



## **PROJETO DE SISTEMA DE EXAUSTÃO PARA LABORATÓRIO DE SOLDAGEM**

**Marciano Roberto Rossatto, marciano.rossatto@gmail.com**  
**Sérgio Wortmann, sergio.wortmann@farroupilha.ifrs.edu.br**

Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio Grande do Sul – Campus Farroupilha

***Resumo:** Este trabalho tratou do projeto e dimensionamento de um sistema de exaustão para o laboratório de soldagem do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia, Rio Grande do Sul, Campus Farroupilha. Foram apresentados os cálculos de cada componente, juntamente com uma planta do laboratório com a disposição das bancadas de soldagem.*

***Palavras-chave:** soldagem, exaustão industrial, dimensionamento.*

### **1. INTRODUÇÃO**

A solda se mostra como um recurso indispensável quando é necessário unir dois componentes, tanto na área industrial, como para construção de estruturas metálicas. Consiste de um processo de união de materiais usados para obter a coalescência (união) localizada de metais e não-metais, produzida por aquecimento até uma temperatura adequada, com ou sem utilização de pressão e/ou material de adição (AWS, 2001).

Durante o processo de soldagem são liberados gases e fumos nocivos à saúde humana, portanto a qualidade do ar em ambientes que não possuam uma ventilação adequada fica comprometida acarretando doenças aos operadores. A baixa qualidade do ar ocorre devido às taxas de troca de ar serem muito baixas, concentrando os poluentes no ambiente (GIODA, 2003).

Cada tipo de procedimento de soldagem tem uma quantidade diferente de liberação de fumos nocivos, dependendo exclusivamente do tipo de consumível utilizado, material a ser soldado e energia aplicada. Porém todos os processos que fazem uso do arco elétrico para fundir o metal de adição emitem fumos e gases tóxicos advindos da poça de fusão, chegando em maior concentração na área de respiração do operador (AWS, 2001).

A inalação dos fumos provenientes da soldagem de metais provoca sérias consequências que após algum período de tempo se manifestam na forma de doenças respiratórias, oculares, dermatites e do fígado (MACINTYRE, 1990).

A ventilação é utilizada para oferecer um ambiente de trabalho com um nível adequado de pureza no ar que é respirado e consiste no fornecimento ou retirada de ar através de meios naturais ou mecânicos a um recinto fechado, objetivando controlar as condições do ar e limpar o ambiente (OLIVEIRA, 2008).

É fundamental que seja feita a filtragem e a coleta dessas partículas após serem aspiradas pelo sistema de exaustão, minimizando assim a poluição atmosférica, preservando o meio ambiente e a saúde da população. A norma NBR NR-9, estabelece a obrigatoriedade da elaboração e implementação, por parte de todos os empregadores e instituições que admitam trabalhadores como empregados, do Programa de Prevenção de Riscos Ambientais - PPRA, visando à preservação da saúde e da integridade dos trabalhadores, através da antecipação, reconhecimento, avaliação e consequente controle da ocorrência de riscos ambientais existentes ou que venham a existir no ambiente de trabalho, tendo em consideração a proteção do meio ambiente e dos recursos naturais.

Durante a soldagem de metais, o intenso calor advindo do arco elétrico acaba por vaporizar alguns componentes do eletrodo consumível juntamente com uma pequena quantidade do metal base. Com o aquecimento, os gases gerados se elevam e carregam consigo vapores metálicos que ao se resfriarem combinam com o ar formando óxidos metálicos particulados de dimensão extremamente pequena (NEDERMAN, 2014).

Observou-se que o laboratório de soldagem do Instituto Federal de Ciência e Tecnologia, Câmpus Farroupilha, não possui um sistema de exaustão dos gases provenientes de soldas executadas pelos alunos. Todos os usuários estão expostos aos fumos provenientes da soldagem. Este trabalho é uma proposta de sistema de exaustão a ser implementado neste local. Este sistema proporcionará a todos que frequentam o laboratório, um ambiente com melhores condições de trabalho e sem prejuízos à sua saúde.

Este artigo apresenta os componentes básicos de um sistema de exaustão industrial, uma seleção do mais indicado para a aplicação proposta e o equacionamento para que o funcionamento destes proceda da maneira pré estabelecida em projeto.

## 2. DESENVOLVIMENTO

É recomendado que toda operação de soldagem seja executada em locais bem ventilados ou que seja feita a utilização de ventiladores e exaustores. Além dos fumos gerados temos os gases de proteção empregados, que embora não sejam tóxicos, acabam deslocando o ar e diminuindo a quantidade disponível de oxigênio no ambiente. Um dos gases produzidos durante o processo é o ozônio, que é uma forma instável de oxigênio (MODENESI, 2009).

### 2.1 Classificação dos sistemas de ventilação

A ventilação consiste na movimentação de grandes quantidades de ar através de espaços fechados com o objetivo de melhorar as condições do ambiente. Promove a manutenção das condições favoráveis no ambiente alteradas pelo aquecimento de equipamentos ou do ambiente e o controle de concentração de gases, vapores e partículas (MACINTYRE 1990).

Os sistemas de renovação do ar de um ambiente são classificados em quatro tipos (COSTA 2005).

- Ventilação natural;
- Insuflação mecânica e exaustão natural;
- Insuflação natural e exaustão mecânica;
- Insuflação e exaustão mecânicas.

A ventilação natural promove a entrada e saída de ar do ambiente de maneira controlada e intencional por aberturas projetadas com esta finalidade, como portas e janelas. Este tipo de abertura já é planejado na etapa de elaboração do projeto civil considerando que o fluxo de ar que entra e sai pelas janelas depende diretamente dos gradientes de pressão no interior e exterior do local provocadas pelo vento e diferença de temperatura (CLEZAR, NOGUEIRA, 2009).

Na insuflação mecânica e exaustão natural, temos um ou mais ventiladores mandando ar do exterior para o interior do recinto, gerando um aumento da pressão interna fazendo com que o ar insuflado saia por aberturas existentes. Promove a diluição de contaminantes, redução de temperatura e arejamento do ambiente (MACINTYRE 1990).

Quando um ou mais exaustores removem o ar do interior do recinto para o exterior, acarretam uma queda na pressão interna que gera um fluxo de ar do exterior para o interior do local. Temos assim a insuflação natural e exaustão mecânica (MACINTYRE 1990).

A insuflação e exaustão mecânicas ocorrem quando existem ventiladores insuflando ar no recinto e exaustores que promovem a retirada de ar. Conseguindo assim um controle maior da qualidade do ar que entra e a distribuição deste no recinto (CLEZAR, NOGUEIRA, 2009).

### 2.2 Componentes de um sistema de exaustão

De acordo com a convenção nº 139/1974 da OIT (Organização Internacional do Trabalho), para a aplicação em processos nos quais as substâncias nocivas são emitidas diretamente na fonte, o sistema de insuflação natural e exaustão mecânica é o mais recomendado, figura 1, por ser mais eficiente na remoção dos resíduos gerados, eliminando ou reduzindo a quantidade de contaminantes presentes no ar. (COSTA 2005).

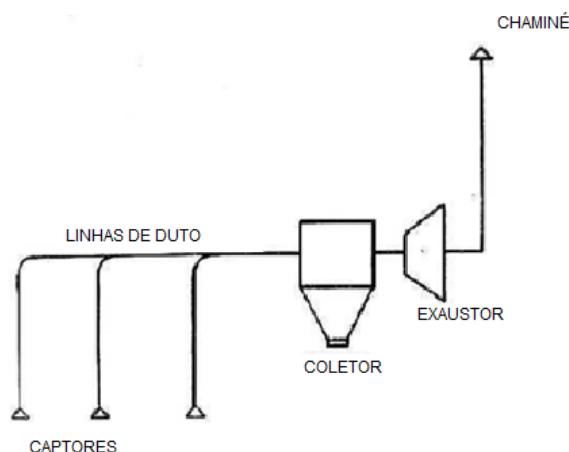


Figura 1: Esquema de um sistema de ventilação local exaustora (Technofan, 2017)

Este sistema de exaustão deve remover o ar contaminado do recinto, separar do ar os contaminantes, dando a eles o devido destino e liberando para a atmosfera ar limpo. Para garantir o perfeito funcionamento deve ser projetado, construído, supervisionado e mantido de acordo com os requisitos necessários para atender as necessidades do processo que está sendo executado (HEISLER, 2015).

O sistema de exaustão é formado por diversos componentes, sendo os mais importantes:

- Captores: dispositivo que estabelece uma corrente para seu interior através de diferença de pressões entre o ar ambiente e o existente no captor. São instalados na fonte de emissão dos poluentes e realizam a captura do ar contaminado (MACINTYRE 1990).
- Dutos: responsáveis por transportar os gases capturados na fonte para o seu tratamento e descarte;
- Equipamento de controle da poluição do ar: destinados a reter os contaminantes após serem retirados do ambiente, impedindo seu lançamento na atmosfera, podem ser coletores de partículas, filtros, lavadores de gases e vapores, precipitadores eletrostáticos, sua instalação é feita antes ou depois do ventilador (CLEZAR, NOGUEIRA, 2009).
- Ventilador: cria um diferencial de pressão através do sistema que faz o ar fluir através do mesmo.
- Chaminé: libera os gases já tratados para a atmosfera.

### 2.2.1 Captadores

O captor é um dispositivo adotado nos sistemas de ventilação local exaustora, figura 2, para captar os contaminantes diretamente na fonte. É responsável por criar uma corrente de ar capaz de arrastar os contaminantes para seu interior, chamada velocidade de captação (COSTA, 2005).

Cada conjunto fonte-captor necessita de uma determinada vazão, que é calculada levando-se em conta o tipo de partícula gerada na operação e a distância da boca do captor até a fonte. A vazão total do sistema deverá ser a soma da vazão de cada um dos captadores presentes nesta instalação. A vazão de exaustão não deve interferir nos processos ou operações e captar todos os poluentes emitidos (LISBOA, 2007).



Figura 2: Captor para coleta de gases (Ecotecn, 2017).

### 2.2.2 Dutos

Os dutos de instalações de ventilação industrial, conforme figura 3, são responsáveis pelo transporte do ar contaminado até o ventilador para ser liberado para fora do ambiente após ser purificado. Estes podem operar com velocidades muito mais elevadas se comparadas com as instalações de condicionamento de ar, principalmente por não termos restrições quanto ao ruído gerado no escoamento do fluido. Esta velocidade precisa também ser mais elevada para promover o transporte do contaminante (CLEZAR, NOGUEIRA, 2009).

Mesmo com velocidades relativamente altas, o escoamento é tratado como incompressível e o cálculo da perda de carga não leva em conta a presença de contaminantes no fluido. Pelo fato das vazões utilizadas nos sistemas de exaustão serem muito altas, o uso destas viabiliza o projeto, pois do contrário, seria necessário utilizar diâmetros extremamente grandes para as tubulações (MACINTYRE 1990).

Deve-se evitar o uso de dutos com seção retangular em sistemas de exaustão, pois as partículas coletadas acabam depositando-se nos cantos vivos provocando uma maior perda de carga e exigindo maior potência para manter a eficiência necessária (CLEZAR, NOGUEIRA, 2009).



Figura 3: Dutos para condução de ar (Soluções industriais, 2017).

### 2.2.3 Equipamento de controle da poluição do ar

Todos elementos contaminantes retirados do ambiente, uma vez captados e conduzidos pelos dutos pela ação do ventilador, precisam ser eliminados do ar antes da sua liberação para atmosfera e descartados de maneira que não prejudique o meio ambiente (MACINTYRE 1990).

Deve-se considerar para a adequada seleção do tipo de equipamento de controle da poluição do ar, a concentração e o tamanho das partículas a serem retidas, características do ar ou gás transportador do poluente, grau de purificação necessária para o poluente e custo de instalação, manutenção e funcionamento (CLEZAR, NOGUEIRA, 2009). Um exemplo desse equipamento é apresentado na figura 4.



Figura 4: Equipamento de controle da poluição tipo ciclone (Ciclofan, 2017).

### 2.2.4 Ventilador

Ventiladores são máquinas turbo dinâmicas destinadas a promoverem o deslocamento de gases. Na figura 5, exemplo de ventilador radial. A rotação de um rotor provido de pás, acionado por um motor, acarreta a transformação da energia mecânica do rotor em dois tipos de energia que o gás consegue assumir, energia potencial de pressão e energia cinética. Esta energia adquirida pelo gás promove o escoamento deste pelos dutos, vencendo as resistências ao seu deslocamento, proporcionando a vazão requerida de ar para o sistema (LISBOA, 2007).

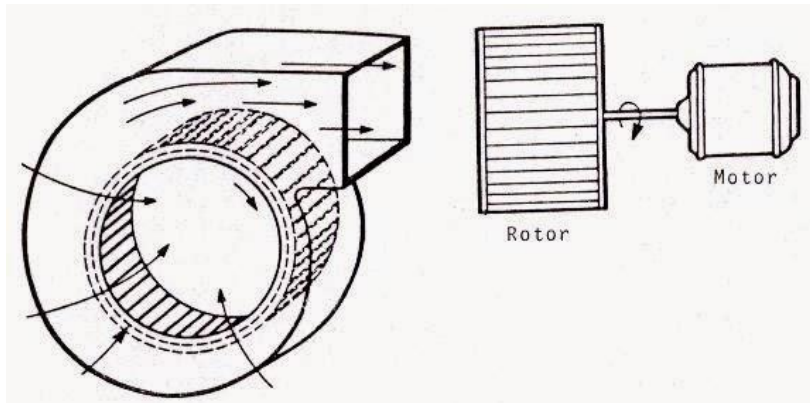


Figura 5: Representação de um exaustor (Tecvent, 2017).

### 2.3 Cálculo da vazão de ar necessária em cada captor e na tubulação principal

A vazão deve ser suficiente para induzir às partículas a velocidade de captura necessária, é preciso utilizar uma correlação entre vazão, velocidade de captura e distância do captor ao ponto crítico (CLEZAR, NOGUEIRA, 2009).

Inicialmente necessita-se definir como será feita a disposição e o número de bancadas de soldagem no laboratório de soldagem. Figura (6) e figura (7).

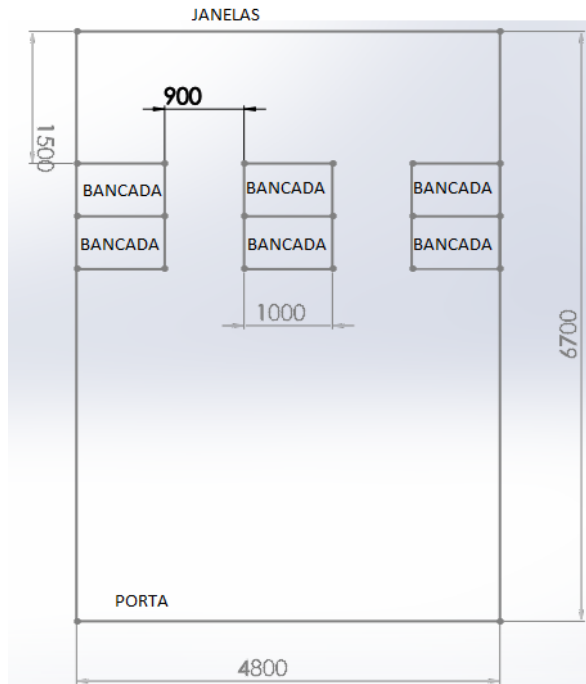


Figura 6: Disposição das bancadas de soldagem (Autoria própria)

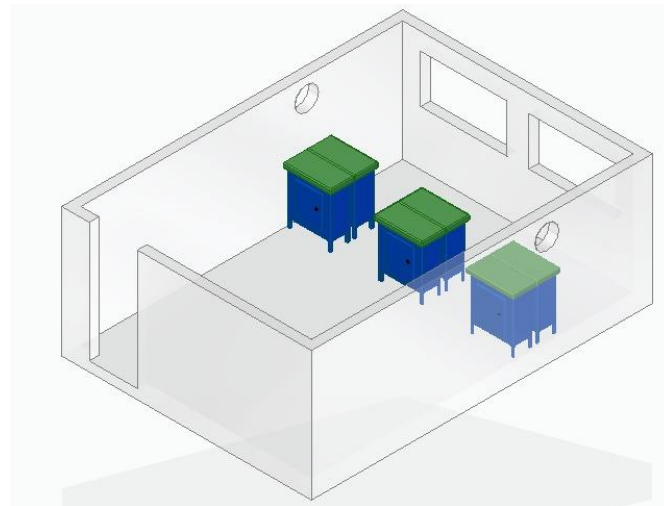


Figura 7: Modelo representativo da distribuição das bancadas (Autoria própria).

Admitindo um diâmetro de 0,20 metros para o captor, velocidade de captura de 60 m/min, conforme Tabela (1), e distância de captação de 0,20 metros.

Determinando a área da seção do tubo pela equação (1):

$$A = \frac{\pi \cdot D^2}{4} \tag{1}$$

$A = 0,03142 \text{ m}^2$

A equação (2), é utilizada para o cálculo da vazão necessária (MACINTYRE 1990)

$$Q = (10 x^2 + A) \cdot Vc \tag{2}$$

$Q = 0,4314 \text{ m}^3/\text{s}$

Onde:

Q = vazão no tubo, (m<sup>3</sup>/s);

x = distância do ponto de captação à boca do tubo, ( m ), ( x ≤ 1,5 D );

A = área da seção do tubo, (m<sup>2</sup>);

Vc = velocidade de captura, (m/s).

Tabela 1: velocidades de captura recomendadas (MACINTYRE 1990).

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

Para que não ocorra sedimentação nos dutos, a velocidade mínima de transporte no interior da tubulação deve ser alcançada, esses valores dependem do tipo de partículas que estão sendo transportadas. Os valores recomendados são mostrados na Tabela (2).

Tabela 2: velocidades mínimas de transporte recomendadas (Lisboa, 2007).

Tipo de partículas	Velocidade mínima (m/s)
1. Partículas de densidade baixa. Ex. fumaça, fumos de óxidos de zinco, fumos de óxidos de alumínio, pó de algodão.	10
2. Partículas de densidade média. Ex. cereais, pó de madeira, pó de plástico, pó de borracha.	15
3. Partículas de densidade média/alta. Ex. Poeira de jateamento de areia.	20
4. Partículas de densidade alta. Ex. fumos de chumbo, poeiras de fundição de ferro.	25

A velocidade mínima de transporte para fumos, de acordo com (Lisboa,2007), é de 10 m/s, portanto a velocidade no interior do captor deve ser superior a esta. A equação (3), calcula a velocidade no interior da tubulação.

$$V = \frac{Q}{A} \quad (3)$$

$$V = 13,7307 \text{ m/s.}$$

Onde:

V = velocidade no interior do tubo (m/s);

Q = vazão no tubo (m<sup>3</sup>/s);

A = área da seção do tubo, (m<sup>2</sup>);

Como a velocidade no interior do tubo está acima da velocidade mínima recomendada para o transporte deste tipo de partículas, a escolha do diâmetro de 0,2 m para o captor mostra-se bem apropriada.

O diâmetro da tubulação principal foi encontrado com base nos valores de vazão encontrados para cada captor, sendo que o sistema possui seis captores. A equação (4) foi utilizada para determinar o diâmetro mínimo para este de tubo, necessário para suprir a vazão dos captores.

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

$$D = 0,4342 \text{ m}$$

Como este diâmetro não é um diâmetro comercial usual, utiliza-se um diâmetro superior a este de 0,5 m. Com o diâmetro encontrado verifica-se se a velocidade das partículas na tubulação superam o valor mínimo de 10 m/s recomendado pela literatura. As figuras 8 e 9 apresentam o modelo desta tubulação.

$$V = \frac{Q}{A} \quad (1)$$

$$V = 13,1859 \text{ m/s.}$$

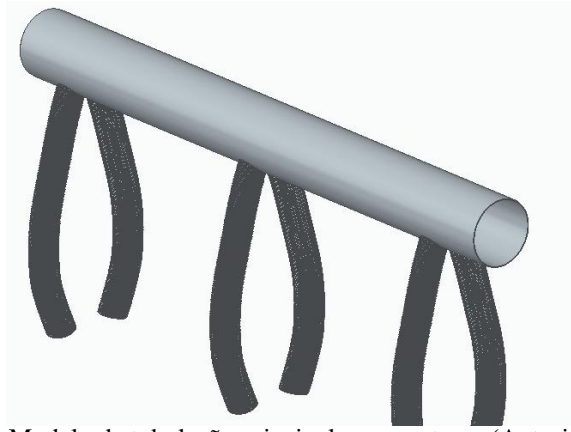


Figura 8: Modelo da tubulação principal com captores (Autoria própria).

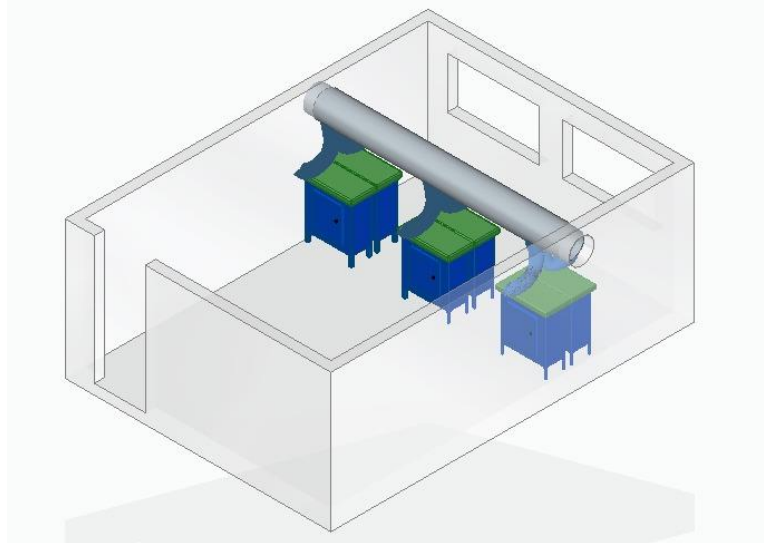


Figura 9: Representação do posicionamento da tubulação sobre as bancadas (Autoria própria).

## 2.4 Perda de carga

A conversão de energia mecânica em energia térmica pela ação do atrito entre o fluido e os dutos ocasiona a perda de carga no sistema. É provocada pela resistência ao escoamento e mudanças na direção do fluido. (CLEZAR & NOGUEIRA, 1999).

A perda de carga do sistema é diretamente influenciada pela velocidade de escoamento do fluido no duto, ou seja, na energia necessária para o fluido percorrer o sistema de dutos. Quanto maior a velocidade maior será a perda de carga e maior a potência exigida do ventilador. Portanto, é conveniente que a velocidade fique próxima da velocidade de transporte recomendada (LISBOA, 2007).

Quando consideramos dois pontos entre um trecho reto do sistema de dutos, há uma queda de pressão estática entre os dois pontos causada pelo atrito nas paredes do duto. Logo, cada unidade de superfície de parede contribui com a mesma resistência (atrito), ou seja, a força total de atrito é proporcional à superfície interna do duto com a qual o fluido está em contato (MESQUITA, GUIMARÃES, NEFUSSI, 1977).

Algumas peças contribuem para o aumento da perda de carga do sistema, em razão do atrito e das turbulências. As principais são: bocas de captação, curvas, cotovelos, joelhos e alargamento graduais ou expansões, reduções, filtros, entre outros (MACINTYRE, 1990).

### 2.4.1 Perda de carga na entrada do captor

Conforme o fluido escoar para dentro do captor, uma parte da pressão estática se converte em pressão dinâmica e após a entrada, uma parte dessa pressão dinâmica converte-se novamente em pressão estática. Simultaneamente com essas conversões, ocorre uma perda de carga, pois nem toda energia devida a pressão estática se converte em pressão dinâmica. (MACINTYRE, 1990).

A equação (5) calcula a perda de carga na entrada do captor.

$$\Delta p = F \cdot h_v \quad (5)$$

$$h_v = V^2/16,34$$

$$\Delta p = 10,7238 \text{ kgf/m}^2 = 107,2380 \text{ Pa.}$$

Onde:

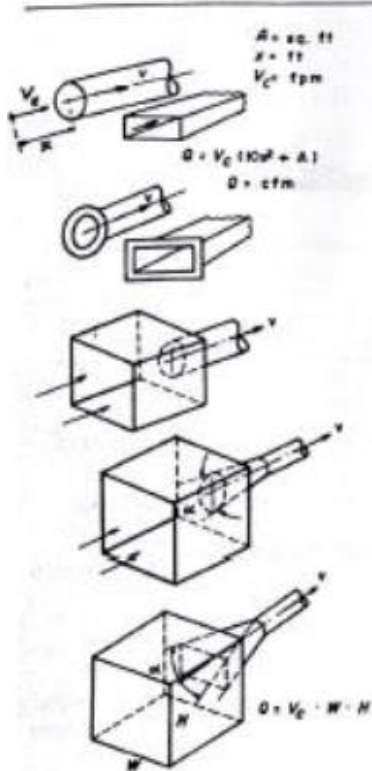
V = velocidade no interior do tubo (m/s);

$\Delta p$  = perda de carga (kgf/m<sup>2</sup>);

F = coeficiente de perda de carga, tabela (3);

$h_v$  = pressão dinâmica no tubo (kgf/m<sup>2</sup>).

Tabela 3: coeficiente de entrada para captores (MACINTYRE, 1990).



Coef. de entrada $C_e$		Coef. de perda de carga $F$		
0,93		0,72		
0,49		0,50		
0,82		0,50		
Ângulo $\alpha$	○	□	○	□
15°	0,93	0,89	0,15	0,25
30°	0,96	0,93	0,08	0,18
45°	0,97	0,93	0,06	0,15
60°	0,96	0,92	0,08	0,17
90°	0,93	0,89	0,15	0,25

### 2.4.2 Perda de carga na tubulação com diâmetro de 0,5 m

Como a perda de carga representa a energia mecânica convertida em energia térmica por efeito do atrito, para escoamento completamente desenvolvido em tubos de área constante, depende somente dos detalhes do escoamento através do tubo, independente da sua orientação (Fox, 2012).

Determina-se se o escoamento é laminar ou turbulento na tubulação de quatro metros com diâmetro de 0,5 m, através do número de Reynolds (6). Considerando os valores da tabela (4) de massa específica “ $\rho$ ” e viscosidade dinâmica “ $\mu$ ” para o ar a temperatura de 30° C.

Tabela 4: Massa específica e viscosidade dinâmica do ar (MACINTYRE, 1990).

Temperatura (°C)	Peso específico $\gamma$ (kgf/m <sup>3</sup> )	Viscosidade cinemática $\nu$ microPa · s
0	1,2922	17,780
10	1,2467	17,708
20	1,2041	18,178
30	1,1644	18,648
40	1,1272	19,118
50	1,0924	19,588

$$Re = \frac{\rho \cdot V \cdot D}{\mu}$$

$$Re = 4,1 \times 10^5$$

(6)

O valor para o número de Reynolds encontrado, sendo superior a 2300 indica que o escoamento é turbulento. A perda de carga “ΔP” é calculada pela equação (7).

$$\Delta P = \frac{f \cdot V^2 \cdot L \cdot \rho}{2 \cdot D} \tag{7}$$

Para encontrar o fator de atrito para tubos circulares na figura (10), precisamos determinar o valor da rugosidade relativa, e/D para a tubulação, onde “e” representa a rugosidade do tubo em relação ao material de fabricação e “D” o diâmetro interno do tubo. Adotando tubos fabricados em ferro galvanizado, tabela (5), e = 0,15. Portanto e/D = 0,0003.

Tabela 5: rugosidade para tubos (Fox,2012).

Tubo	Rugosidade, e	
	Pés	Milímetros
Aço rebitado	10,003–0,03	0,9–9
Concreto	0,001–0,01	0,3–3
Madeira	0,0006–0,003	0,2–0,9
Ferro fundido	0,00085	0,26
Ferro galvanizado	0,0005	0,15
Ferro fundido asfaltado	0,0004	0,12
Aço comercial ou ferro forjado	0,00015	0,046
Trefilado	0,000005	0,0015

A partir do valor da rugosidade relativa de 0,0003 e número de Reynolds de  $4,1 \times 10^5$ , chegamos no fator de atrito na figura (10), onde  $f = 0,027$ .

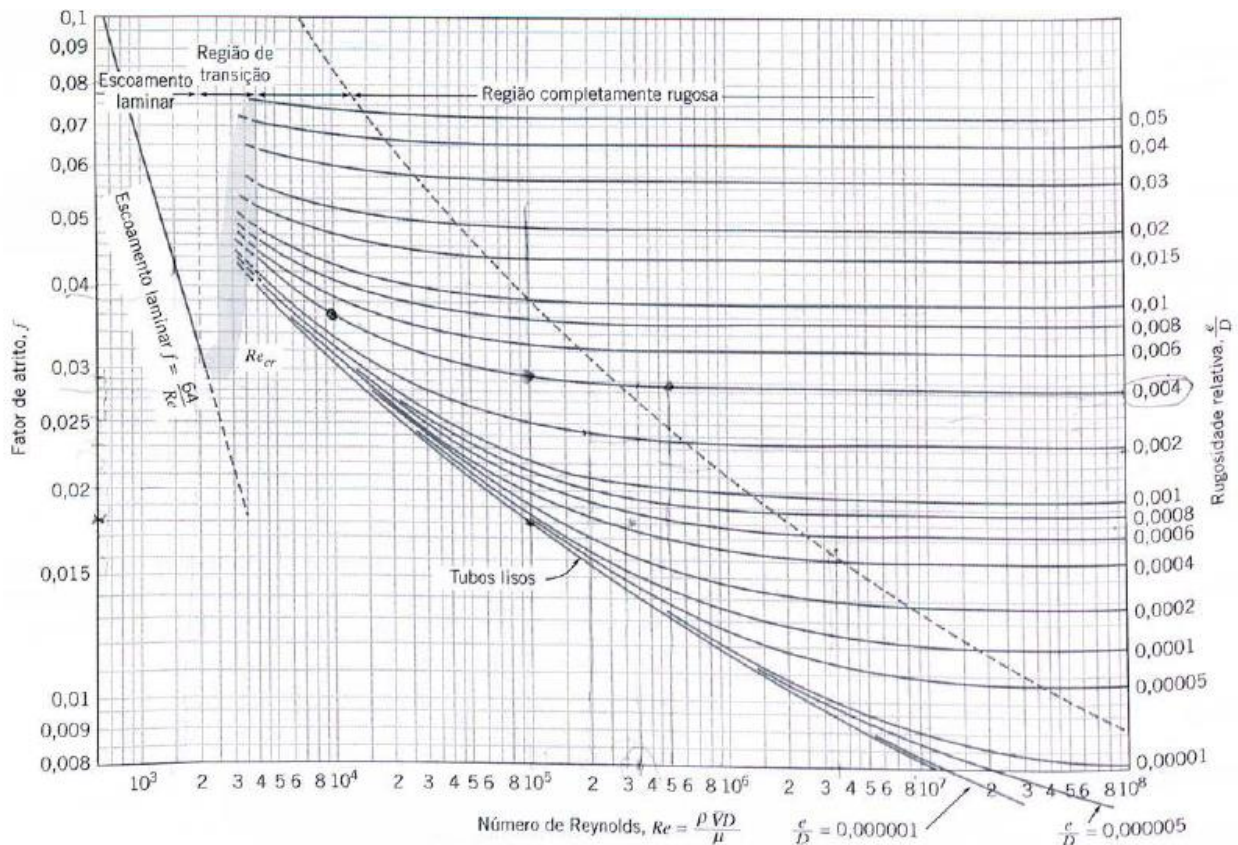


Figura 10: Fator de atrito para escoamento em tubos circulares (Fox, 2012).

Chega-se a partir da equação (7) na perda de carga resultante nos oito metros de tubulação de diâmetro 0,5 m:

$$\Delta P = \frac{f \cdot V^2 \cdot L \cdot \rho}{2 \cdot D} \tag{7}$$

$$\Delta P = 43,7296 \text{ Pa}$$

### 2.4.3 Perda de carga na tubulação dos captores

Determina-se se o escoamento é laminar ou turbulento na tubulação de dois metros com diâmetro de 0,2 m, através do número de Reynolds (6). Considerando os valores da tabela (4) de massa específica “ $\rho$ ” e viscosidade dinâmica “ $\mu$ ” para o ar a temperatura de 30° C.

$$Re = \frac{\rho \cdot V \cdot D}{\mu} \quad (6)$$

$$Re = 1,7 \times 10^5$$

O valor para o número de Reynolds encontrado, sendo superior a 2300 indica que o escoamento é turbulento. A perda de carga “ $\Delta P$ ” é calculada pela equação (7).

$$\Delta P = \frac{f \cdot V^2 \cdot L \cdot \rho}{2 \cdot D} \quad (7)$$

Para encontrar o fator de atrito para tubos circulares na Tabela (6), precisamos determinar o valor da rugosidade relativa,  $e/D$  para a tubulação, onde  $e$  representa a rugosidade do tubo em relação ao material de fabricação e  $D$  o diâmetro interno do tubo. Adotando tubos fabricados em plástico,  $e = 0,00006$ . Portanto  $e/D = 0,0003$ .

Tabela 6: Rugosidade equivalente para materiais de tubos (HidroTec 2017).

Rugosidade equivalente de alguns materiais de tubos	
MATERIAL	RUG. EQUIVALENTE (m)
Aço comercial	0,00006
Aço galvanizado	0,00016
Aço com ferrugem leve	0,00025
Aço revestido com asfalto	0,0006
Aço revestido com esmalte, vinil, epoxi	0,00006
Alumínio	0,000004
Concreto muito rugoso	0,002
Concreto rugoso	0,0005
Concreto liso	0,0001
Concreto muito liso	0,00006
Concreto alisado, centrifugado	0,0003
Ferro fundido asfaltado	0,000122
Ferro fundido não revestido novo	0,0005
Ferro fundido com ferrugem leve	0,0015
Ferro fundido com cimento centrifugado	0,0001
Fibrocimento	0,0001
Manilha cerâmica	0,0003
Latão, cobre	0,000007
Plásticos	0,00006

A partir do valor da rugosidade relativa de 0,0003 e número de Reynolds de  $1,7 \times 10^5$ , chegamos no fator de atrito na figura (10), onde  $f = 0,017$ .

Chega-se a partir da equação (7) na perda de carga resultante nos dois metros de tubulação de diâmetro 0,2 m. Os captores trabalham em paralelo, portanto a perda de carga total é a soma da perda de carga do captor que está mais distante com o restante do sistema.

$$\Delta P = \frac{f \cdot V^2 \cdot L \cdot \rho}{2 \cdot D} \quad (7)$$

$$\Delta P = 18,6598 \text{ Pa}$$

### 2.4.4 Perda de carga nas ramificações

A perda de carga gerada pela mudança de seção na junção do duto do captor com a tubulação pode ser calculada através da equação (8), (MACINTYRE, 1990). Adotando um ângulo de abertura “ $\alpha$ ” de 60°, utiliza-se o coeficiente de perda de carga para ramificações “ $K$ ” de 0,5, figura (11).

$$\Delta P = K \cdot (V^2/2) \quad (8)$$

$$\Delta P = 5,7690 \text{ kgf/m}^2 = 57,6900 \text{ Pa}$$

Onde:

$\Delta P$  = perda de carga (kgf/m<sup>2</sup>);

F = coeficiente de perda de carga, figura (11);

V = velocidade no interior do tubo (m/s);

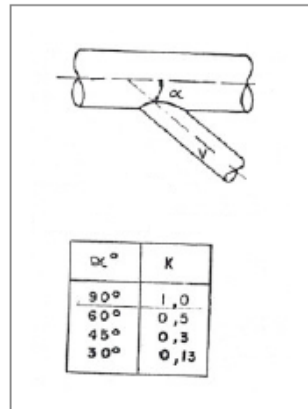


Figura 11: Coeficiente de perda de carga K, para ramificações (CLEZAR, NOGUEIRA, 2009).

Na tubulação estão presentes seis derivações, uma para cada captor, portanto a perda de carga total é a multiplicação do valor obtido para uma ramificação por seis.

$$\Delta P_t = 346,1422 \text{ Pa}$$

#### 2.4.5 Perda de carga no equipamento de controle de poluição do ar

O equipamento que melhor se adapta às condições de operação e vazão necessária, apresentando um rendimento de 80 %, é o ciclone de alto rendimento, com uma superfície de tecido de 2 m<sup>2</sup>. A perda de carga resultante do mesmo é fornecida na tabela (7). O valor encontrado na tabela é de 10 (mbar), equivalendo a 1000 Pa.

Tabela 7: Características de alguns coletores comerciais de partículas (MACINTYRE, 1990).

Princípio	Modelo	Energia de base	Unidade de medida, e unidade de volume	Capacidade em m <sup>3</sup> de gás por hora por unidade de volume	Superfície horizontal ocupada pelo equipamento para depurar 10 <sup>6</sup> m <sup>3</sup> /h (m <sup>2</sup> )	Perda de carga (mbar)	Rendimento (%)
Depuradores mecânicos	Câmara de sedimentação	Peso	Volume de câmara (m <sup>3</sup> )	34	1.440	0,5	25
	Defletores	Inércia	Superfície interior (m <sup>2</sup> )	2.000-6.000	168	1,3	40
	Ciclone de alto rendimento	Centrífuga	Superfície interior (m <sup>2</sup> )	5.000-6.000	72	10	80
Filtros de tecido (manga)	Limpeza manual	Filtração com formação de crosta	Superfície do tecido (m <sup>2</sup> )	1,7 a 7	558	10	99
	Limpeza automática por sacudidela	Filtração com formação de crosta	Superfície do tecido (m <sup>2</sup> )	1,7 a 7	558	13	99
	Limpeza automática por inversão de jato	Filtração sobre tecido de feltro	Superfície do tecido (m <sup>2</sup> )	5-14	336	20	99
Lavadores hidráulicos	Lavador de impactação	Coleta por líquido	Seção do defletor (m <sup>2</sup> )	850-1.000	168	10	80
	Torre de lavagem com leito filtrante	Coleta por líquido	Seção do leito m <sup>2</sup>	850-1.200	138	18	90
	Lavador Venturi	Coleta por líquido	Seção do lavador (m <sup>2</sup> )	12.000-50.000	54	76	99
Filtros eletrostáticos	de simples efeito	Elétrico	Superfície do eletrodo (m <sup>2</sup> )	8	150	1,3	95
	de múltiplo efeito	Elétrico	Superfície de eletrodo (m <sup>2</sup> )	5	276	1,3	99

### 2.5 Cálculo do ventilador

O ventilador tem por finalidade fornecer o gradiente energético que permita o escoamento de ar desejado. Para que ele seja capaz de atender aos requisitos de vazão e velocidade requeridos pelo sistema de exaustão, é muito importante determinar as principais dimensões do ventilador (HENN, 2012).

Os dados de entrada para os cálculos do ventilador são:

- Q = 2,5884 m<sup>3</sup>/s (Vazão);
- ΔP = 1516 Pa (Perda de carga);
- ρ = 1,2 kgf/m<sup>3</sup> (Massa específica do ar);
- n = 1750 RPM (Rotação do rotor);

Inicialmente determina-se a altura manométrica de deslocamento de fluido, “H”, através da equação (9):

$$H = \frac{\Delta P}{\rho} = 126,3333 \text{ m de coluna de água} \tag{9}$$

Cálculo da velocidade específica, “n<sub>s</sub>”, equação (10), para escolha do tipo de ventilador mais adequado a partir da figura (12) :

$$n_s = \frac{16,66 \cdot n \cdot \sqrt{Q}}{\sqrt[4]{H^3}} = 45.289 \text{ RPM} \tag{10}$$

Através do valor da velocidade específica, verificou-se na figura (12), que o tipo de ventilador indicado para essa faixa de velocidade é o centrífugo com pás para trás ou o centrífugo radial, (com pás retas). O modelo escolhido foi o com pás retas por apresentar um dimensionamento e construção muito mais simples se comparados com o de pás para trás.

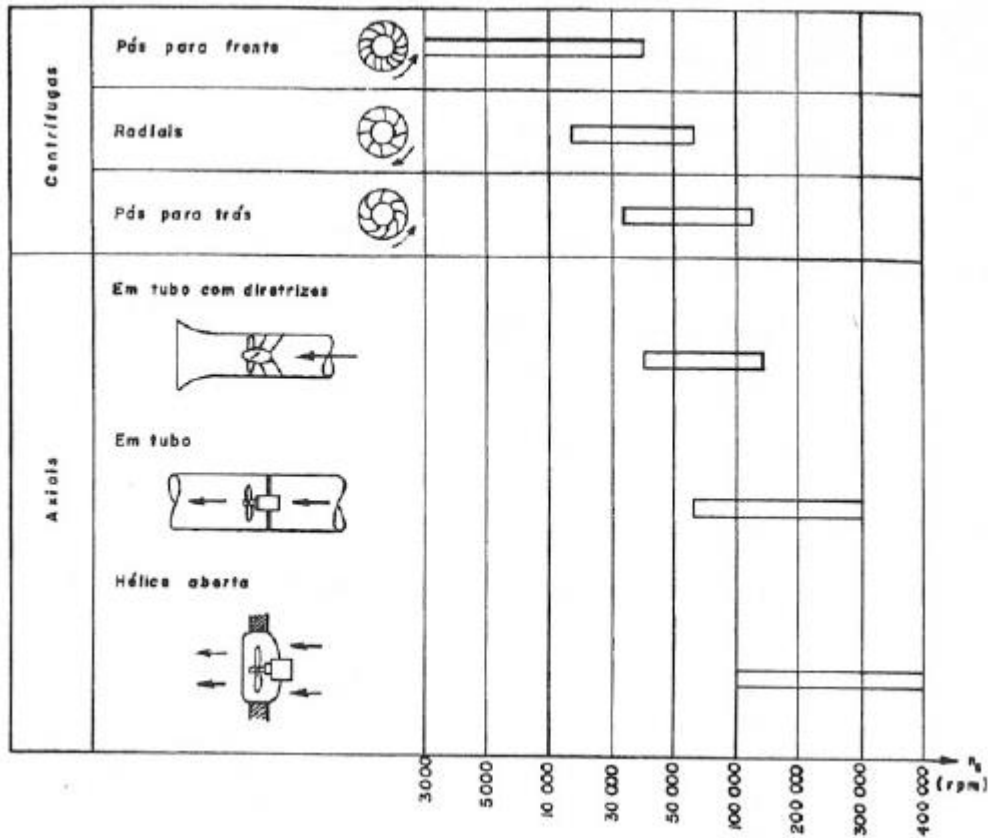


Figura 12: Velocidades específicas para diversos tipos de ventiladores (HENN, 2012).

A velocidade periférica do rotor à saída da pá “U<sub>2</sub>”, é determinada pela equação (11), pelo fato do rotor ser

radial de pás retas, o ângulo de saída da pá “ $\beta_2$ ” vale  $90^\circ$ , admitindo o rendimento hidráulico “ $\epsilon$ ” igual a 80%, temos:

$$U_2 = \sqrt{\frac{\epsilon \cdot H}{\epsilon}} = 39,3594 \text{ m/s} \quad (11)$$

O cálculo do diâmetro externo do rotor, “ $D_2$ ”, é dado pela expressão (12):

$$D_2 = \frac{60 \cdot U_2}{\pi \cdot n} = 0,4295 \text{ m} \quad (12)$$

A velocidade de entrada de ar na boca de entrada da caixa do ventilador “ $V_a$ ”, é a mesma velocidade de escoamento do ar na tubulação que acopla o ventilador,  $V_a = 13,1859 \text{ m/s}$ . Portanto a equação (13) faz uso da vazão e dessa velocidade para determinar o diâmetro da boca de entrada do ventilador:

$$D_a = \sqrt{\frac{4 \cdot Q}{\pi \cdot V_a}} = 0,6025 \text{ m} \quad (13)$$

O diâmetro interno do rotor “ $D_1$ ”, para instalações de baixa pressão, segundo (MACINTYRE, 1990), é de aproximadamente 70% do diâmetro externo “ $D_2$ ” deste rotor. Então  $D_1 = 0,3068 \text{ m}$ .

Para determinar a largura das pás “ $b$ ”, a velocidade meridiana de entrada do ar no rotor “ $V_{m1}$ ” é adotada como igual a velocidade na boca de entrada da caixa do ventilador “ $V_a$ ”. Através da equação (14), a largura das pás é determinada:

$$b = \frac{Q}{\pi \cdot D_1 \cdot V_{m1}} = 0,2933 \text{ m} \quad (14)$$

Pelo fato deste rotor ser do tipo radial de pás retas, a velocidade meridiana de saída “ $V_{m2}$ ” é igual a velocidade relativa à saída da pá “ $W_2$ ”:

$$V_{m2} = W_2 = \frac{Q}{\pi \cdot D_2 \cdot b_2} = 6,2425 \text{ m/s} \quad (15)$$

Para determinar a velocidade absoluta de saída da pá é utilizada a equação (16):

$$V_2 = \sqrt{U_2^2 + W_2^2} = 39,8514 \text{ m/s} \quad (16)$$

Abaixo o cálculo da velocidade periférica à entrada das pás “ $U_1$ ”:

$$U_1 = \frac{U_2 \cdot D_1}{D_2} = 28,1152 \text{ m/s} \quad (17)$$

O ângulo de inclinação das pás na entrada do rotor “ $\beta_1$ ”, é determinada a partir da velocidade meridiana de entrada e a velocidade periférica na entrada das pás:

$$\beta_1 = \tan^{-1} \frac{V_{m1}}{U_1} = 23,4711^\circ \quad (18)$$

A velocidade relativa à entrada do rotor “ $W_1$ ”, é calculada abaixo:

$$W_1 = \frac{U_1}{\cos \beta_1} = 30,6512 \text{ m/s} \quad (19)$$

O diâmetro da boca de saída “ $D_3$ ”, é determinada com base na velocidade estipulada para a saída da boca do ventilador “ $V_3$ ”, que será adotada como igual a velocidade de entrada do ar na boca de entrada da caixa do ventilador “ $V_a$ ”, que é igual a  $13,1859 \text{ m/s}$ .

$$D_3 = \sqrt{\frac{4 \cdot Q}{\pi \cdot V_3}} = 0,5773 \text{ m} \quad (20)$$

Finalmente encontra-se a potência no motor do ventilador “ $N$ ”, necessária para suprir o sistema com a vazão estimada. Adota-se um valor para rendimento total “ $\eta$ ” de 70 %.

$$N = \frac{\rho \cdot Q \cdot H}{75 \cdot \eta} = 9,9657 \text{ CV}$$

(21)

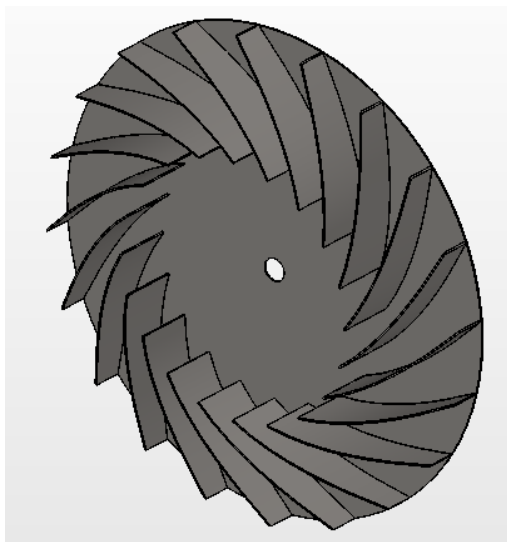


Figura 13: Desenho do rotor dimensionado (Autoria própria).

### 3. ORÇAMENTO

Elaborou-se um orçamento com valores médios de mercado dos componentes que irão compor o sistema de ventilação local exaustora dimensionado anteriormente, apresentado na tabela (8).

Tabela 8: Orçamento de materiais para sistema de exaustão. (Autoria própria).

MATERIAL	QUANTIDADE	VALOR
<b>TUBULAÇÃO</b>		
TUBO DE PVC CORRUGADO 200 mm	12 m	R\$ 69,00
TUBO DE AÇO 500 mm	5 m	R\$ 1032,00
TUBO DE AÇO 200 mm	1,2 m	R\$ 206,00
MONTAGEM DA TUBULAÇÃO	30 h	R\$ 1800,00
<b>EQUIPAMENTO DE CONTROLE DA POLUIÇÃO</b>		
CICLONE DE ALTO RENDIMENTO	1 pc	R\$ 3800,00
INSTALAÇÃO	10 h	R\$ 600,00
<b>VENTILADOR</b>		
CHAPA DE AÇO 4 mm	2 m <sup>2</sup>	R\$ 470,00
CHAPA DE AÇO 2 mm	4 m <sup>2</sup>	R\$ 316,00
MOTOR DE INDUÇÃO TRIFÁSICO 10 CV 4 PÓLOS	1 pc	R\$ 2150,00
FABRICAÇÃO DE PEÇAS	50 h	R\$ 3000,00
MONTAGEM DO VENTILADOR	20 h	R\$ 1200,00
<b>TOTAL</b>		<b>R\$ 14643,00</b>

## 4. CONCLUSÃO

Conclui-se através da realização deste artigo, que o uso de um sistema de exaustão é indispensável para garantir um ambiente de trabalho livre de fumos nocivos para a realização das aulas práticas de soldagem. Portanto este deve ser projetado e dimensionado de acordo com os parâmetros necessários para garantir o seu perfeito funcionamento, garantindo que o ambiente fique livre destas substâncias nocivas.

## 5. REFERÊNCIAS

- AWS, 2001, Standard Welding: terms and Definitions, Standard AWS A3.0:2001, Jul 2001.
- Fox, R. W., Pritchard, J. P., McDonald, A. T., 2010. Introdução à Mecânica dos Fluidos. 7 ed.. Ed. LTC, pp. 207-285,
- Henn, E. A. L. 2006, Máquinas de Fluido. 2 ed, Ed. UFSM, pp.217-259.
- Santos, B. K., 2015, Proposta de um sistema de exaustão para estação de soldagem: estudo de caso de uma empresa do setor agrícola. Universidade Regional do Noroeste do Estado do Rio Grande do Sul, Panambi.
- Heisler, V. R., 2015, Dimensionamento de Sistema de Exaustão para Fumos de Soldagem. 2015. 60 f. Trabalho de Conclusão de Curso, Faculdade Horizontina, Horizontina.
- Gioda, A.; Aquino N.F.R., 2003, Considerações Sobre Estudos de Ambientes Industriais e Não-industriais no Brasil. Rio de Janeiro. Pp. 139-147.
- Clezar, C. A; Nogueira, A. C. R. 2009. Ventilação industrial. Florianópolis, ed. Ufsc, 40-185.
- Costa, E. C, 2005. Manual da Ventilação, São Paulo, ed. Edgard Blücher, pp. 81-93.
- Lisboa, H. De M, 2007, Controle da Poluição Atmosférica: Ventilação Industrial. Montreal, ed. LTC.
- Macintyre, A. J, 1990, Ventilação Industrial e Controle da Poluição. 2. Ed. Rio de Janeiro, ed, LTC, pp 120-250.
- Mesquita, a. L. S.; Guimarães, f. A.; Nefussi, 1977, Engenharia de ventilação industrial. São Paulo, ed. Edgard Blücher, pp. 58-76.
- Nederman, 2017, How to protect against hazardous welding fumes. Disponível em: <<http://knowledge-center.nederman.se/cn/af4fp/fumefree welding>>. Acesso em: 18 outubro de 2017.
- Hirata, E.K, Beltzac, L.F., Okimoto, P.C., Scotti, A., 2013, “Influência da corrente de soldagem sobre o rendimento bruto de fusão em soldagem MIG/MAG.” Sétimo Congresso Brasileiro de Engenharia de fabricação, Rio de Janeiro, Brasil, pp. 7-8.
- ESAB. Processo de Soldagem: MIG/MAG (GMAW). Processo de Soldagem: MIG/MAG (GMAW), 19 de outubro de 2017. Disponível em: <[http://www.esab.com.br/br/pt/education/blog/processo\\_soldagem\\_mig\\_mag\\_gmaw.cfm](http://www.esab.com.br/br/pt/education/blog/processo_soldagem_mig_mag_gmaw.cfm)>.
- Wainer, E., Brandi, S.D., 1992, Soldagem, Processos e Metalurgia, Ed. Edgard Blücher, São Paulo, Brasil, pp. 35-40.
- Modenesi, P.J., Bracarense, A.Q., 2009, Soldagem, Fundamentos e Tecnologia, Ed UFMG, Minas Gerais, Brasil, pp. 214-221.
- Fogagnolo J. 2016. Introdução a processos de soldagem. UNICAMP. (2001). Disponível em: Acesso em: 19 de novembro, 2016.
- Batalha, G. F. Processos de Fabricação: Junção, Soldagem e Brasagem. (2003). Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. São Paulo. pp. 32-34.
- Marques P. 2002. Soldagem. Fundamentos e tecnologia. Ed.3. Editora UFMG. pp. 62-68

## PROJECT OF A EXAUST SISTEM TO A WELDING LAB IN THE INSTITUTO FEDERAL

**Marciano Roberto Rossatto, [marciano.rossatto@gmail.com](mailto:marciano.rossatto@gmail.com)  
Sérgio Wortmann, [sergio.wortmann@farroupilha.ifrs.edu.br](mailto:sergio.wortmann@farroupilha.ifrs.edu.br)**

Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio Grande do Sul – Campus Farroupilha

**Abstract:** *This work is about a project of a fume exhaust sistem to a welding lab in the Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia of Rio Grande do Sul, Campus of Farroupilha. It will be presented the components scaling, as well a lab map showing the layout of welding work place.*

**Keywords:** *welding, industrial exhaust fan, scaling.*