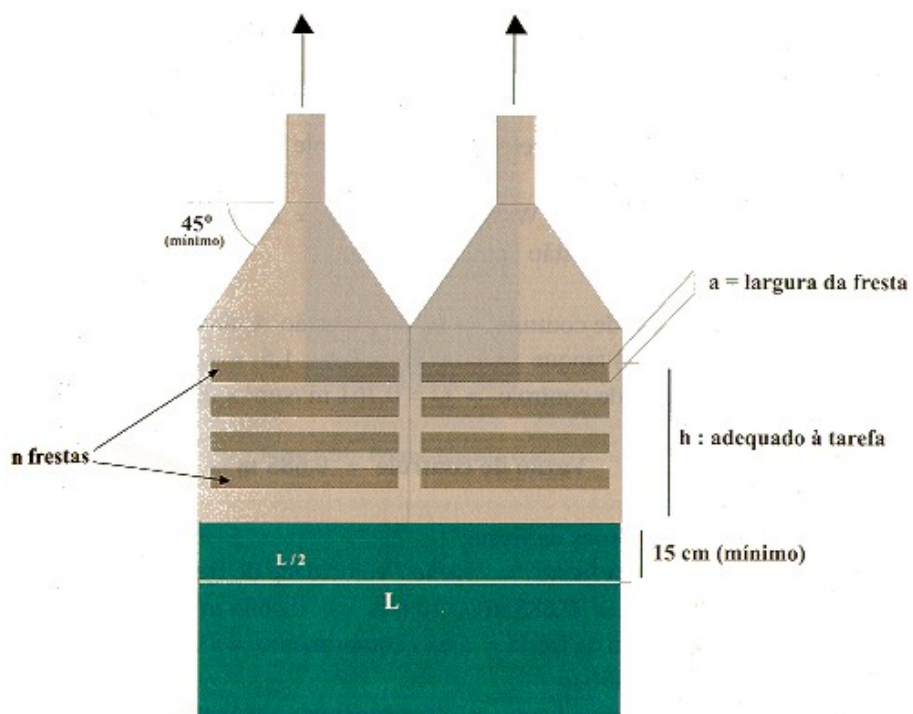


Figura 26 - Fresta única teórica

Como $L = 3 \text{ m}$, são necessárias múltiplas tomadas de exaustão, e o procedimento prático é dimensionar os captores conforme a Figura 27.



se $n = 4$, temos $a = 91 \text{ mm} / 4 = 23 \text{ mm}$

se $n = 5$, temos $a = 91 \text{ mm} / 5 = 18,4 \text{ mm}$

Recomendam-se valores entre 20 e 30 mm para a abertura de fresta.

Figura 27 - Dimensionamento das frestas laterais

8.1.2 Tanque de decapagem de ferro/aço com ácido sulfúrico

comprimento $L = 1,5$ m

largura $W = 0,6$ m

captor escolhido: multifresta (com *plenum*)

local isento de correntes cruzadas

velocidade de fresta = 10 m/s

Passo 3 (processo típico): Da Tabela 6, classe de risco = B.1.

Passo 4 Da Tabela 4, velocidade de controle = 0,5 m/s

Passo 5 Da Tabela 5, $W / L = 0,6 / 1,5 = 0,4$ portanto, tx. de exaustão = $0,761 \text{ m}^3/\text{s}/\text{m}^2$

Passo 6 Vazão de controle = tx. de exaustão x área do tanque
área do tanque = $W \times L = 0,6 \times 1,5 = 0,9 \text{ m}^2$
vazão de controle = $Q = 0,761 \text{ m}^3/\text{s}/\text{m}^2 \times 0,9 \text{ m}^2$

Vazão de controle = 0,685 m³/s

Passo 7 Dimensões da fresta:

Área da fresta = vazão / velocidade de fresta = Q / V_f

$Q / V_f = 0,685 \text{ m}^3/\text{s} / 10 \text{ m/s} = 0,0685 \text{ m}^2$

Largura da fresta = área / comprimento = $0,0685 \text{ m}^2 / 1,5$

m

= 0,0456 m

Largura da fresta = 46 mm

Se adotarmos um captor com 3 frestas e considerando-se que $L < 1,83$ m, teremos a figura abaixo, para o exemplo 8.1.2:

$n = 3$, portanto $a = 46/3 = 16$ mm

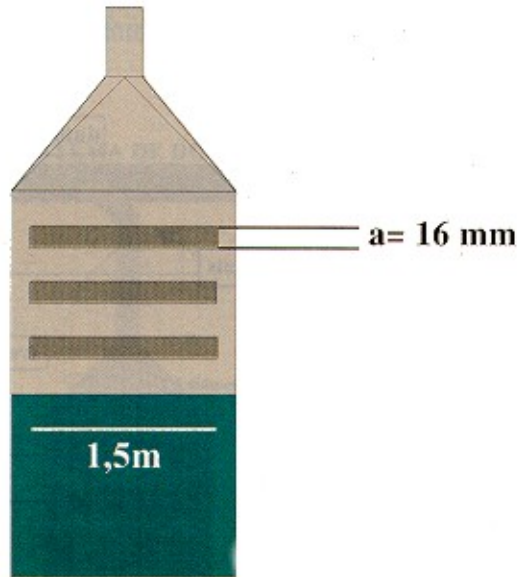


Figura 28 - Fresta dimensionada

8.2 Sistema integrado de captores

Por razões econômicas e para simplificar o arranjo físico do sistema de dutos e demais componentes, um mesmo sistema de VLE pode ser utilizado para captação em mais de um ponto da fábrica.

Na prática, faz-se o dimensionamento dos captores individualmente, conectando-os depois a um duto principal.

O projeto integrado deve propiciar que em cada ramificação exista a vazão de ar necessária para o controle da fonte de poluentes.

A Figura 29, abaixo, ilustra um exemplo de sistema integrado.

É importante lembrar o conteúdo do item 5.1 no que se refere a perdas de carga através de tubulações (derivações, contrações, expansões e curvas).

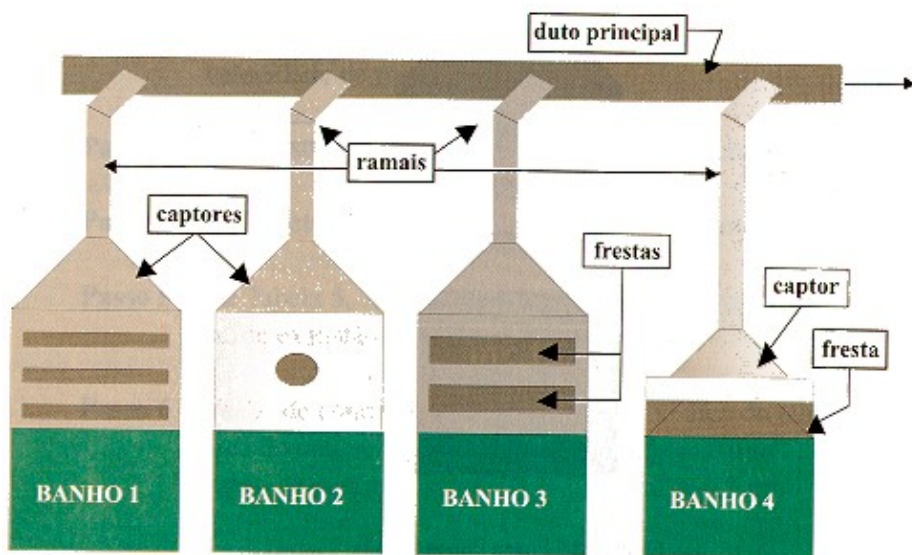


Figura 29 - Sistema integrado de captore

As Figuras 30 a 32 ilustram situações e recomendações para a construção adequada de um sistema de dutos para captação individual ou integrada, com minimização das perdas.

SISTEMA DE DUTOS

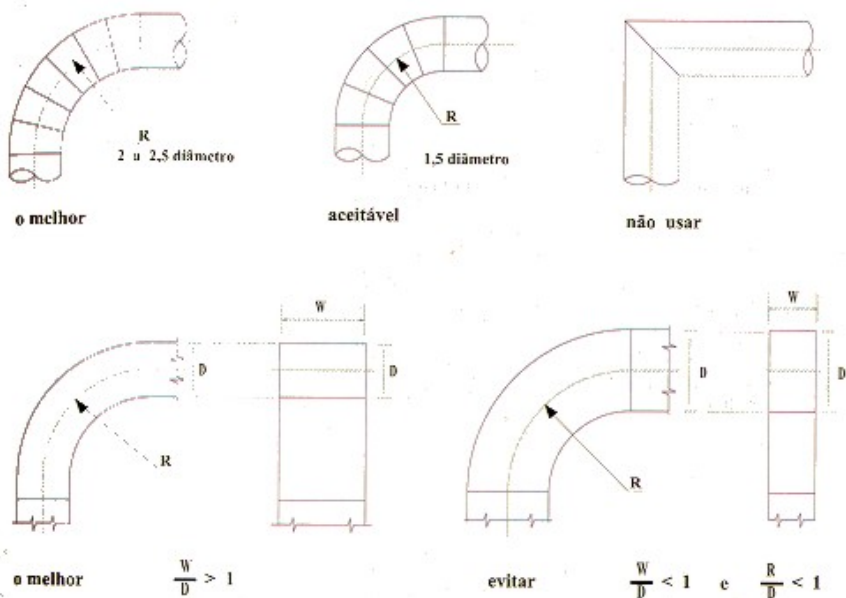


Figura 30 - Curvas

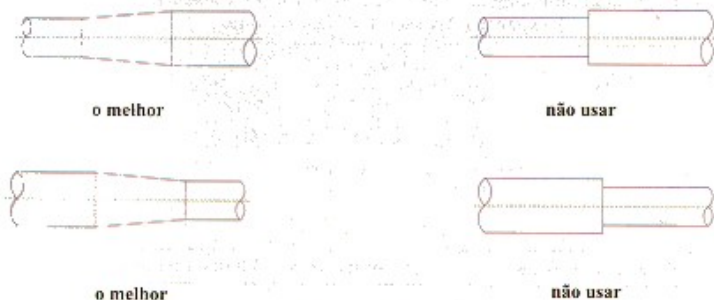
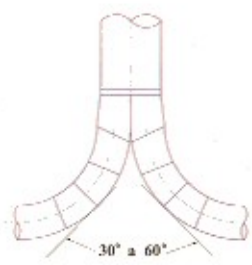
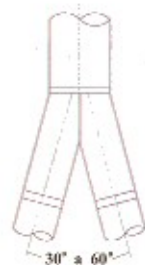


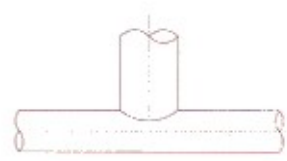
Figura 31 - Expansões e contrações



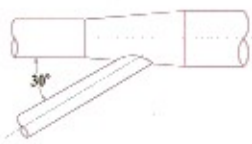
melhor



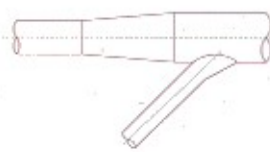
melhor



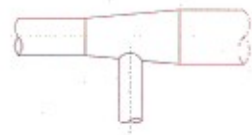
não usar



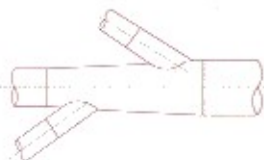
melhor



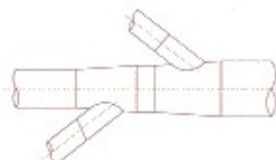
aceitável



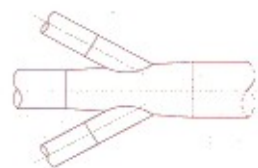
não usar



melhor

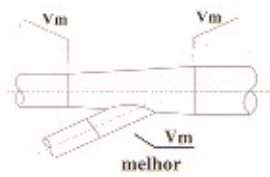


aceitável



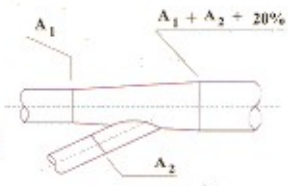
não usar

As ramificações ou entradas devem entrar na expansão gradual num angulo de 30°. Se necessário, 45° é aceitável. A expansão deve ser de 15" no máximo



melhor

V_m = velocidade de duto mínima
 A = Velocidade de seção transversal



evitar

Dimensionar os dutos de forma a obter as velocidades adequadas

Figura 32 - Ramificações ou entradas

SISTEMA SOPRO-EXAUSTÃO (PUSH-PULL)

O sistema sopro-exaustão é um sistema de controle de poluentes na fonte (tanque) que pode ser utilizado em casos nos quais o uso apenas da exaustão lateral seja inviável, em razão das dimensões do tanque ($W > 1,2$ m).

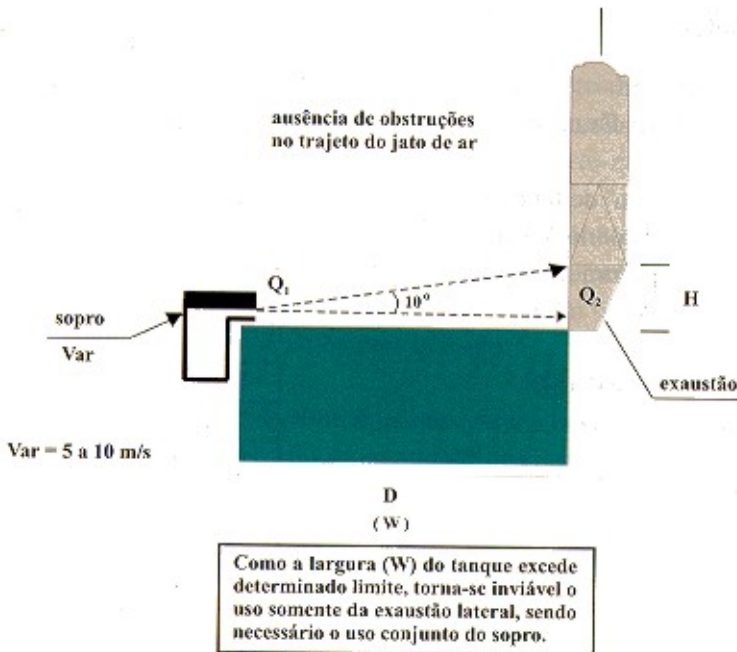
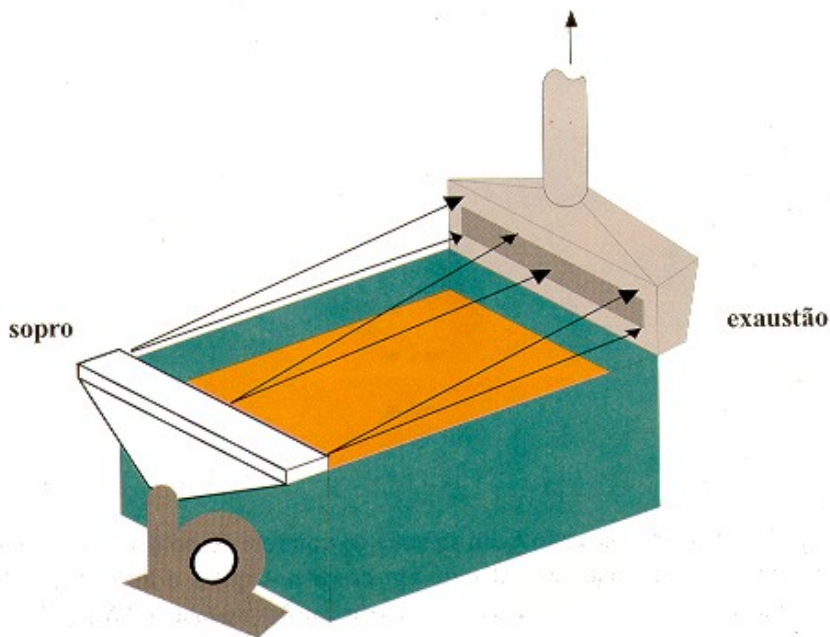


Figura 33A - Sistema sopro-exaustão
Fonte: *Industrial Ventilation - ACGIH, USA*



ventilador

Exaustão

Quantidade de Ar Exaurido

$Q_2 = 0,51 \text{ a } 0,76 \text{ m}^3/\text{s}/\text{m}^2$ de tanque,
dependendo das condições de
trabalho, temperatura do líquido,
correntes cruzadas

$$H = D \times Tg 10^\circ = 0,18D$$

Sopro

Quantidade de Ar Suprida

$$Q_1 = \frac{1}{D \times E} \times Q_2$$

onde: D = distância de sopro
E = fator de indução

D (pés)	E
0-8	2,0
8-16	1,4
16-24	1,0
+ de 24	0,7

Figura 33B - Sopro-exaustão - especificações
Fonte: *Industrial Ventilation - ACGIH, USA*

VENTILAÇÃO GERAL, VENTILAÇÃO GERAL DILUIDORA E REPOSIÇÃO DE AR EXAURIDO

Os três termos apresentados no título deste capítulo referem-se ao mesmo princípio que é a troca do ar interno poluído ou quente por ar externo, limpo e fresco, porém com objetivos diferentes.

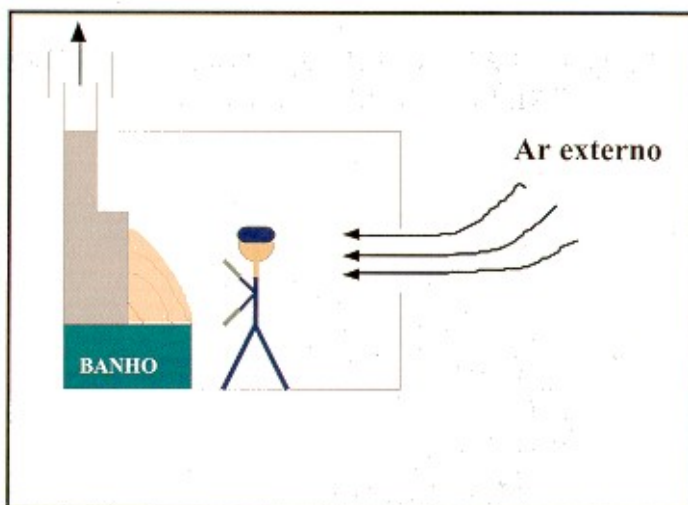
A ventilação geral ou natural é utilizada para o controle de calor dos ambientes, e é importante que seja considerada por parte dos responsáveis pela segurança e higiene de uma instalação industrial.

A ventilação geral diluidora é aplicada na redução da concentração de poluentes em geral, ou da concentração de misturas explosivas e inflamáveis nos locais em questão.

Não se usa a ventilação geral diluidora como único controle nos processos onde seja necessária a VLE, mas como medida acessória e complementar.

Existem também alguns fatores que limitam o uso da ventilação diluidora para o controle dos ambientes que são:

- a) a quantidade de contaminantes gerada deve estar dentro de certos limites; do contrário, a quantidade de ar necessária para a diluição dos poluentes tornar-se-á inviável;
- b) os trabalhadores devem estar afastados do fluxo de ar contaminado, ou então a concentração de poluentes no fluxo deve estar bastante abaixo do limite de tolerância;
- c) a toxicidade dos contaminantes deve ser baixa; d) a geração dos contaminantes deve ser uniforme.



Em virtude de os poluentes dos banhos de galvanoplastia serem muito tóxicos, não se recomenda a utilização da ventilação geral diluidora sem o uso conjunto da ventilação local exaustora.

Figura 34 - Ventilação geral diluidora

A Figura 35 ilustra os princípios básicos da ventilação geral diluidora.

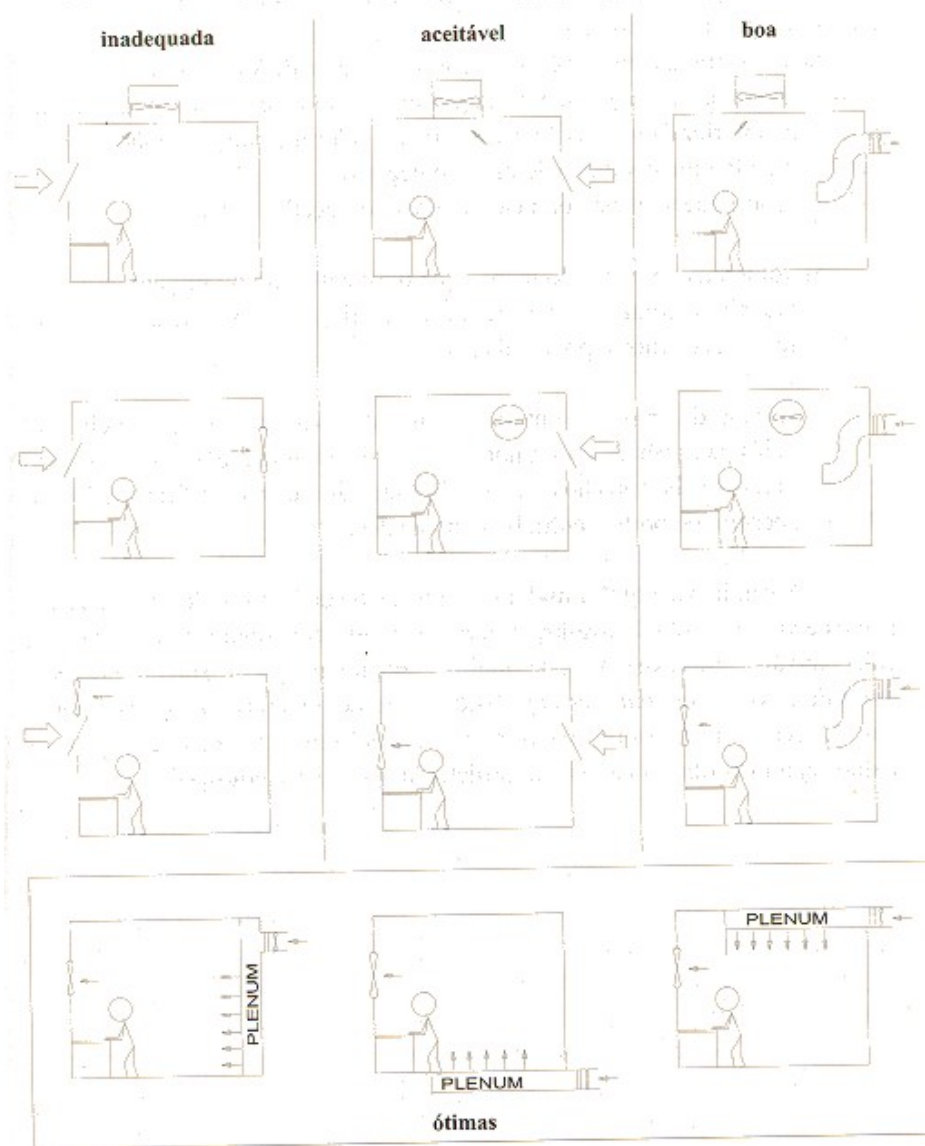


Figura 35 - Princípios de ventilação geral diluidora

Fonte: *Industrial Ventilation - ACGIH, USA*

Reposição de ar exaurido

A reposição de ar num ambiente controlado por VLE é essencial para o bom desempenho do sistema.

Se a quantidade de ar exaurido por um sistema de VLE for maior que a quantidade de ar que o ambiente interno recebe do exterior em reposição, a pressão no interior da instalação cairá para um valor inferior à pressão atmosférica, gerando uma condição de pressão negativa.

As conseqüências da condição de pressão negativa serão:

- a) volume de ar exaurido menor que o especificado no projeto da VLE (vazão de controle), com redução da eficiência, principalmente em locais pequenos e pouco abertos;
- b) entrada de ar para o interior de forma descontrolada, por meio de quaisquer aberturas, gerando outros problemas como: correntes de ar indesejáveis, geração de zonas diferenciadas de calor, dificuldade de abertura de portas, entrada de poluentes.

A ventilação geral diluidora e a reposição de ar em todos os seus aspectos e variáveis requer avaliação pormenorizada das condições de cada local, como aberturas existentes, pé-direito, equipamentos dentro do prédio, número de pessoas, layout e arranjo físico, além de algumas condições externas. O ideal é que todos os tópicos relacionados à segurança e higiene do trabalho sejam abordados na fase do projeto da instalação industrial.

A função de um sistema de VLE é fazer a captação dos poluentes na fonte geradora, evitando que os mesmos contaminem o ambiente de trabalho e atinjam a zona respiratória dos trabalhadores. Os modelos de fluxo de ar impostos à superfície de um tanque por diferentes tipos de captor foram apresentados no Capítulo 7 e estão reproduzidos neste capítulo.

As variáveis de interesse para o dimensionamento de um captor são:

- vazão de controle
- velocidade de controle
- velocidade de fresta
- velocidade de transporte nos dutos
- velocidade de face
- correntes cruzadas

Dessa forma, para se avaliar a eficiência de um captor, deve ser observado se as variáveis de interesse atendem às recomendações especificadas nos manuais de ventilação industrial, se os valores estão de acordo com os cálculos do projeto, e, principalmente, se o fluxo de ar imposto pela geometria do captor é adequado para a tarefa executada pelos trabalhadores.

Uma outra forma de se verificar a eficiência da captação consiste em se fazerem avaliações ambientais (amostragem do ar) em pontos estratégicos do local a ser controlado.

A avaliação da eficiência de um sistema de VLE deve ser feita quando da sua instalação e também periodicamente, para se verificar o funcionamento correto do mesmo.

Para a avaliação dos captores, será apresentada posteriormente uma metodologia.

É certo que valores inferiores aos recomendados para as velocidades e vazões de controle ocorrem em razão de deficiências do projeto e/ou desgaste de componentes, assim como por falta de manutenção adequada.

Alterações num SVLE implicam a necessidade de redimensionamento total do projeto, com custo praticamente idêntico ao inicial. Por isso é necessário que um projeto de VLE seja elaborado e executado de forma criteriosa e por profissionais com conhecimento dos aspectos mecânicos e de saúde ocupacional.

11.1 Metodologia de avaliação da eficiência de um captor

11.1.1 Introdução

O objetivo principal da VLE é fazer o controle dos ambientes de trabalho, visando a garantia da saúde do trabalhador. A verificação de um SVLE, para se avaliar se o mesmo atende ao seu objetivo, consiste, então, em avaliar os tipos de fluxo de ar impostos à superfície dos tanques pela geometria do captor e a posição relativa do trabalhador ao executar suas tarefas, além da avaliação das variáveis quantitativas, como as velocidades do ar, a vazão de controle e a concentração dos agentes químicos.

11.1.2 Avaliação do fluxo de ar (superfície de controle)

A avaliação do fluxo de ar consiste em verificar se o fluxo de ar determinado pela geometria do captor abrange todas as etapas de geração de poluentes, se a geometria interfere com a execução da tarefa e, ainda, se o fluxo passa pela zona respiratória do trabalhador.

O fluxo de ar pode ser verificado visualmente, com o auxílio de algum dispositivo gerador de fluido visível, como tubos de fumaça, por exemplo.

Nas Figuras 36 e 37 seguintes, temos captors tipo fresta(s) lateral(is):



Figura 36 - Captor tipo fresta lateral



Figura 37 - Captor tipo frestas laterais

Nestes dois tipos de captor, o fluxo de ar exaure as emissões da superfície do banho, porém não alcança a peça, quando a mesa é suspensa. Se o banho estiver a uma temperatura propícia à geração de vapores, ou a solução for volátil, de forma que a peça molhada emita vapores quando suspensa, ocorrerá contaminação do ambiente, pois os vapores não serão exauridos.

A qualidade de emissões não-exauridas será tanto maior quanto forem:

- a volatilidade da solução
- a temperatura do banho
- as dimensões da peça e da gancheira
- a frequência e o ritmo da operação de içar



Neste tipo de captor, nota-se que o fluxo de ar contaminado passa diretamente pela zona respiratória do trabalhador. Isso torna o captor inadequado, independentemente de qualquer outro parâmetro de avaliação da eficiência do sistema de ventilação local exaustora.

Figura 38 - Captor tipo coifa



Figura 39 - Captor tipo multifresta

11.1.3 Avaliação dos parâmetros dimensionais

Esta etapa consiste em verificar se os parâmetros dimensionais estão em conformidade com as recomendações e especificações vistas no capítulo 8, “Roteiro Para o Dimensionamento de Um Captor”.

11.1.4 Avaliação da velocidade do ar

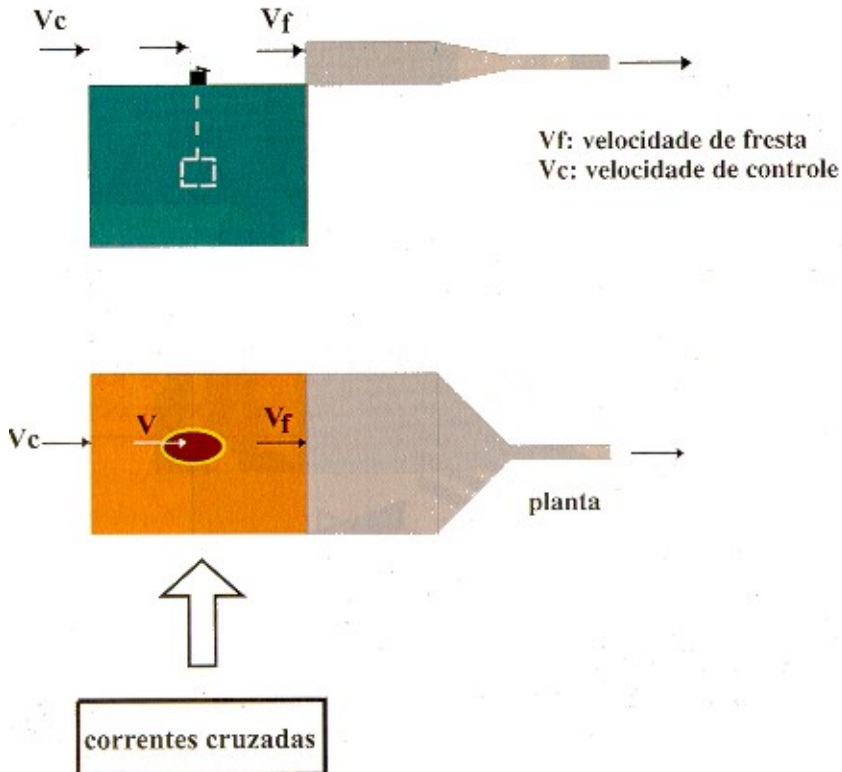
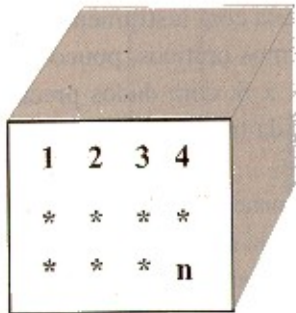


Figura 40 - Velocidades do ar

A avaliação da velocidade do ar consiste na medição da mesma nos pontos de interesse, com a utilização de um instrumento de leitura direta chamado anemômetro.

A avaliação das velocidades de fresta e de face é feita por meio de medições diretas em pontos uniformemente escolhidos no plano de abertura do captor, e calculando-se as médias, sendo que em cada ponto independente o valor não deverá estar abaixo do mínimo recomendado.

Para a leitura das velocidades do ar em locais internos (*plenum*, dutos) é necessário que o sistema tenha pontos próprios para a inserção do instrumento de leitura.



face

$$V_{\text{média}} = \frac{V_1 + V_2 + V_3 + \dots + V_n}{n}$$



fresta

$$V_{\text{média}} = \frac{V_1 + V_2 + V_3 + \dots + V_n}{n}$$

Figura 41 - Avaliação das velocidades de face e de fresta

É importante observar se os valores obtidos nas medições pontuais não são discrepantes, caso em que podem estar existindo problemas na uniformização do fluxo de ar, os quais necessitarão uma análise diferenciada. Cada valor individualmente não deve estar abaixo do mínimo recomendado.

A avaliação da velocidade de controle é feita nos pontos mais afastados da entrada do captor e na área onde seja gerada maior quantidade de poluentes.

É de fundamental importância entender que a velocidade de fresta é um valor adequado para a obtenção de um fluxo de ar uniforme defrente do captor.

Assim, mesmo que na avaliação da velocidade de fresta seja obtido um valor de conformidade com o recomendado, ou seja, 10 m/s, é necessário também comprovar se o valor da velocidade de controle está adequado, e se a área da abertura da fresta proporciona a vazão de controle determinada para o projeto. O correto é dimensionar a vazão de controle com base nas "taxas de exaustão" (por área de tanque) recomendadas (Tabela 5).

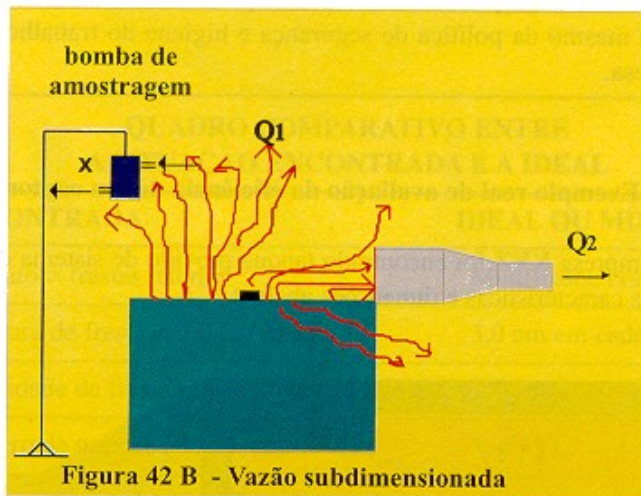
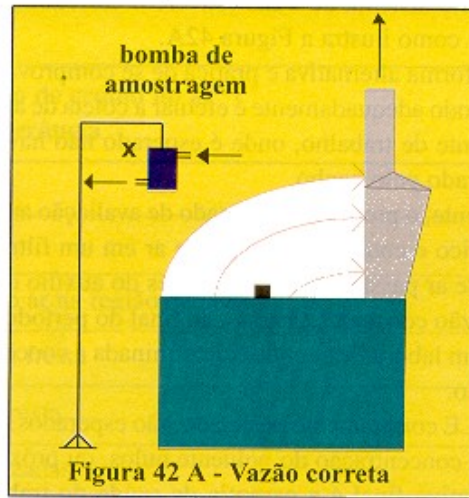
A avaliação da vazão também pode ser feita com instrumentos de leitura direta específicos, sendo, entretanto, em termos práticos, pouco palpável. Recomenda-se a utilização da relação $Q = v \times S$, com dados precisos das medições da velocidade do ar e das dimensões da fresta, para a estimativa da ordem de grandeza dessa variável.

A verificação e avaliação da presença de correntes cruzadas deve ser feita observando-se e determinando-se a procedência das mesmas e as direções de incidência no processo, provendo-se as correções necessárias para reduzidas ou eliminá-las.

Para o controle de correntes cruzadas, pode-se utilizar captor com plenum ou então se instalarem barreiras mecânicas em locais que evitem a incidência das correntes sobre os processos controlados.

11.1.5 Amostragem do ar ambiente

Na Figura 42, temos, uma vez mais, um captor e o respectivo fluxo de ar imposto à superfície do tanque.



Q1 = Volume de poluentes gerados pelo processo
Q2 = Volume de poluentes exauridos pelo SVLE

Se $Q1 > Q2$, ocorre contaminação do ambiente.

Figura 42 - Amostragem do ar ambiente

Se o captor e o sistema de VLE estiverem corretamente projetados, o fluxo de ar será tal como ilustra a Figura 42A.

Assim, uma forma alternativa e prática de se comprovar se o sistema de VLE está funcionando adequadamente é efetuar a coleta de amostra do ar num ponto X do ambiente de trabalho, onde é esperado não haver a presença de contaminante liberado pelo banho.

Resumidamente, o processo é chamado de avaliação ambiental do agente químico específico e consiste na coleta de ar em um filtro apropriado, fazendo-se o fluxo de ar passar pelo filtro através do auxílio de uma bomba de amostragem de vazão constante. O filtro, ao final do período de amostragem, é encaminhado a um laboratório, onde é determinada a concentração do agente químico coletado.

Para um SVLE corretamente projetado, são esperados, na avaliação ambiental, valores da concentração do poluente nulos, ou próximos de zero. Como o objetivo final é a garantia da saúde do trabalhador, exames médicos e avaliações biológicas específicas são também de fundamental importância para a avaliação do ambiente e do processo de trabalho como um todo, e até mesmo da política de segurança e higiene do trabalho adotada pela empresa.

11.2 Exemplo real de avaliação da eficiência de um captor

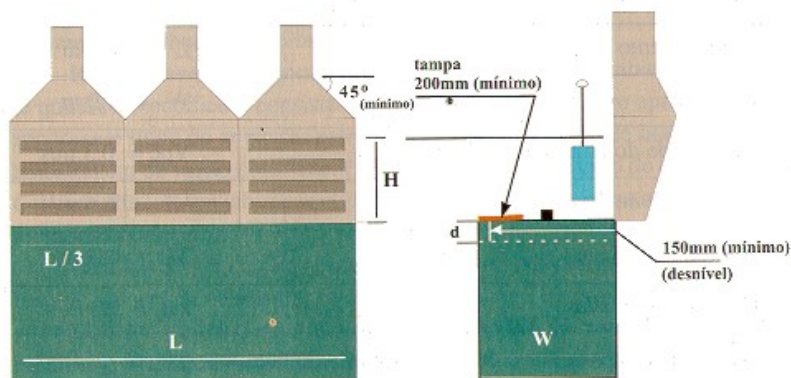
Na empresa XYZ foi encontrado tanque provido de sistema de exaustão, com as características e dimensões abaixo:

Concentração de cromo no ar	175$\mu\text{g}/\text{m}^3$
Limite de tolerância	40 $\mu\text{g}/\text{m}^3$
Comprimento	L = 4,0 m
Largura	W = 1,0 m
Velocidade do ar na região da peça	V _{pc} = 0,3 m/s
Velocidade de fresta	V _f = 6,5 m/s
Abertura da fresta	2,0 a 4,0 cm
Correntes cruzadas	2,0 a 3,0 m/s
Desnível entre superfície do banho / borda do tanque	6,0 cm

QUADRO COMPARATIVO ENTRE A SITUAÇÃO ENCONTRADA E A IDEAL	
ENCONTRADA	IDEAL OU MÍNIMA
Formato = frestas laterais	Multifresta, com <i>plenum</i>
Abertura de fresta = 3,0 cm (média)	3,0 cm em cada fresta
Velocidade de fresta média = 6,5 m/s	10,0 m/s
Número de tomadas de exaustão = 1	3, pois L = 4 m
Desnível líquido/borda do tanque = 6,0 cm	15,0 cm
Correntes cruzadas: 2,0 a 3,0 m/s	Zero ou próximo de zero
“Velocidade de controle” = 0,3 m/s	1,0 m/s
Vazão estimada = 0,20 m ³ /s	4,6 m ³ /s

A Figura 44 abaixo ilustra como ficaria o esquema ideal para a exaustão eficaz do tanque:

A Figura 44 abaixo ilustra como ficaria o esquema ideal para a exaustão eficaz do tanque:



$H = \text{dimensão da peça suspensa} + 100\text{mm}$

A tampa parcial sobre a superfície do tanque aumenta a eficiência da captação

Figura 44 - Esquema para exaustão lateral



O tanque de enxaguamento deve situar-se imediatamente ao lado do banho. Quando o volume de trabalho for intenso, ou quando a avaliação ambiental mostrar necessidade, recomenda-se o uso de VLE nos tanques de enxaguamento.

Figura 45 - Banhos e enxaguamento - posição relativa ideal

As práticas bastante freqüentes de utilização de bolas plásticas ou de isopor e de espuma seladora não são suficientes para o controle dos banhos. Tais medidas podem ser usadas para reduzir a emissão de poluentes, porém sempre com o uso da ventilação local exaustora.

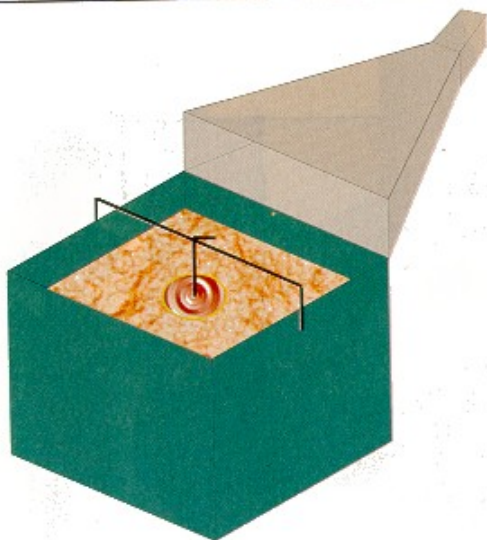


Figura 46 - Banho com espuma seladora

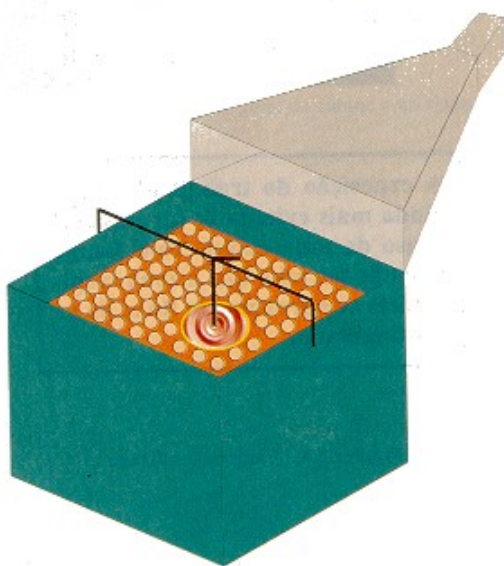


Figura 47 - Uso de bolas plásticas ou de isopor



A exposição do trabalhador será ainda mais evitada se for possível o uso de uma cabine com flange que não permita que a zona respiratória se aproxime do fluxo de ar contaminado.

Figura 48A - Cabine com flange

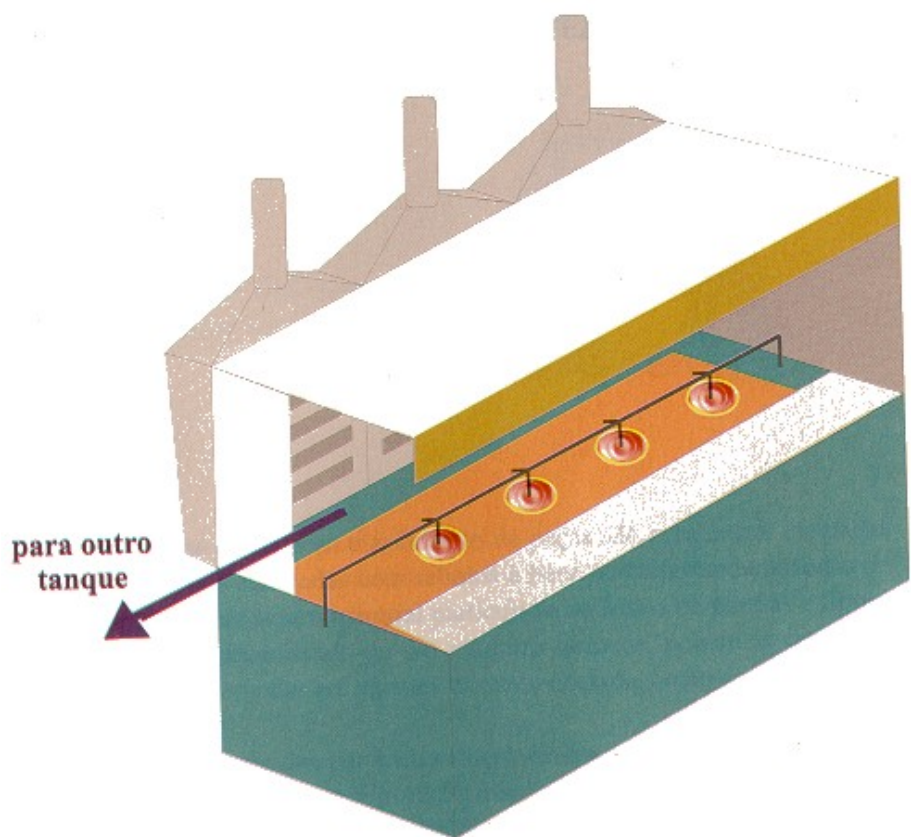


Figura 48B - Visão geral da cabine com flange

As operações de limpeza e polimento de peças são geralmente efetuadas em máquinas equipadas com rebolos à base de carborundum, rodas de pano e outros, e produzem material particulado na forma de poeiras e fibras. Esses materiais, dependendo da sua natureza químicas, podem se constituir desde poeiras incômodas até agentes bastantes nocivos, como é o caso da poeira de sílica.

Para o controle das partículas dispersas no ar, um sistema de captação conforme mostrado na Figura 50 é suficiente para o controle do ambiente, desde que seja corretamente dimensionado em termos qualitativos e quantitativos.

O dispositivo ilustrado na Figura 50 é chamado de captor-coletor, pois além de captar a poeira também coleta as partículas mais pesadas que são projetadas para dentro da abertura.



Figura 49A - Limpeza de peça sem exaustão liberando poeira de material pesado



Figura 49B - Limpeza de peça sem exaustão liberando poeira e fibras leves

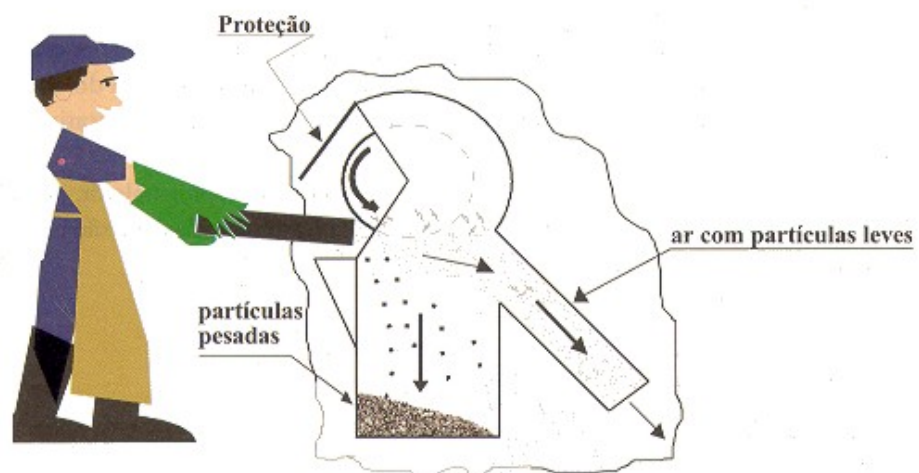


Figura 50 - Captor-coletor

13
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. *AMERICAN CONFERENCE OF GOVERNMENTAL INDUSTRIAL HYGIENISTS. Industrial ventilation: a manual of recommended practice. 20. ed. Cincinnati: Committee on Industrial Ventilation, 1988. 1v.*
2. MESQUITA, Armando Luiz de Souza, GUIMARÃES, Fernando de Araújo, NEFUSSI, Nelson. *Engenharia de ventilação industrial.* São Paulo: CETESB, Edgard Blücher, 1977. 142p.

Sobre o livro

*Composto em Times 11/14
em pólen rustic 85 g/m² (miolo)
e cartão supremo 250 g/m² (capa)
no formato 16x23 cm
pela gráfica da FUNDACENTRO*

1ª Edição: 1995

Reimpressão: 1996

2ª Edição - 2002

Tiragem: 2000

Equipe de realização

Revisão técnica:

Francisco Kulcsar Neto

Revisão de texto:

Beatriz de Freitas Moreira

Coordenação de Produção:

Lilian Quetroz

**MINISTÉRIO
DO TRABALHO E EMPREGO**



FUNDACENTRO
FUNDAÇÃO JORGE DUPRAT FIGUEIREDO
DE SEGURANÇA E MEDICINA DO TRABALHO

Rua Capote Valente, 710
São Paulo - SP
05409-002
Tel: 3066-6000
www.fundacentro.gov.br