



**André Geleski**

**DIMENSIONAMENTO DE UM SISTEMA DE VENTILAÇÃO  
LOCAL EXAUSTORA PARA FUMOS METÁLICOS**

**Horizontina**

**2015**

**André Geleski**

**DIMENSIONAMENTO DE UM SISTEMA DE VENTILAÇÃO LOCAL  
EXAUSTORA PARA FUMOS METÁLICOS**

Trabalho Final de Curso apresentado como requisito parcial para a obtenção do título de Bacharel em Engenharia Mecânica, pelo Curso de Engenharia Mecânica da Faculdade Horizontina.

ORIENTADOR: Adriano Roberto da Silva Carotenuto, Dr.

**Horizontina**

**2015**

**FAHOR - FACULDADE HORIZONTINA  
CURSO DE ENGENHARIA MECÂNICA**

**A Comissão Examinadora, abaixo assinada, aprova a monografia:**

**“Dimensionamento de um sistema de ventilação local  
exaustora para fumos metálicos”**

**Elaborada por:**

**André Geleski**

Como requisito parcial para a obtenção do grau de Bacharel em  
Engenharia Mecânica

Aprovado em: 09/10/2015  
Pela Comissão Examinadora

---

Prof. Dr. Adriano Roberto da Silva Carotenuto  
Presidente da Comissão Examinadora - Orientador

---

Prof. Me. Anderson Dal Molin  
FAHOR – Faculdade Horizontina

---

Prof. Esp. Leonardo Texeira  
FAHOR – Faculdade Horizontina

**Horizontina  
2015**

## **DEDICATÓRIA**

Dedico este trabalho a minha família, especialmente aos meus pais e minha esposa Andréia Estér e meu filho Lorenzo que sempre estiveram ao meu lado no decorrer desta jornada.

## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço primeiramente a Deus por proporcionar a realização de um sonho.

Minha esposa Andréia Estér, pela compreensão e companheirismo.

Minha família e meus amigos por me motivar.

Meus professores, mestres do conhecimento, por terem contribuído com minha formação.

A única maneira de fazer um bom trabalho é amando o que você faz. Se você ainda não encontrou, continue procurando. Não se desespere. Assim como no amor, você saberá quando tiver encontrado.

(Steve Jobs)

## RESUMO

Diante das transformações tecnológicas e da necessidade de atualização dos processos industriais em relação aos cuidados com a saúde, se preocupa em remover os fumos de soldagem por conterem substâncias perigosas e propícias ao desenvolvimento de futuras doenças pulmonares decorrentes da contaminação do indivíduo pela respiração de fumos metálicos. Portanto, torna-se necessário capturar o ar contaminado no local mais próximo de onde é gerado, antes que se espalhe pelo recinto, desta forma minimiza os riscos à saúde. O presente trabalho aborda as normas regulamentadoras relativas à segurança e saúde ocupacional, regidos pela Consolidação das Leis do Trabalho, que são de observância obrigatória para toda a empresa ou instituição. O presente trabalho tem por finalidade dimensionar um sistema de ventilação local exaustora de fumos metálicos composto pelo captor, dutos, exaustor e filtro para o laboratório de práticas mecânicas da FAHOR. Conclui-se que, a pesquisa atingiu seu principal objetivo que é o dimensionamento do sistema mecânico de ventilação local exaustora através de cálculo referente à vazão necessária, e somando às perdas de carga do sistema para então dimensionar o tipo de exaustor que melhor se aplica. Analisando as características construtivas do captor será possível determinar sua vazão de  $0,837 \text{ m}^3/\text{s}$ , posteriormente se determina o diâmetro dos dutos usando uma velocidade média do fluido de  $10\text{m/s}$ , porém somando as perdas de carga dos acessórios (captor, curvas, filtro) com a do duto, tem-se a perda de carga total de  $501,1 \text{ N m}^2$ , e cruzando com o valor da vazão no diagrama das curvas características, pode-se determinar a potência no eixo do exaustor de  $550 \text{ W}$ , seu modelo é do tipo sirocco o qual terá um rendimento médio de  $80 \%$  na rotação de  $1400\text{rpm}$ .

Palavras-chave:

Fumos metálicos-Captor-Exaustor

## ABSTACT

In the face of technological change, the need to upgrade industrial processes in relation to health care, care in removing welding fumes to contain dangerous and prone substances the development of future lung diseases arising from the individual contamination by breathing metal fumes. Therefore, it is necessary to capture the contaminated air at the nearest location from where it is generated, before it spreads through the room, thereby minimizing health risks. This paper addresses the regulatory standards for safety and occupational health, governed by the consolidation of labor Laws, which are obligatory for any company or institution. This study aims to scale a local exhaust ventilation exhaust of welding fumes composed of the captor, ducts, exhaust fan and filter to the laboratory of mechanical practices FAHOR. In conclusion, the study reached its main goal is the design of the mechanical system of local exhaust ventilation by calculation related to the required flow, and adding to losses load the system and then scale the type of hood that best applies. By analyzing the construction characteristics of the captor you can determine your flow of  $0.837 \text{ m}^3/\text{s}$ , subsequently determines the diameter of the ducts using an average speed of  $10 \text{ m/s}$  fluid, but adding the pressure drop of the accessories (captor, curves, filter) with the duct has the overall pressure drop of  $501.1 \text{ N m}^2$ , and crossing with the flow value in the diagram of the characteristic curves, one can determine the power extractor  $550 \text{ W}$  of the shaft, its model is the type sirocco which have an average yield of 80% in the rotation of 1400rpm.

Keywords:

Metallic fumes-Captor-Exhaust hood

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Exemplo de sistema de ventilação local exaustora. ....	13
Figura 2: Presença de óxido amorfo de silício ao redor de uma partícula de fumo .....	16
Figura 3. Os riscos ao organismo de acordo com o tamanho das partículas.....	17
Figura 5. Filtros HEPA planos .....	19
Figura 6. Correta direção do fluxo de aspiração de contaminantes. ....	20
Figura 7. Equipamento de captação na fonte geradora. ....	21
Figura 9. Sistema de ventilação local exaustora .....	27
Figura 10. Fluxograma para o cálculo de perda de carga em dutos.....	30
Figura 11. Diagrama de Moody para det. o coef. fda perda de carga em dutos .....	31
Figura 12. Diagrama das curvas características de um exaustor RLS400.....	33
Figura 13. Exaustor centrífugo de pás retas.....	34

# SUMÁRIO

<b>1. INTRODUÇÃO</b> .....	<b>11</b>
1.1. JUSTIFICATIVA .....	11
1.2. OBJETIVOS .....	12
<b>2. REVISÃO DA LITERATURA</b> .....	<b>13</b>
2.1. SISTEMA DE VENTILAÇÃO LOCAL EXAUSTORA .....	13
2.2. NORMAS REGULAMENTADORAS .....	14
2.3. FORMAÇÃO DOS FUMOS METÁLICOS .....	15
2.4. FUMOS METÁLICOS .....	17
2.5. EQUIPAMENTO DE CONTROLE DE POLUIÇÃO .....	19
<b>2.6. ROTEIRO PARA DE CÁLCULO PARA O SISTEMA DE EXAUSTÃO</b> .....	<b>20</b>
2.6.1. CAPTOR .....	20
2.6.2. VOLUME DE AR NECESSÁRIO À VENTILAÇÃO .....	21
2.6.3. ÍNDICE DE RENOVAÇÃO DE AR NO RECINTO .....	22
2.6.4. DIÂMETRO DA CANALIZAÇÃO .....	22
2.6.5. PERDAS DE CARGA NO CAPTOR .....	23
2.6.6. PERDA DE CARGA NA CANALIZAÇÃO .....	23
2.6.7. POTÊNCIA MECÂNICA .....	24
<b>3. METODOLOGIA</b> .....	<b>26</b>
3.1. MÉTODOS E TÉCNICAS UTILIZADOS .....	26
<b>4. APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DE RESULTADOS</b> .....	<b>28</b>
4.1. CÁLCULO REFERENTE À VAZÃO NO CAPTOR .....	28
4.2. CÁLCULO PARA VERIFICAR A CAPACIDADE DE SUCCÃO .....	28
4.3. ÍNDICE DE RENOVAÇÃO DE AR NO RECINTO .....	29
4.4. CÁLCULO DO DIÂMETRO DO DUTO .....	29
4.5. PERDAS DE CARGA NO SISTEMA .....	29
4.6. ESCOLHA DA MÁQUINA DE FLUXO .....	32
<b>5. CONCLUSÕES</b> .....	<b>35</b>
<b>6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS</b> .....	<b>36</b>

## 1. INTRODUÇÃO

A saúde dos trabalhadores está sendo uma preocupação das empresas em todo o mundo, mas a questão se estende para além dos indivíduos e passa a suas famílias. O estado de perfeito de saúde tem sido de suma importância para a produtividade, competitividade e sustentabilidade das empresas e comunidades, assim como para as economias nacionais.

Nos processos de soldagem, a formação de fumos metálicos e de gases tem se tornado um elemento de estudo em relação a sua inalação e doenças causadas. Na soldagem de metais há geração de fumos e gases, um efeito das reações físico-químicas que acontecem na poça de fusão devida a altas temperaturas nos locais do corte. Sendo que, reduzir as emissões desses fumos é impossível, pois fazem parte do processo de soldagem, então é necessário buscar soluções para deixar o ambiente mais adequado e seguro para a saúde dos indivíduos. Essa necessidade faz com que se desenvolvam idéias e técnicas, para tornar os ambientes de trabalho mais agradáveis e menos prejudicial à saúde.

Esses agentes químicos (ligas de aço, alumínio, manganês, chumbo, ferro) contidos nos fumos e gases provenientes da soldagem de metais podem causar danos irreversíveis à saúde, dependendo da impureza, concentração e intensidade, segundo Nederman (2015). Sendo que a característica tóxica dos fumos varia de acordo com a composição química do eletrodo e da matéria-prima a ser utilizado.

Portanto será proposto o dimensionamento de um sistema de ventilação local exaustora que terá como função eliminar gases tóxicos e fumos oriundos dos processos de soldagem.

### 1.1. JUSTIFICATIVA

As organizações internacionais de saúde reconhecem a importância da prevenção dos riscos para a saúde associados aos e fumos metálicos gerados durante o processo de soldagem de metais.

Por sua vez ESAB (2015), descreve que o local de trabalho deve possuir ventilação adequada de forma a eliminar os gases e fumos usados e gerados pelos processos de soldagem e que podem ser prejudiciais à saúde dos trabalhadores.

Substâncias potencialmente nocivas podem existir em certos fluxos, revestimentos e metais de adição ou podem ser liberadas durante a soldagem ou o corte. Em muitos casos, a ventilação natural é suficiente, mas certas aplicações podem requerer uma ventilação forçada, cabines com coifas de exaustão, filtros de respiração ou máscaras com suprimento individual de ar. O tipo e a importância da ventilação dependem de cada aplicação específica, do tamanho do local de trabalho, do número de trabalhadores presentes e da natureza dos materiais trabalhados.

Cada dia há uma maior preocupação das instituições com a saúde dos colaboradores onde é fundamental proporcionar a eles um ambiente saudável e seguro, para realização de suas tarefas. Baseado nesta idéia, este trabalho tem como foco, apresentar uma forma para retirar os fumos metálicos presentes do laboratório de estudo práticos da FAHOR.

## 1.2.OBJETIVOS

O principal objetivo deste trabalho é realizar um estudo para dimensionar um sistema de ventilação local exaustora, que será capaz de retirar do ambiente contaminando, fumos metálicos e gases tóxicos produzido pelo processo de soldagem no laboratório de estudos da FAHOR.

Os objetivos específicos constituem-se nas propostas:

- Descrever um sistema de ventilação local exaustora;
- Estudar das normas brasileiras referentes ao tema abordado;
- Conhecer a formação dos contaminantes;
- Modelar o captor;
- Equacionar do sistema de exaustão;
- Solucionar o equacionamento;
- Determinar o modelo de exaustor.

## 2. REVISÃO DA LITERATURA

Neste capítulo, são apresentadas algumas das definições sobre exaustão, soldagem, normas e regulamentos, fumos metálicos, formação dos fumos, principais tipos de fumos e o equipamento de controle de poluição. Os efeitos no organismo humano que os fumos podem trazer e a forma de como será captado do ambiente.

### 2.1. SISTEMA DE VENTILAÇÃO LOCAL EXAUSTORA

A ventilação local exaustora é aquela que extrai o contaminante mecanicamente no próprio local em que ele é produzido, antes mesmo de se espalhar pelo ambiente, por meio de sucção de uma corrente de ar. Esse modo de ventilação se caracteriza por transportar pelo ar detritos como poeira, fumos e vapores, que atingem em peso uma parcela mínima da mistura ( $<0,15\%$ ), destaca Costa (2005).

O ar extraído do recinto é substituído naturalmente por igual quantidade de ar exterior, contribuindo para a ventilação por diluição do ar viciado do ambiente geral. Na maior parte dos casos, a quantidade de ar movimentado pelos sistemas de ventilação local exaustora é insuficiente, devendo ser providenciada uma ventilação adicional seja por exaustão ou insuflamento, ressalta Costa (2005).

Uma instalação de ventilação local exaustora é constituída normalmente de captor, que envolve o elemento poluidor extraíndo-o; de separador ou coletor, que separa os contaminantes do ar; do elemento mecânico, que garante a movimentação desejada do ar; e da canalização necessária há circulação do ar ao longo de todo o sistema, exemplificado na figura seguinte.

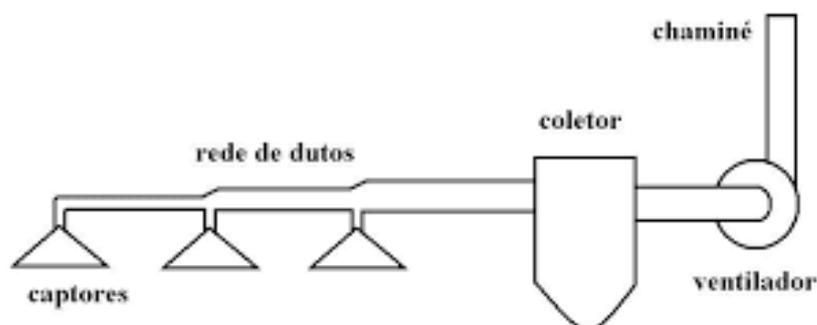


Figura 1. Exemplo de sistema de ventilação local exaustora. Fonte UFPR (2015)

## 2.2. NORMAS REGULAMENTADORAS

As NR's (Normas Regulamentadoras), relativas à segurança e saúde ocupacional, são de observância obrigatória para todas as empresas ou instituições que admitem empregados regidos pela Consolidação das Leis do Trabalho (CLT), conforme a NR-1.

Segundo Nederman (2015), conforme as normas vigentes no Brasil (NR-9 – Programa de Prevenção de Riscos Ambientais), na maioria dos países industrializados as medidas de combate a contaminação ambiental no trabalho devem obedecer à seguinte hierarquia:

1. Medidas que eliminem ou reduzem a utilização ou a formação de agentes prejudiciais à saúde;
  2. Medidas que reduzem a liberação ou a disseminação desses agentes no ambiente de trabalho;
  3. Medidas que previnem a liberação ou a disseminação desses agentes no ambiente de trabalho.
- 
- No primeiro caso está relacionado em eliminar ou reduzir o fumo metálico produzido durante a soldagem de metais, tendo como meta eliminar totalmente os resíduos.
  - No segundo caso, relaciona reduzir a liberação ou a disseminação dos agentes químicos, incluído equipamentos para captação dos resíduos.
  - Para o terceiro caso a norma NR-9 relaciona para prevenção a liberação ou disseminação dos agentes químicos, incluído a captação e tratamento do poluente antes da liberação ao meio ambiente.

A norma NR-15 (Atividades e Operações Insalubres), Anexo nº11 explana sobre agentes químicos cuja insalubridade é caracterizada por limites de tolerância e inspeção no local de trabalho:

1. Nas atividades ou operações nas quais os trabalhadores ficam expostos a agentes químicos, a caracterização de insalubridade ocorrerá quando forem ultrapassados os limites de tolerâncias;
2. Limites de tolerância são válidos para absorção apenas por via respiratória;

3. Avaliação das concentrações dos agentes químicos é feita de métodos de amostragem instantânea de leitura direta, repetitivas em intervalos de tempo;
4. O limite de tolerância é considerado excedido quando a média das concentrações ultrapassar os valores fixados.

A tabela a seguir descreve o limite para exposição humana a gases

Tabela 1  
Limite para exposição de gases

Agente Químico	Limite de tolerância (até 48 horas/semana)
Dióxido de Carbono	$7020\text{mg}/\text{m}^3$
Dióxido de Nitrogênio	$7\text{mg}/\text{m}^3$
Monóxido de Carbono	$43\text{mg}/\text{m}^3$
Ozona (Ozônio)	$0,16\text{mg}/\text{m}^3$

Fonte: Adaptado de NR-15

Para a Norma Regulamentadora 6 – NR-6, considera-se Equipamento de Proteção Individual - EPI, todo dispositivo ou produto, de uso individual utilizado pelo trabalhador, destinado à proteção de riscos suscetíveis de ameaçar a segurança e a saúde no trabalho.

Assim como, entende-se como Equipamento Conjugado de Proteção Individual, todo aquele composto por vários dispositivos, que o fabricante tenha associado contra um ou mais riscos que possam ocorrer simultaneamente e que sejam suscetíveis de ameaçar a segurança e a saúde no trabalho.

### 2.3. FORMAÇÃO DOS FUMOS METÁLICOS

Os fumos metálicos são oriundos do processo de soldagem, que consiste na união de materiais de propriedades semelhantes, colocando em contato íntimo, e aquecendo as superfícies de contato de modo a levá-las a um estado de fusão ou plasticidade de soldagem com ou sem a adição de material, segundo Machado (1996).

Aproximadamente 90% dos fumos são originários dos consumíveis enquanto que o metal de base contribui muito pouco em sua formação. Os fumos apresentam todos os elementos presentes no consumível, mas em proporções diferentes. Substâncias mais voláteis têm maior concentração nos fumos do que nos consumíveis e o oposto é válido para substâncias com maior ponto de fusão. No caso de metal base revestido (galvanizado, zincado, fosfatizado, pintado, etc.) o maior contribuinte para a formação dos fumos será o revestimento. Além da geração de fumos há também a geração de gases, os mais comumente gerados são o dióxido de carbono e o ozônio, além de vários outros, Nederman (2015).

Na soldagem, os fumos originados na região do arco elétrico consistem de partículas sólidas e gases gerados a partir do metal de base, eletrodo, diferentes fluxos e gases de proteção. Os óxidos metálicos produzidos pela condensação de metal líquido são os principais constituintes da nuvem/cortina visível. Os óxidos consistem de partículas ultrafinas, normalmente, são o que se considera de "fumos de soldagem", hsoldas, (2015).

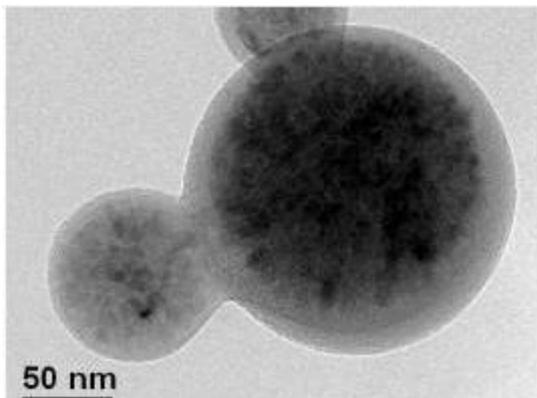


Figura 2: Presença de óxido amorfo de silício ao redor de uma partícula de fumo.  
Fonte: hsoldas (2015)

Os fumos contêm um conjunto de partículas metálicas e não metálicas, com faixa diferenciada de tamanho, incluindo micro partículas menor que 0,01  $\mu\text{m}$  (micron). As partículas em suspensão podem ser potencialmente perigosas quando o operário fica exposto ao ambiente de trabalho sem o uso adequado de Equipamento de Proteção Individual (EPI) e/ou Equipamento de Proteção Coletiva (EPC), hsoldas (2015).

O tamanho das partículas 0.01-1 $\mu$ m no ponto de emissão influencia a toxicidade dos fumos, quanto menor a partícula, maior o perigo. Essas partículas estão aglomeradas quando atingem a zona de respiração do soldador, gerando partículas de fumos de 1-2  $\mu$ m. O tamanho das partículas é importante porque determina o quanto o sistema respiratório é afetado. Partículas maiores que 5  $\mu$ m são depositadas no trato respiratório superior. Partículas entre 0.01 – 5  $\mu$ m, que incluem os fumos de solda, penetram na parte interna dos pulmões (os alvéolos) e ficam lá depositadas, resalta Nederman (2015). A figura a seguir retrata o quanto o tamanho da partícula influencia na penetração no sistema respiratório.



Figura 3. Os riscos ao organismo de acordo com o tamanho das partículas.

Fonte:Padilha (2015)

#### 2.4. FUMOS METÁLICOS

Os fumos de solda são partículas sólidas de óxido de metais formadas durante o processo de soldagem. Os fumos possuem toxicidades diferentes, dependendo das condições de exposição, eles podem afetar diversas partes do

corpo, incluindo pulmões, coração, rins e sistema nervoso central. Como exemplo de metais encontrados nos fumos de solda pode ser citado: arsênico, berílio, cádmio, cromo, cobalto, cobre, ferro, chumbo, manganês, níquel, silicatos, selênio, vanádio e zinco, cita Matheus e Daher (2009),

Nederman (2015), esclarece que em um teste realizado em condições normais de trabalho, um único soldador produz de 20g a 40g de fumos por hora, correspondem a cerca de 35 Kg a 70 Kg por ano. Danos causados pelos fumos não estão baseados somente no operador, afeta equipamento, que pode estar sujeito a fumos residuais e necessita de proteção.

Na figura 4 são apresentados alguns matérias, com respectivos componentes químicos e limites máximos de tolerância, relacionados com as conseqüências à saúde, TLV/TWA (ThresholdLimitValue – Time WeightedAverage) é o termo americano que expressa o limite de exposição para concentrações máximas de gases tóxicos, referentes a jornada de trabalho de 8 horas diárias e 40 horas semanais. No Brasil deve ser corrigido para 8 horas diárias e 48 horas semanais. Para verificação de limites máximos da quantidade dos fumos presente no ambiente, é verificada a partir da quantidade de massa contaminante, em miligrama, por metro cúbico de ar ( $\text{mg}/\text{m}^3$ ).

Material	Contaminante	TLV/TWA	Efeitos sobre a saúde
Aço doce	Total das partículas	5.0 $\text{mg}/\text{m}^3$	Possível alteração nos pulmões, detectados por raio-X, irritação, incapacidade óssea progressiva.
	Fluoretos	2.5 $\text{mg}/\text{m}^3$	
Aço manganês	Manganês	1.0 $\text{mg}/\text{m}^3$	Moleza, debilidade nas pernas, transtornos emocionais.
Monel	Cobre	0.2 $\text{mg}/\text{m}^3$	Irritação, náusea, câncer pulmonar.
	Níquel	0.05 $\text{mg}/\text{m}^3$	
Alumínio	Alumínio	5.0 $\text{mg}/\text{m}^3$	Possíveis alterações pulmonares, irritação, redução da capacidade respiratória.
	Ozônio	0.1 ppm Valor teto	
Aço inoxidável	Cromo	0.5 $\text{mg}/\text{m}^3$	Úlcera cutânea, irritação nasal, câncer.

Tabela 2. Componentes químicos presentes no fumo metálico.  
Fonte: Sitedasoldagem (2015)

Em situações que o nível de contaminação do ar exceda limites prescritos no TLV (ThresholdLimitValue), são necessárias medidas de engenharia para reduzir a contaminação através de ventilação, exaustão ou aspiração forçada.

## 2.5. EQUIPAMENTO DE CONTROLE DE POLUIÇÃO

Os filtros como são conhecidos os equipamentos de controle de poluição, são destinados a reter o contaminante após ser capturado junto à fonte geradora. Tem sua utilização justificada por evitar a contaminação da região próxima.

Como o tamanho das partículas de fumos quando atingem o trato pulmonar são de 1-2 $\mu\text{m}$ , portanto, o filtro que melhor se aplica é o modelo HEPA (*high efficiency particulate air filters*), que tem eficiência próxima de 95% descrito por Senatore (2015). Filtros contaminados devem ser eliminados como resíduos perigosos e submetidos de acordo com a legislação local. Podendo ter uma perda de carga de 450 N/m<sup>2</sup> quando atingida sua capacidade máxima de filtragem.



Figura 4. Filtros HEPA planos. Fonte Senatore (2015)

## 2.6. ROTEIRO PARA DE CÁLCULO PARA O SISTEMA DE EXAUSTÃO

Nesse capítulo será descrito as etapas e seus referentes cálculos para determinar a vazão necessária do captor, o diâmetro da tubulação, perdas de carga do duto e acessórios, o índice de renovação do ar.

### 2.6.1. Captor

É um dispositivo que, colocado junto à fonte de contaminação, a qual deverá ser suficiente para arrastar o contaminante. Segundo Clezar (1999), ao instalar o sistema de aspiração deve-se levar em consideração a localização do captor de maneira que o contaminante não atinja a zona de respiração do trabalhador e não fique no fluxo de contaminante é exemplificado na figura 6.

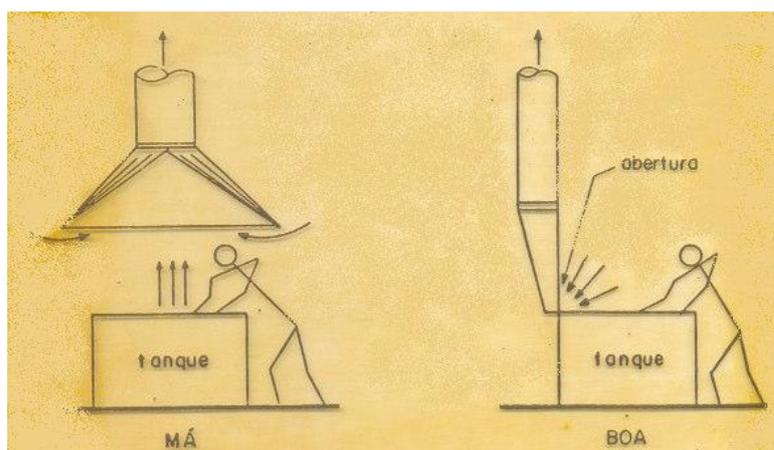


Figura 5. Correta direção do fluxo de aspiração de contaminantes. Fonte: UFPR (2015)

O captor tem a finalidade de criar uma velocidade de captação para o ar de ventilação aspirado, velocidade essa capaz de arrastar o contaminante para seu interior conduzindo para a tubulação, observa Costa (2005), fazendo com que ocorra a troca de ar extraído contaminado por igual parte de ar limpo. A seguir modelo do captor de abertura plana.

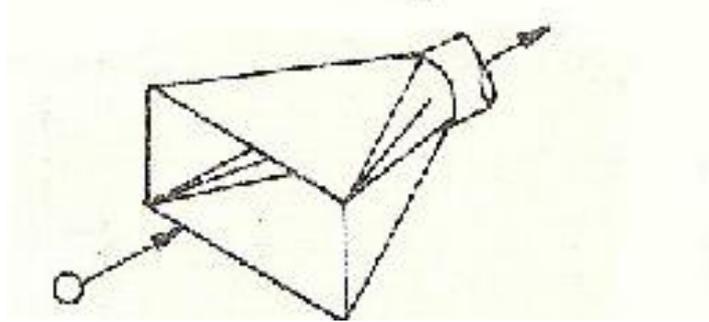


Figura 6. Equipamento de captação na fonte geradora. Fonte: UFPR (2015)

Para captores a vazão é obtida aplicando a equação da continuidade.

$$Q = V \cdot A \quad (1)$$

Onde:

Q= Vazão [ $m^3 \cdot s$ ]

V= Velocidade [ $m \cdot s$ ]

A= Área da face [ $m^2$ ]

A equação para determinar a vazão volumétrica de captura no captor leva em consideração a correlação entre vazão, velocidade de captura, distância do captor ao ponto crítico e a área da fresta.

$$Q = V(10X^2 + A) \quad (2)$$

Onde:

Q= Vazão [ $m^3 \cdot s$ ]

V= Velocidade de captura [ $m \cdot s$ ]

$X^2$ = Distância entre o captor ao ponto de captura [m]

A= Área da face [ $m^2$ ]

### 2.6.2. Volume de ar necessário à ventilação

Para o cálculo da quantidade de ar necessário à ventilação se dá pela relação da quantidade da produção de contaminante pelo limite de tolerância a contaminantes, segundo Costa (2005).

$$R = \frac{\text{Produção de contaminantes} [mg \cdot h]}{\text{Limite de tolerância} [mg \cdot m^3]} \quad (3)$$

### 2.6.3. Índice de renovação de ar no recinto

O índice de renovação do ar no recinto é a relação entre o volume de ar contaminado no ambiente ( $m^3/h$ ) e o volume ( $m^3$ ) do ar no recinto a ser renovado em uma hora, segundo Costa (2005).

$$N = \frac{\text{Volume de ar contaminado} [m^3 \text{ h}]}{\text{Volume } m^3} \quad (4)$$

### 2.6.4. Diâmetro da canalização

No que diz respeito a projeto do sistema de dutos, deve-se considerar que as vazões utilizadas na ventilação industrial são sempre elevadas, justificando o uso de magnitude de velocidades mais elevadas, pois contrário ter-se-iam dutos de diâmetros exageradamente grandes. Uma vez especificada a velocidade, o diâmetro dos dutos é calculado por meio da equação da continuidade, como segue:

$$Q = V \cdot A = V \cdot \frac{\pi D^2}{4} \quad (5)$$

Portanto:

$$D = \sqrt{\frac{4 \cdot Q}{\pi \cdot V}} \quad (6)$$

Onde:

Q= Vazão [ $m^3 \text{ s}$ ]

V= Velocidade [ $m \text{ s}$ ]

A= Área do duto [ $m^2$ ]

D= Diâmetro interno do duto [m]

### 2.6.5. Perdas de carga no captor

Segundo Macintyre (1998), ao longo da instalação de ventilação forçada, existem peças que contribuem para aumentar a perda de carga do sistema, em razão do atrito, das turbulências e das variações na velocidade.

A perda de carga do captor é calculada pela expressão para perdas de carga em acessórios.

$$\Delta_p = k \frac{V^2}{2} \rho \quad (7)$$

Onde:

$\Delta_p$  = Perda de carga no acessório [ $N \ m^2$ ]

$k$  = Coeficiente de atrito

$V$  = Velocidade [ $m \ s$ ]

$\rho$  = Massa específica do ar [ $kg \ m^3$ ]

### 2.6.6. Perda de carga na canalização

A queda de pressão associada com a queda de energia devido ao atrito é calculada com o auxílio da equação de Darcy-Weisback, a qual é aplicada tanto para os escoamentos laminares como também para o escoamento turbulento:

$$\Delta_p = f \frac{l}{D} \frac{V^2}{2} \rho \quad (8)$$

Onde:

$\Delta_p$  = Perda de carga na canalização [ $N \ m^2$ ]

$f$  = Coeficiente de atrito

$V$  = Velocidade [ $m \ s$ ]

$l$  = Comprimento da canalização [m]

$D$  = Diâmetro do duto [m]

$\rho$  = Massa específica do ar [ $kg \ m^3$ ]

A previsão do tipo de escoamento e o coeficiente de atrito que serão calculados podem ser determinados pelo diagrama de Moody em função do número de Reynolds e a rugosidade relativa da parede do duto, sendo as seguintes expressões:

Equação do Número de Reynolds

$$\Re = \frac{V \cdot D}{\nu} \quad (9)$$

Onde:

$\Re$  = Número de Reynolds

V = Velocidade [m/s]

D = Diâmetro [m]

$\nu$  = Coeficiente de viscosidade cinemática [ $m^2 \cdot s$ ]

Equação da Rugosidade Relativa da parede do duto

$$\frac{\varepsilon}{D} \quad (10)$$

Onde:

$\varepsilon$  = Rugosidade da parede do duto, [m]

D = Diâmetro do duto [m]

Quando  $\Re$  for menor do que 2.300, o escoamento será laminar. Se  $\Re$  for maior do que 4.000, o escoamento será turbulento e o coeficiente de atrito tem determinação experimental. Quando o valor de  $\Re$  estiver compreendido entre estes dois limites, o escoamento é caracterizado como instável.

### 2.6.7. Potência mecânica

As instalações de ventilação por exaustão necessitam do ventilador como veículo para criar a gradiente energética que permite o desejado escoamento do ar, define Macintyre (1998).

Exaustores centrífugos de pás retas são de alta eficiência chegando a atingir eficiências maiores que 80% e seu funcionamento é silencioso. Uma importante característica é a autolimitação de potência, característica essa importante quando a perda de carga do sistema é variável, evitando assim a sobrecarga do motor, segundo LISBOA (2000).

### 3. METODOLOGIA

#### 3.1. MÉTODOS E TÉCNICAS UTILIZADOS

A idéia para a elaboração do sistema de ventilação local exaustora teve início quando se observou a quantidade de fumos de solda que pairavam dentro do laboratório de estudo práticos da faculdade FAHOR, quando se tinha aulas práticas de soldagem de metais.

Verificou-se que o laboratório não possuía uma ventilação adequada para dispersar os fumos ou extraí-los para o lado de fora. A pesquisa teve início levantando informações sobre as dimensões das células de soldagem e observando a que direção ou sentido a corrente de ar transportava os fumo. Buscou-se levantar informações sobre as características químicas dos metais e consumíveis utilizados e as quantidades utilizadas por hora.

Também foi necessário buscar dados e informações em apostilas de soldagem, livros de ventilação industrial e literaturas referentes à mecânica dos fluídos, para então determinar as equações que seriam aplicadas na determinação dos fatores que levariam a escolha do sistema de ventilação que melhor se aplica ao laboratório.

O presente trabalho pode ser definido como descritivo e maneira que busca referir-se de forma sistemática a uma área de interesse ou fenômeno, LAKATOS (2001).

Diante disso, propõe essencialmente na definição do captor, e equacionamento para determinar as vazões nos acessórios e duto, capacidade de sucção, renovação de ar, diâmetro do duto, a perda de carga total a fim de determinar potência mecânica ao acionamento do exaustor e o modelo apropriado.

Para a escolha do captor levou-se em consideração as seguintes definições:

- Envolver ao máximo a fonte de contaminantes;
- Ter a mínima seção de boca possível;
- Não atrapalhar o trabalho a ser executado;
- Ser de fácil manutenção e limpeza;

Para a escolha do duto levou-se em consideração as seguintes características:

- Ser de metal para resistir à pressão;
- Ser leve e maleável ou modo de ser produzido no laboratório;

- Baixo coeficiente de atrito;
- Ter mínima secção para não tomar lugar;

Para a escolha do filtro levou-se em consideração as seguintes características:

- Capacidade de filtração máxima;
- Mínima perda de carga;
- Compacto;
- Não deterioram em contato com os gases e fumos;

Para a escolha do turbo compressor levou-se em consideração as seguintes características:

- Eficiente;
- Autolimitação de potência;
- Silencioso;
- Auto-limpante;
- Compacto;
- Leve;

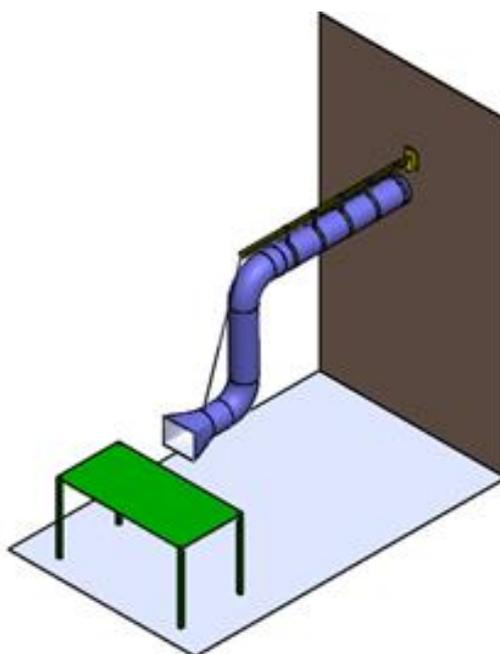


Figura 7. Sistema de ventilação local exaustora

## 4. APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DE RESULTADOS

Neste capítulo, serão apresentados os cálculos para o dimensionamento do sistema de exaustão.

### 4.1. CÁLCULO REFERENTE À VAZÃO NO CAPTOR

Primeiro critério a ser adotado é a velocidade do ar de 0,5m/s a 1,0m/s, induzida no ponto mais desfavorável (ponto de geração do contaminante) em relação à posição do captor, denominada velocidade de captura, a qual deverá ser suficiente para arrastar o contaminante e opor-se aos efeitos dispersivos das correntes de ar e ao movimento inicial adverso, conforme Clezar (1999).

As dimensões do captor que influenciam na captação são as extremidades, a medida da altura que será de 0,15m e da largura de 0,5m e distância do captor até o ponto de captura que é de 0,4m. Conforme equação 1. Obteve-se então uma vazão de 0,837m<sup>3</sup>/s.

$$\begin{aligned}
 Q &= V \cdot 10 \cdot x^2 + A & (12) \\
 Q &= 0,5 \text{ m/s} \cdot 10 \cdot (0,4\text{m})^2 + 0,15\text{m} \cdot 0,5\text{m} \\
 Q &= 0,837\text{m}^3/\text{s}
 \end{aligned}$$

### 4.2. CÁLCULO PARA VERIFICAR A CAPACIDADE DE SUÇÃO

Uma vez tendo a vazão volumétrica de captura, pode-se verificar a condição mínima de ventilação a serem adotadas no recinto. Levando em consideração a produção de contaminante (fumo de óxido de ferro) que a operação de solda com arco elétrico produz de 15g/Kg de eletrodo consumível, e adota-se o valor do limite de tolerância de 10mg/m<sup>3</sup> de óxido de ferro composto em fumos metálicos, descreve Costa (2005).

$$\begin{aligned}
 R &= \frac{2 \text{ kg } h \cdot 15 \text{ g/kg}}{0,01 \text{ g/m}^3} \\
 R &= 3000 \text{ m}^3/h \\
 R &= 0,833 \text{ m}^3/s
 \end{aligned}
 \tag{13}$$

Verifica-se que a volume produzido de contaminante é próximo e inferior a vazão volumétrica de captura no captor de  $0,837 \text{ m}^3/s$ .

#### 4.3. ÍNDICE DE RENOVAÇÃO DE AR NO RECINTO

O índice de renovação do ar no recinto é a relação entre o volume de ar contaminado no ambiente ( $\text{m}^3/h$ ) e o volume ( $\text{m}^3$ ) do ar no recinto a ser renovado em uma hora, define Clezar (1999).

$$\begin{aligned}
 N &= \frac{3000 \text{ m}^3/h}{8 \text{ m} * 7 \text{ m} * 4 \text{ m}} \\
 N &= 15,62 \text{ Renovações por hora}
 \end{aligned}
 \tag{14}$$

Para ambientes de fábrica Costa (2005) recomenda 10 ou mais renovações de ar por hora.

#### 4.4. CÁLCULO DO DIÂMETRO DO DUTO

Tendo a velocidade média de  $10 \text{ m/s}$  para fumos em canalizações e a velocidade de  $10 \text{ m/s}$ , a equação 6 define o diâmetro da canalização:

$$\begin{aligned}
 D &= \frac{4 \cdot Q}{\pi \cdot V} \\
 D &= \frac{4 \cdot 0,837 \text{ m}^3 \text{ s}}{\pi \cdot 10 \text{ m } \text{ s}} \\
 D &= 0,326 \text{ m}
 \end{aligned}
 \tag{15}$$

Adotado  $0,30 \text{ m}$  como medida padrão.

#### 4.5. PERDAS DE CARGA NO SISTEMA

As perdas de carga em série a considerar estão registradas na planilha de cálculo a seguir. A canalização e curvas serão construídas de tubos de chapa de

aço galvanizado. Disponibiliza para o cálculo da perda de carga do duto o fluxograma a seguir.

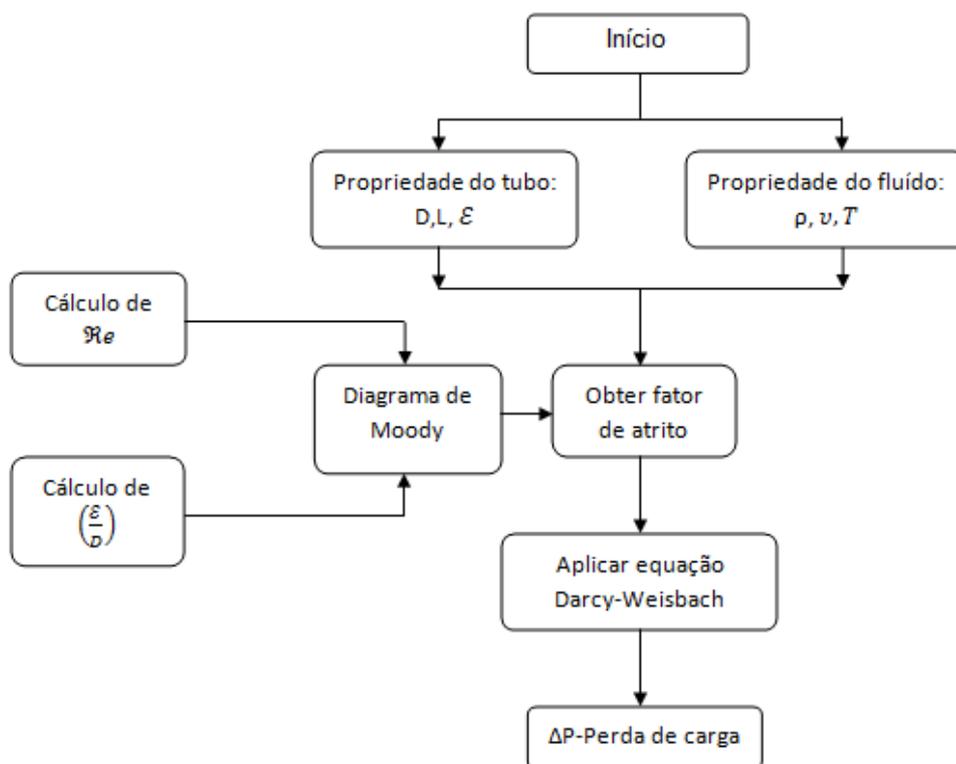


Figura 8. Fluxograma para o cálculo de perda de carga em dutos. Adaptado de dpengenharia (2015)

O número de Reynolds é calculado pela equação 9 em que consiste na multiplicação da velocidade (10 m/s) pelo diâmetro (0,30m) sendo dividido pelo coeficiente de viscosidade cinemática ( $1,5 \times 10^{-5} \text{ m}^2/\text{s}$ ).

$$\Re = \frac{V \cdot D}{\nu} \quad (9)$$

O número Reynolds obtido será de  $2 \times 10^5$ , esse valor será cruzado no diagrama de Moody com o valor da rugosidade relativa para então determinar o fator de atrito  $f(0,019)$  e caracterizando o regime como turbulento.

A equação 10 da rugosidade relativa apresenta a relação entre a rugosidade da parede do duto ( $\varepsilon=15 \times 10^{-5} \text{m}$ ) pelo diâmetro de (0,30m), tendo como resultado  $5 \times 10^{-4}$  fechará o cruzamento no diagrama a seguir.

$$\frac{\varepsilon}{D} \quad (10)$$

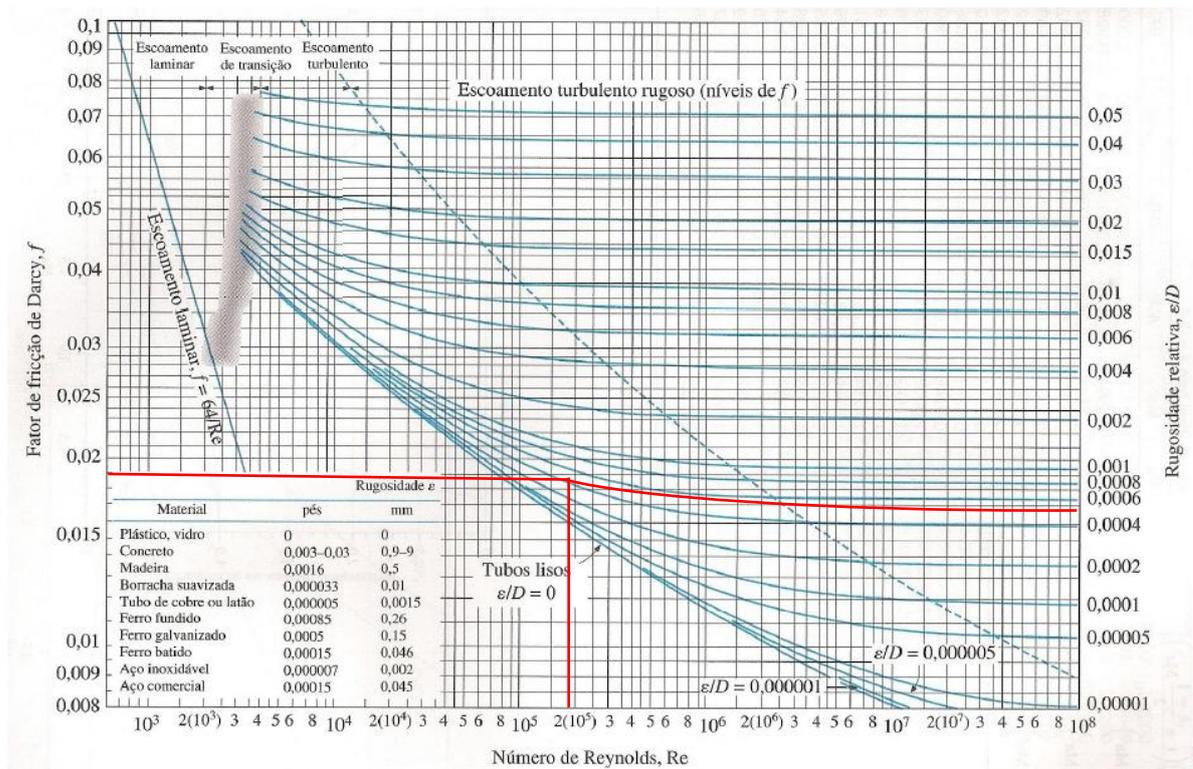


Figura 9. Diagrama de Moody para determinar o coeficiente  $f$  de perda de carga em dutos. Adaptado de ASHRAE (2015)

As perdas de carga em série a considerar estão registradas na planilha de cálculo a seguir. Elas foram calculadas a partir das equações 7 para perda de carga em acessórios e 8 para perda de carga em dutos:

$$\Delta_p = k \frac{V^2}{2} \rho \quad (7)$$

$$\Delta_p = f \frac{l V^2}{D} \frac{\rho}{2} \quad (8)$$

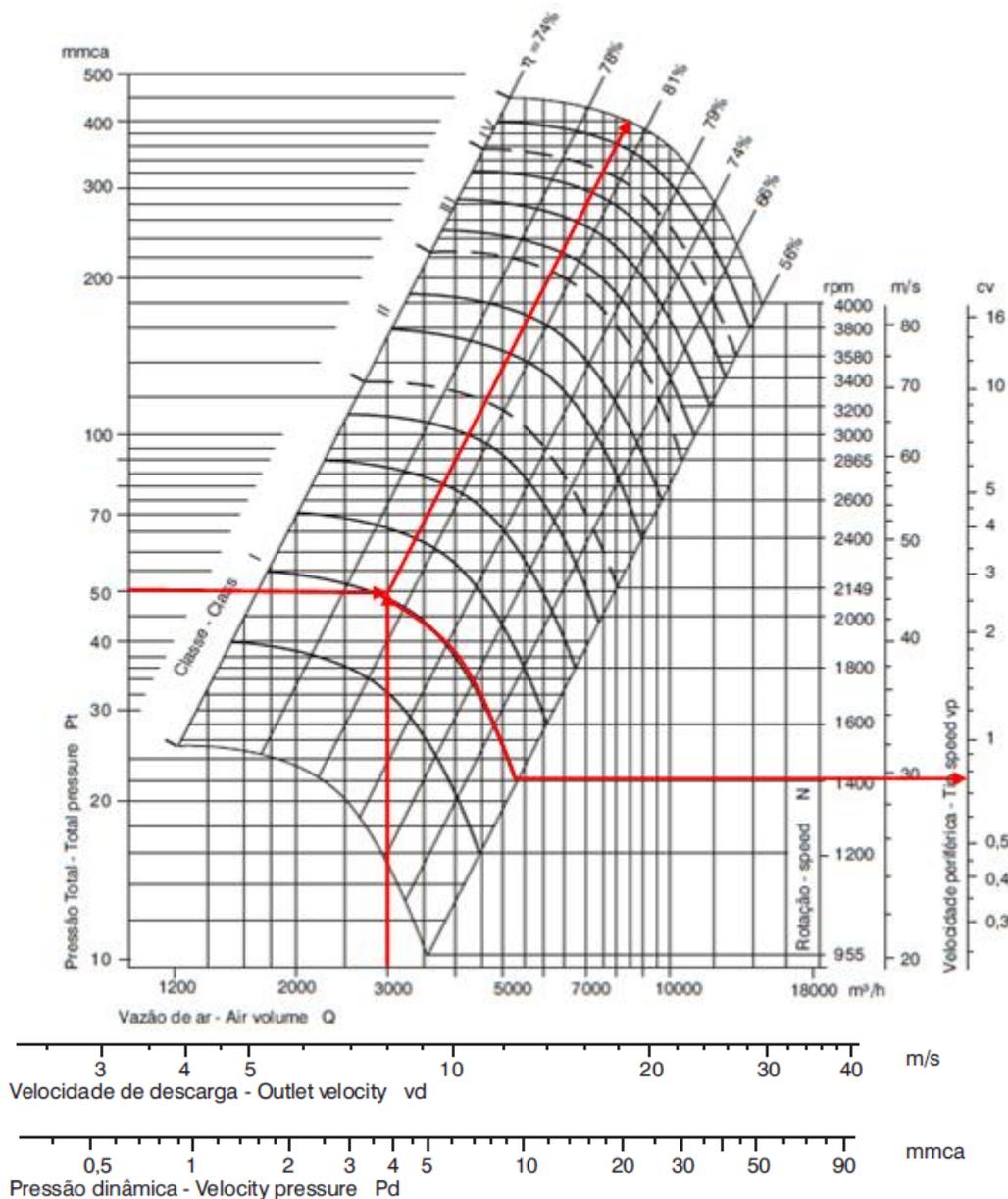
Tabela 3.  
Planilha de cálculo de perda de carga no sistema

Elemento	Q.td	l(m)	Q(m <sup>3</sup> /s)	v(m/s)	f	ε(m)	ρ(kg/m <sup>3</sup> )	U(m/s)	T(°C)	D(m)	Δp(N/m <sup>2</sup> )
Capto	1	-	0,837	10	0,17	15x10 <sup>-6</sup>	1,16	1,5x10 <sup>-6</sup>	35	-	9,86
Canalização	1	4,5			0,019					0,30	13,64
Curva	2	-			0,39						22,62
Filtro HEPA											450
Total											496,12

#### 4.6. ESCOLHA DA MÁQUINA DE FLUXO

A solução ideal para a escolha de um exaustor que melhor se aplica ao sistema de ventilação local exaustora é obtida entre a comparação da vazão necessária ao sistema de 3000m<sup>3</sup>/h e a perda de carga total 496,12 (N/m<sup>2</sup>), transformando-o para milímetros de coluna de água tem-se 49,61mmca.

Essas informações cruzadas no diagrama da figura 12 contemplam as diferentes pressões, as velocidades, as vazões, potência e as características do exaustor.



Diâmetro do rotor Impeller diameter	D = 400 mm		○ = 400 mm
Momento de inércia Moment of inertia	- CL. I e II = 0,213 kg.m <sup>2</sup> - CL. III = 0,682 kg.m <sup>2</sup> GD <sub>2</sub> - CL. IV = 0,788 kg.m <sup>2</sup>		A = 0,126 m <sup>2</sup>
			BxC = 315 x 400 mm
			A = 0,126 m <sup>2</sup>

Figura 10. Diagrama das curvas características de um exaustor RLS400. Adaptado de OTAN (2015)

Portanto, o exaustor selecionado está representado na figura 13, com as seguintes características: exaustor centrífugo de pás retas, com uma potência no

eixo do exaustor de 550 W; o rotor é de 400 mm de diâmetro; o motor do acionamento deverá trabalhar com uma rotação de 1400 rpm com um rendimento total próximo de 80%.



Figura 11. Exaustor centrífugo de pás retas. Fonte: Ventisilva (2015)

## 5. CONCLUSÕES

O objetivo deste trabalho foi dimensionar através de equações teóricas de um sistema de ventilação local exaustora para o laboratório de aulas práticas de soldagem na faculdade FAHOR. Definiu-se o modelo do captor e sua capacidade de vazão, o diâmetro da tubulação, o tipo do elemento filtrante, a renovação de ar necessária, o volume de ar a deslocado, as perdas de carga do sistema e por fim as características e o modelo de exaustor que se aplica.

Portanto, com isso verificou-se que para o laboratório de soldagem da FAHOR, o exaustor tipo sirocco de 550 W para um único captor de abertura plana suprirá a retirada dos contaminantes com 15,6 renovações de ar por hora com uma vazão média de  $3000 \text{ m}^3 / \text{h}$  para o consumo de 2 Kg de eletrodo por hora.

## 6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BRASIL. Decreto-lei nº. 6.514, de dezembro de 1977. NR 9 – PPRA. In: Manuais de Legislação Atlas: **Segurança e Medicina do Trabalho**. 54. Ed. São Paulo: Atlas, 2004.

\_\_\_\_\_ NR 1: **Disposições Gerais**. Disponível em: <[http://www.mte.gov.br/legislacao/normas\\_regulamentadoras/nr\\_15.asp](http://www.mte.gov.br/legislacao/normas_regulamentadoras/nr_15.asp)>. Acesso em: 25 abr. 2015.

\_\_\_\_\_ NR 6: **Equipamento de Proteção Individual**. Disponível em: <[http://www.mte.gov.br/legislacao/normas\\_regulamentadoras/nr\\_15.asp](http://www.mte.gov.br/legislacao/normas_regulamentadoras/nr_15.asp)>. Acesso em: 25 abr. 2015.

NR 15: **Atividades e Operações Insalubres**. Disponível em: <[http://www.mte.gov.br/legislacao/normas\\_regulamentadoras/nr\\_15.asp](http://www.mte.gov.br/legislacao/normas_regulamentadoras/nr_15.asp)>. Acesso em: 25 abr. 2015.

CHIAVERINI, VICENTE. **Tecnologia mecânica / Vicente Chiaverini**. – 2. Ed. – São Paulo: McGraw-Hill, 1986.

CLEZAR, CARLOS ALFREDO. **Ventilação industrial / Carlos Alfredo Clezar, Antonio Carlos Ribeiro Nogueira**. – Florianópolis: Ed. da UFSC, 1999.

COSTA, ENNIO CRUZ DA. **Ventilação / Ennio Cruz da Costa**. – São Paulo: Edgar Blucher, 2005.

dpengenharia.<<http://dpengenharia.com/equacao-de-darcy-weisbach-uma-solucao-as-limitacoes-das-equacoes-de-hazen-williams/>>. Acesso em 10 de out. 2015.

ESAB. **Soldagem MIG/MAG**. Disponível em <[http://www.esab.com.br/br/pt/education/apostilas/upload/apostila\\_seguranca\\_na\\_soldagem\\_rev1.>](http://www.esab.com.br/br/pt/education/apostilas/upload/apostila_seguranca_na_soldagem_rev1.>)>. Acesso em 10 abr. 2015

Hsoldas. <Http://www.hsolda.com.br/hp/index.php/inicio/222-o-que-sao-e-como-se-formam-os-fumos-em-soldagem-..>Acesso em 30 jun. 2015.

LAKATOS, E. M.; MARCONI, M. A. **Fundamentos de metodologia científica**. São Paulo: Atlas, 2001.

LISBOA, M. H. **Controle da Poluição Atmosférica**. Capítulo VI. Ventilação Industrial. Montreal. Primeira versão, out. 2007.

MACINTYRE, ARCHIBALD JOSEPH. **Ventilação industrial e controle da poluição/ Archibald Joseph Macintyre**. – Rio de Janeiro: Ed. Guanabara, 1988.

MATHEUS, B.; DAHER, M. J. E. Risco químico relacionado aos fumos de solda e poeira metálica. **Revista Rede de Cuidados em Saúde**, Vol. 3, nº 3. 2009. Acesso em 15 mai. 2015.

NEDERMAN. **Riscos e soluções para os fumos de solda**. Disponível em: [http://www.nederman.com.br/Apostila MANUAL SAUDE SOLDADORES1](http://www.nederman.com.br/Apostila%20MANUAL%20SAUDE%20SOLDADORES1). Acesso em: 10 mar. 2015.

NEDERMAN. **Soluções.** Disponível em:  
<<http://www.nederman.com.br/solu%C3%A7%C3%B5es/extraction-and-filtration>>. Acesso em: 10 mar. 2015.

UFPR. **NOCÕES DE VENTILAÇÃO INDUSTRIAL.** Disponível em:<[FTP://ftp.demec.ufpr.br/disciplinas/TM120/VENTILACAO\\_INDUSTRIAL](FTP://ftp.demec.ufpr.br/disciplinas/TM120/VENTILACAO_INDUSTRIAL)>. Acesso em 23 jun. 15.

Padilha. **Saúde e Segurança em Soldagem, corte e operações a fins.** Prof. Hélio Padilha. Disponível em <<http://player.slideplayer.com.br/9/2570035>>. Acesso em 30 jun.15.

SESI. **Ambientes de trabalho saudáveis: um modelo para ação: para empregadores, trabalhadores, formuladores de política e profissionais.** /OMS; tradução do Serviço Social da Indústria. – Brasília: SESI/DN, 2010. Disponível em:<> 25 abr. 2015.

Senatore, José Augusto S. **Filtros de ar: normalização, tendências e panorama geral.** Eng°. José Augusto S. Senatore. Engenheiro, membro do CEE-138 e gerente de projetos da Atmen. Acesso em 04 set. 2015.

Site da soldagem. <http://www.sitedasoldagem.com.br/sms/>. >Acessa em 25 abr. 2015.

WEISS, ALMIRO. **Soldagem / Almiro Weiss.**– Curitiba:Editora do Livro Técnico, 2010.