

## **RENABRAVA 11**

**Fevereiro/2024**

# **MANEJO DE FILTROS DE AR E SISTEMAS DE FILTRAGEM (FILTRAÇÃO) EM SISTEMAS DE CLIMATIZAÇÃO (AVAC-R)**

## **Introdução**

Esta recomendação técnica (Renabrava) disponibilizada pela ABRAVA foi elaborada pelos membros da Comissão de Estudos CE-055:002.007 de Equipamentos para limpeza do ar e outros gases e publicada pelo DN de Qualidade do Ar Interior, com o objetivo de apresentar recomendações para manuseio, armazenamento, instalação, e monitoramento de filtros de ar, tomando-se como referência as ABNT NBR ISO 16890-1 e ABNT NBR ISO 29463-1, e recomendações para manutenção de sistema de filtragem em sistema de condicionamento de ar, e legislações vigentes, ver referência bibliográfica [1].

Foram incluídas a experiência e as melhores práticas, trazidas por profissionais que atuam na área de filtragem analisadas e formatadas para a apresentação.

Este guia se aplica a equipamentos de filtragem, instalados em sistemas de movimentação de ar, por exemplo: equipamentos de ventilação e condicionamento de ar.

O objetivo deste documento é atingir os usuários e mantenedores de equipamentos de movimentação de ar.

## **1 Escopo**

Esta recomendação técnica tem como objetivo abordar as boas práticas relacionadas a:

- a) manutenção;
- b) classificação;
- c) periodicidade;
- d) descarte;
- e) qualidade do ar;
- f) monitoramento dos filtros;
- g) eficiência energética.

# **RENABRAVA 11**

**Fevereiro/2024**

## **2 Termos e definições**

**Para os efeitos deste documento, aplica-se o seguinte termo e definição:**

### **2.1**

#### **arrestância**

massa removida do carregamento total de pó ao qual o filtro é ensaiado

### **2.2**

#### **eficiência**

fração ou porcentagem de um contaminante de desafio removido por um filtro

### **2.3**

#### **eficiência fracionária**

capacidade de um dispositivo de limpeza de ar para remover partículas de um tamanho específico ou de faixa de tamanho

NOTA A eficiência representada graficamente em função do tamanho de partícula fornece o espectro de eficiência por tamanho de partícula. [Fonte: ISO 29464:2011; 3.1.61]

### **2.4**

#### **eficiência para material particulado ePM<sub>x</sub>**

eficiência de um dispositivo de limpeza de ar para reduzir a concentração de massa de partículas com diâmetro óptico entre 0,3 µm e x µm

### **2.5**

#### **elemento filtrante (ou filtro)**

estrutura composta do meio filtrante, dos seus suportes e das suas interfaces com a caixa do filtro

### **2.6**

#### **material particulado**

PM

partículas sólidas e/ou líquidas em suspensão no ar ambiente

#### **2.6.1**

##### **material particulado PM<sub>10</sub>**

material particulado que atravessa um dispositivo seletivo com 50 % de eficiência para um diâmetro de partículas aerodinâmico de 10 µm

#### **2.6.2**

##### **material particulado PM<sub>2,5</sub>**

material particulado que atravessa um dispositivo seletivo com 50 % de eficiência para um diâmetro de partículas aerodinâmico de 2,5 µm

## **RENABRAVA 11**

**Fevereiro/2024**

### **2.6.3**

#### **material particulado PM<sub>1</sub>**

material particulado que atravessa um dispositivo seletivo com 50 % de eficiência para um diâmetro de partículas aerodinâmico de 1 µm

### **2.7**

#### **sistema de filtragem**

corresponde não somente a um (ou mais) filtro(s), mas a todo o sistema onde ele(s) está(ão) instalados

## **3 Princípios - Manutenção de sistemas de filtração**

### **3.1 Classificação dos filtros**

As Normas ABNT NBR ISO 16890-1 e ABNT NBR ISO 29463-1 devem ser consideradas para a classificação dos filtros.

### **3.2 Critérios para a substituição dos filtros de ar**

A vida útil e o período para substituição (troca) dos filtros de ar têm por base alguns parâmetros, que estão diretamente relacionados com a atividade fim de onde o filtro é aplicado. Ainda que dentro de uma mesma empresa, é possível que um ou mais parâmetros sejam adotados, dependendo da aplicação, por exemplo: área produtiva adote um parâmetro, e área administrativa adote outro, seja por razões legais, técnicas ou econômicas.

Dessa forma, os parâmetros mais comuns de periodicidade de substituição de filtros são:

a) perda de pressão específica (final) informada na curva de trabalho desenvolvida pelo fabricante (*vazão versus* perda de pressão) é o fator limitante máximo, isto é, não pode ser ultrapassada (considerando a vazão de trabalho utilizada pelo fabricante do filtro para determinar este valor) indicando o momento da substituição dos filtros;

NOTA A perda de pressão máxima considerada pelo projeto do sistema de movimentação de ar no qual o filtro está inserido é ainda mais importante que a perda de pressão específica mencionada pelo fabricante.

A EN-13053 estabelece como perda de pressão final:

- Filtros Grosso (G1 a G4) – 150 Pa
- Filtros ePM<sub>10</sub> (de 40 % a 90 %), Filtros ePM<sub>2,5</sub> (de 10 % a 75 %), Filtros ePM<sub>1</sub> (de 5 % a 65 %), (M5 a F7) – 200 Pa
- Filtros ePM<sub>10</sub> (acima de 90 %), Filtros ePM<sub>2,5</sub> (de 75 % a 95 %), Filtros ePM<sub>1</sub> (de 40% a 90 %), (F8 e F9) 300 Pa

## RENABRAVA 11

Fevereiro/2024

NOTA Esta Renabrava utiliza como referência a EN-779:2002, as classes foram adaptadas para a ABNT NBR 16101, e adaptada para a equivalência com a ABNT NBR ISO 16890-1, conforme a Eurovent 4/23.

- b) custo total de operação (CTO) do sistema;
- c) periodicidade de substituição dos filtros por tempo de operação, em função de parâmetros de higiene (bactérias, fungos etc.);
- d) programação de manutenção preventiva/preditiva, se aplicável.

Relacionando o filtro ao consumo total de energia elétrica, sabe-se que uma das variáveis que afetam o consumo energético nos sistemas de ventilação e ar-condicionado é a perda de pressão média do sistema, como mostra a equação do consumo energético estabelecido pela Equação 1 apresentada no Anexo F da ABNT NBR 16101:

$$E = \frac{Q \times \overline{\Delta P} \times t}{\eta \times 1000} \quad (1)$$

onde

$E$  = consumo energético, apresentado como  $W$  na NBR16101, [kWh]

$Q$  = vazão volumétrica do ar, [m<sup>3</sup>/s]

$\overline{\Delta P}$  = perda de pressão média ao longo da vida útil do filtro, [Pa]

$t$  = tempo de operação do filtro, [h]

$\eta$  = eficiência do ventilador, adimensional (entre 0 e 1)

A perda de pressão média  $\overline{\Delta P}$  pode ser determinada utilizando-se modelos matemáticos de bastante precisão, a partir da observação de dados históricos da perda de pressão dos filtros entre o início da operação e troca do filtro (por qualquer critério diferente dos apontados nesse guia); ou, de maneira prática, como descrito no Guia RHEVA Nº 11, a perda de pressão média pode ser determinada como sendo a soma entre a perda de pressão inicial, mais a terça parte da diferença entre a perda de pressão final e a perda de pressão inicial, conforme a Equação 2:

$$\overline{\Delta P} = \overline{\Delta P}_i + \left( \frac{\overline{\Delta P}_f - \overline{\Delta P}_i}{3} \right) \quad (2)$$

onde

$\overline{\Delta P}$  = perda de pressão média ao longo da vida útil do filtro, [Pa]

$\overline{\Delta P}_i$  = perda de pressão inicial do filtro no sistema, [Pa]

$\overline{\Delta P}_f$  = perda de pressão final do filtro considerada no projeto do equipamento, [Pa]

Ao realizar o cálculo do consumo energético que o filtro impacta durante sua vida útil, é possível otimizar o momento mais econômico, com relação ao consumo de energia,

## **RENABRAVA 11**

**Fevereiro/2024**

para a realização da substituição dos filtros. Questões operacionais também são significativas e influenciam nos cálculos e podem ser encontradas na Seção 7.

NOTA O período de substituição dos filtros pode variar em função da característica de cada aplicação.

### **4 Estocagem (armazenamento)**

Recomenda-se que os filtros sejam armazenados e mantidos em suas embalagens originais. Caso haja necessidade de fracionamento, recomenda-se que as peças restantes sejam mantidas em embalagem adequada e lacrada, a fim de evitar contaminações.

Os filtros de ar são produtos frágeis, especialmente filtros de alta e altíssima eficiência (finos a HEPA), e o manuseio e estocagem podem ser operações críticas.

É recomendável ter alguns cuidados com a estocagem (armazenamento) dos filtros, para mantê-los em condições mínimas de uso. Alguns meios filtrantes, especialmente em formato de papel, tendem a reagir com temperatura e umidade, além de serem frágeis ao choque mecânico. O envelhecimento do papel tende a deixá-lo menos resistente, o que pode provocar danos irreparáveis e passagem de contaminantes pelo filtro.

Recomenda-se respeitar os sentidos e as quantidades de empilhamento de caixas indicados nas embalagens dos fabricantes. Além disso, deve-se evitar misturar os filtros com outros materiais no local de armazenamento.

NOTA Recomenda-se o descarte completo dos filtros que eventualmente sejam molhados no armazenamento.

Em caso de dúvidas, recomenda-se contatar o fabricante.

### **5 Instalação e ensaios de *by-pass* em estruturas de filtragem**

Os filtros devem ser instalados de forma a evitar *by-pass* de ar, pois todo o ar que não entra em contato com o meio filtrante carrega consigo todas as impurezas que deveriam ser filtradas.

A eficiência global do sistema de filtragem depende não somente da eficiência do filtro, mas do conjunto (filtro e estruturas de filtragem). Portanto, a resistência mecânica do filtro, gaxetas de vedação e construção da estrutura de filtragem são fundamentais para assegurar o desempenho adequado do sistema.

Portanto deve-se observar que:

## **RENABRAVA 11**

**Fevereiro/2024**

- a) a instalação dos filtros em suas estruturas (caixilhos) deve possuir vedações compatíveis com eficiência do sistema desejada;
- b) o conjunto de caixilhos deve apresentar em seu formato de instalação uma vedação eficiente dentro do condicionador.

NOTA Para assegurar que o sistema tenha o desempenho desejado, recomenda-se que as estruturas sejam ensaiadas em fábrica ou no local de instalação, conforme EN-1886.

### **6 Descarte**

Segundo a Associação Brasileira de Normas Técnicas, resíduos sólidos são aqueles em estado semissólidos ou sólidos, que são resultantes de atividades industriais e/ou domésticas, agrícola, saúde e de serviços. Em resumo, resíduos sólidos podem ser definidos como material proveniente de atividades humanas nas indústrias, comércios e residências que seja considerado inútil.

Para a correta destinação do resíduo é de suma importância realizar o processo de classificação, conforme a ABNT NBR 10004. Esta norma cita que a classificação de resíduos envolve a identificação da atividade ou processo que lhe deu origem, tratando de seus constituintes e características. A caracterização do resíduo é parte fundamental do processo, já que a partir de sua classificação, serão determinados o correto acondicionamento e destinação dos resíduos.

A ABNT NBR 10004 traz em seus anexos os parâmetros comparativos para classificação de resíduos perigosos de várias características, como perigosos e não perigosos. Para classificar um resíduo é necessário seguir o processo de classificação descrito na NBR 10004, não descaracterizando o resíduo, e assim obtendo sua devida classificação. Após a correta classificação dos resíduos, seguindo a norma e seus processos, é possível identificar as corretas destinações possíveis para os resíduos.

Tratando de filtro de ar é necessário seguir os procedimentos no anexo da norma, dado sua função. Por mais que boa parte dos filtros sejam fabricados com materiais inertes, que levariam a classificação II (não perigoso), durante o uso os filtros podem ser contaminados com elementos que fazem esta classificação ser alterada, uma vez que filtros de ar podem acumular desde partículas inflamáveis, tóxicas e até patogênicas, e essas partículas em altas concentrações podem alterar a classificação do filtro para resíduo classe I (perigosos).

Como já citado é importante não descaracterizar o resíduo, ou seja, realizar separações e/ou alterações em sua forma, já que o resíduo quando suspeito de possuir agentes capazes de classificá-lo como perigoso, deve sempre ser tratado de forma total e nunca repartido dado a seu risco de contaminação.

## **RENABRAVA 11**

**Fevereiro/2024**

Após a classificação, a destinação do filtro deve ser realizada de acordo com o Plano de Gerenciamento de Resíduos Sólidos (PGRS) do local, seja município e/ou estado e locais privados que possuem o próprio PGRS, desta forma garantindo que as premissas legais e corporativas sejam atendidas em sua totalidade. PGRS possuem diretrizes técnicas para a destinação dos variados tipos de resíduos, perigosos ou não, e suas demais obrigações legais como documentação de transporte e acondicionamento. Vale atentar que as premissas legais para o caso podem variar de acordo com a Legislação Estadual para alguns casos.

### **7 Custo total de operação**

O custo total de ciclo de vida de um sistema de filtragem LCC, (*Life Cycle Cost*), eventualmente conhecido como custo total de propriedade (*Total Cost of Ownership – TCO*) é um método de estudo e avaliação de custos decorrentes da utilização de um sistema de filtragem durante um determinado período.

Este método de avaliação tem ganhado destaque nos últimos anos, pois permite avaliar os impactos financeiros associados aos sistemas de filtragem de ar, auxiliando os gestores na tomada de decisão da escolha de modelos, período de troca e critérios de manutenção.

O conceito de LCC, neste caso, refere-se somente à porção de custos impactados pelo uso de filtros de ar nos sistemas de AVAC-R, não contemplando, a avaliação de demais componentes dos sistemas (por exemplo, trocadores de calor, sistemas de aquecimento etc.).

Por esta razão, estabeleceu-se a sigla LCCf - Custo total de ciclo de vida relativo aos filtros do sistema de filtragem.

#### **7.1 Custos associados aos sistemas de filtragem em um sistema de AVAC-R**

De modo geral, existem dois tipos de custos associados ao uso de sistemas de filtragem em um sistema de AVAC-R:

- a) custos tangíveis;
- b) custos intangíveis.

Vale notar que o termo sistemas de filtragem corresponde não somente a um ou mais filtros, mas a todo o sistema onde ele(s) está(ão) instalados.

##### **7.1.1 Custos tangíveis**

Os custos tangíveis são os custos mais fáceis de mensurar, podendo ser diretos ou indiretos.

## **RENABRAVA 11**

**Fevereiro/2024**

Exemplo: Preço dos filtros, custo de frete, custo para a troca (mão de obra), custo de energia, custo para a certificação (quando aplicável), custo de descarte, custo de armazenagem, entre outros.

### **7.1.2 Custos intangíveis**

Os custos intangíveis geralmente são os mais difíceis de mensurar, mas igualmente, ou até mais importantes do que os custos tangíveis:

Exemplo: Riscos de processo associados ao mau funcionamento do sistema de filtragem, riscos de saúde dos ocupantes, riscos legais (atendimento às legislações), desconforto ou perda de produtividade dos ocupantes, entre outros.

Tantos os custos tangíveis como intangíveis devem ser avaliados durante o processo de decisão de compra ou período de troca de filtros de ar, pois geralmente fatores como consumo energético, custos de mão de obra de troca ou certificação e ainda os riscos de operação, são muito maiores que os preços de mercado dos produtos (filtros) em si.

### **7.2 Cálculo do custo total do ciclo de vida de um sistema de filtragem**

Não há um método normalizado para o cálculo do custo total do ciclo de vida de um sistema de filtragem. Por este motivo, diversos fabricantes desenvolveram planilhas e softwares que calculam este custo de maneiras diferentes, sendo alguns de maneira mais simplificada e outros de maneira mais abrangente.

O que é comum na maioria deles é a divisão entre custos diretamente associados à compra/manutenção dos sistemas de filtragem (todos os estágios de filtros) e, os custos decorrentes do uso dos filtros, basicamente, consumo energético.

Sob este aspecto é possível considerar que os custos associados à compra/manutenção dos filtros são decrescentes e amortizados ao longo do tempo de uso. Já os custos decorrentes do uso dos filtros (energia) são crescentes à medida em que o tempo passa e a perda de pressão dos filtros aumenta.

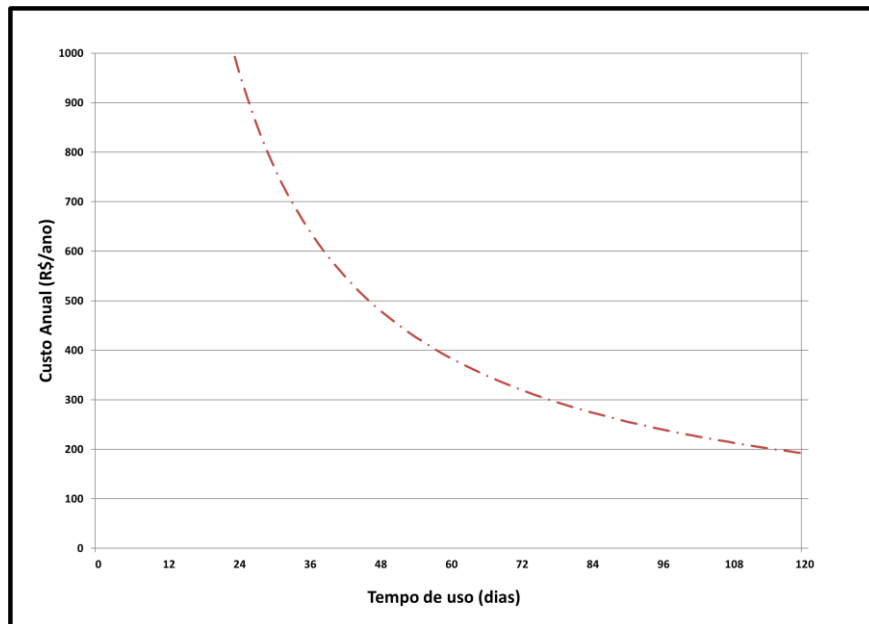
Vale mencionar que a avaliação do LCCf é mais efetiva quando o sistema de AVAC-R trabalha em vazão de ar constante por meio de dispositivos que atuam na rotação dos ventiladores durante todo o período de avaliação (ciclo de vida estudado), pois quando não é possível a correção da vazão de ar para compensar o acréscimo da perda de carga dos filtros, não há o aumento de consumo de energia do sistema. Neste cenário, um fator relevante para o estudo não será considerado de maneira efetiva.

A Figura 1 apresenta um exemplo onde somente os custos decorrentes da compra/manutenção dos filtros são considerados. Vale mencionar que os custos são anualizados e trazidos à valor presente, descontada a taxa de inflação estimada para o custo dos filtros, mão de obra de manutenção, e eventuais serviços certificação, descarte, entre outros.



## RENABRAVA 11

Fevereiro/2024



**Figura 1 – Custos fixos amortizados ao longo do tempo**

(Custos decorrentes da compra/manutenção dos filtros)

Na Figura 2, a curva ascendente representa o custo de energia associado ao acréscimo de perda de carga decorrente da acumulação de pó no sistema de filtragem. Para o cálculo do consumo de energia, é usada a Equação 1 apresentada anteriormente, onde o  $\Delta p$  é a perda de carga estimada para o sistema naquele período determinado. Portanto, depois de calculado o consumo e, sabendo-se a tarifa de energia cobrada, é possível estimar o valor financeiro da energia decorrente do uso do sistema de filtragem durante o período.

$$W = \frac{q_v \cdot \overline{\Delta p} \cdot t}{\eta \cdot 1000} \quad (1)$$

## RENABRAVA 11

Fevereiro/2024

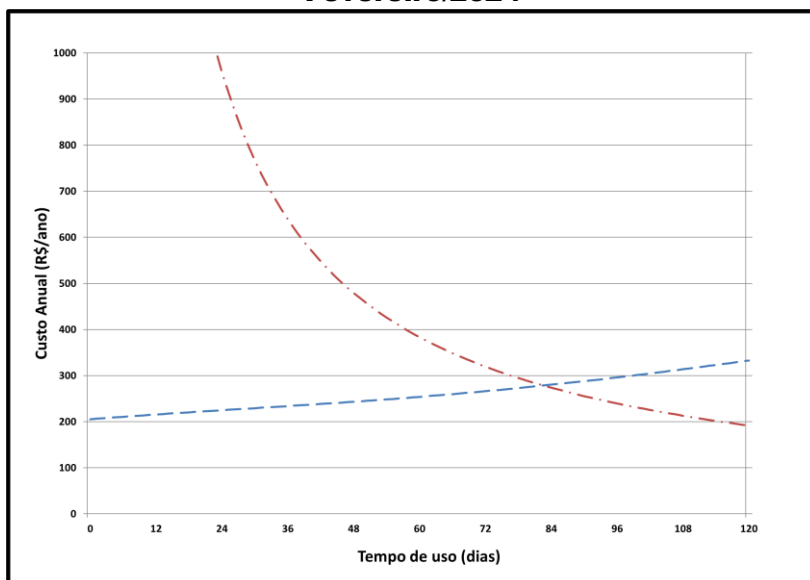


Figura 2 – Custos crescentes relativos ao consumo de energia

Na Figura 3 está determinada a curva que representa o custo total do ciclo de vida (anual) daquele sistema de filtragem. Esta curva é a componente somatória das duas outras curvas. Neste sentido, o ponto mais baixo desta curva resultante é o ponto de troca a ser escolhido para substituição dos filtros em análise (neste caso, 120 dias).

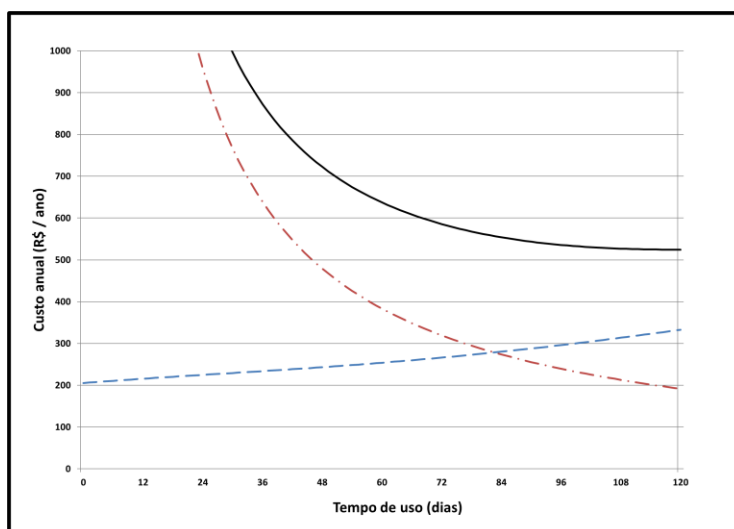


Figura 3 – Custo total resultante

### 7.3 Considerações importantes

Os cálculos de custo total de ciclo de vida dos filtros de um sistema de filtragem (LCCf) são uma ferramenta de simulação/previsão do comportamento de um conjunto de filtros

## RENABRAVA 11

Fevereiro/2024

de ar empregados em um determinado sistema AVAC. Para este cálculo, diversas premissas são assumidas, como por exemplo: eficiência do sistema moto-ventilador, quantidade de particulado que é retido nos filtros, vazão de ar estável e uniforme em todos os filtros de cada estágio do sistema, ausência de vazamentos nos caixilhos, entre outros.

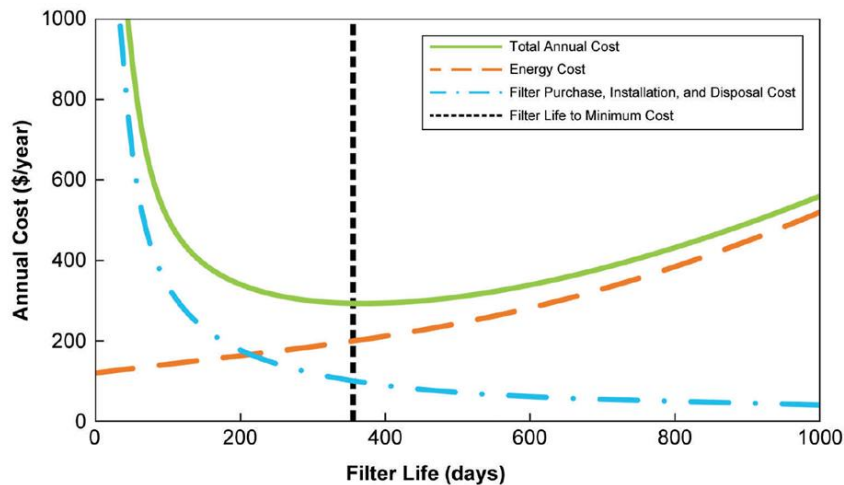
Neste sentido, a ferramenta pode e deve ser usada para a comparação entre produtos e tecnologias diferentes, sob as mesmas condições e premissas.

Entretanto, não é possível afirmar que os valores calculados serão efetivamente obtidos na aplicação real daquela instalação.

Caso haja o interesse ou necessidade de avaliação real dos resultados, é recomendável o uso de medidores de consumo de energia para o monitoramento em tempo real das instalações e cálculo preciso dos demais custos envolvidos.

NOTA IMPORTANTE O período para a troca dos filtros, calculado por meio do método de LCCf, não pode ultrapassar o período eventualmente determinado por uma legislação vigente ou colocar em risco a operação dos sistemas.

Neste sentido, a perda de carga máxima prevista para os filtros no período calculado não pode ultrapassar o valor máximo recomendado pelo fabricante.



For individual use only. © Copyright ISPE 2019. All rights reserved.

### Legenda

Annual Cost (\$/year) - Custo anual \$ (dólares por ano)

Total annual cost – Custo total anual

Energy cost – Custo de energia

Filter Purchase, installation, and disposal cost – Custo de aquisição, instalação e descarte final

Filter life to minimum cost – Tempo de vida do filtro para o custo mínimo.

## **RENABRAVA 11**

**Fevereiro/2024**

### **8 A filtragem do ar e sua contribuição para qualidade do ar interior**

Sabe-se que o aumento da concentração de material particulado no ar provoca uma série de problemas de saúde nos ocupantes, principalmente às pessoas mais susceptíveis.

O material particulado  $PM_{10}$  está em concentrações maiores em ambientes externos rurais, enquanto os  $PM_{2,5}$  e  $PM_{10}$  são característicos de ambientes urbanos onde são abundantemente gerados pelos motores e atividades industriais. Estes dois últimos são mais nocivos à saúde das pessoas por penetrarem mais profundamente no aparelho respiratório.

A filtragem do ar é um dos tratamentos mais importantes e eficientes no que tange a qualidade do ar interno quanto à contaminação por material particulado.

A concentração do material particulado em ambientes internos é a resultante do equilíbrio entre a geração interna e concentração deste material particulado no ar insuflado mecanicamente nos ambientes. É exatamente neste elemento que a aplicação de filtros eficientes, tanto no ar de insuflação como na parcela do ar externo, se faz necessária.

Na ABNT NBR 16401-3 foi introduzida uma metodologia para seleção dos filtros segundo as suas eficiências para material particulado, onde é possível estimar a concentração de material particulado ( $PM_{2,5}$ ) resultante da combinação da geração interna, vazão de ar externo e de insuflação, concentração de  $PM_{2,5}$  no ar externo e eficiências dos filtros a serem utilizados para  $PM_{2,5}$ , conforme a ABNT NBR ISO 16890-1.

### **9 Monitoramento de vida útil de filtros**

O monitoramento dos parâmetros de vida útil dos filtros de ar sempre foi um tema importante para os usuários, mas que vem ganhando importância recentemente, à medida que os sistemas de automação continuam sua evolução e as tecnologias de monitoramento remoto são popularizadas. Independente dessa evolução, as metodologias mais conhecidas e já consagradas desse tópico continuam a ser utilizadas, que são:

#### **9.1 Perda de pressão** (perda de carga, queda de pressão ou resistência à passagem do ar)

A perda de pressão é um método bastante comum, que consiste em observar, com o uso de manômetro diferencial de pressão, a resistência à passagem do ar entre as seções anteriores e posteriores ao filtro (montante e jusante), à medida que o filtro recebe carga de pó.

## **RENABRAVA 11**

**Fevereiro/2024**

O primeiro dado anotado é a perda de pressão medida logo após a instalação do filtro, e periodicamente, a medição é refeita de acordo com a característica da instalação (mensalmente, por exemplo), de forma a prever quando deve ser o período de troca do filtro e proceder a devida preparação para esse evento.

Diferentes práticas podem ser adotadas:

- a) perda de pressão final indicada pelo fabricante (não excedendo a alínea b));
- b) perda de pressão final de acordo com a característica de projeto do sistema de ventilação;
- c) perda de pressão final mais econômica conforme LCC, não excedendo a alínea a).

Existem opções para realização dessa tarefa de maneira remota e automatizada, com sensores realizando a função dos manômetros, e transmitindo dados diretamente a programas de gerenciamento de desempenho, que seguem esse mesmo princípio de monitoramento.

É recomendável que todo sistema de medição ou monitoramento opere dentro das condições de manutenção e calibração adequadas, para assegurar a confiabilidade da sua leitura.

### **9.2 Periódico (“por tempo”)**

É comum o emprego desse método, por sua facilidade de uso e integração com os programas de controle de manutenção, entretanto, é o método menos científico e exato disponível. Consiste em determinar o intervalo de troca dos elementos filtrantes e inserir esse período dentro das rotinas de manutenção. Os intervalos mais comuns são:

- a) filtros ISO *Coarse*: 1 a 3 meses;
- b) filtros  $40\% \leq ePM_{10} \leq 80\%$ : 3 a 12 meses;
- c) filtros  $ePM_1 \geq 40\%$ : 6 a 18 meses.

O período adequado depende da concentração de pó imediatamente antes do filtro (montante), do tipo de pó a ser filtrado, e da geometria do filtro. O engenheiro ou técnico de aplicação especialista em filtragem poderá auxiliar na determinação desse período.

O período estabelecido para troca de filtros jamais deve exceder a prescrição legal vigente.

Outros fatores também devem ser considerados para a determinação do momento da troca dos filtros, privilegiando sempre a análise do risco envolvido. Como exemplo é possível citar:

## **RENABRAVA 11**

**Fevereiro/2024**

- a) danos estruturais aos filtros, às vedações ou aos elementos de fixação;
- b) presença de componentes estranhos, retidos pelo filtro, como micro-organismos, fungos, por exemplo;
- c) fatores que podem impactar no rendimento dos filtros, como alta umidade ou condensação, por exemplo.

### **10 Manutenção de sistemas de AVAC-R**

#### **10.1 Manutenção preventiva**

Entende-se por manutenção preventiva o conjunto de atividades planejadas que possuem como objetivo a preservação e durabilidade dos equipamentos de climatização. Além disso, a manutenção preventiva permite que a substituição de peças seja realizada de maneira planejada e de acordo com as especificações dos fabricantes, sem causar interrupções inesperadas. Algumas das vantagens em se ter um contrato de manutenção preventiva são:

- a) aumento da vida útil dos equipamentos;
- b) garantia da eficiência do sistema;
- c) redução dos custos com manutenções corretivas;
- d) redução no consumo de energia;
- e) aumento da qualidade do ar interno;
- f) atender as legislações e normas vigentes, (entre elas a lei nº 13.589 de 04.01.2018).

NOTA A pasta contendo toda a documentação que comprova as manutenções deve estar disponível no cliente em local de fácil de acesso em caso de fiscalização.

#### **10.2 Observações importantes**

A tomada de ar externo é obrigatória para qualquer sistema de climatização e deve ser composta por sistema de filtragem adequada para o tipo de aplicação, conforme ABNT NBR 16401.

A vazão de ar externo deve estar de acordo com a ABNT NBR 16401-3.

# **RENABRAVA 11**

**Fevereiro/2024**

## **Anexo A**

### **Avaliação de eficiência energética de filtros de ar para fins de ventilação geral**

#### **A.1 Eficiência energética**

No contexto dos custos crescentes de energia e a imperativa necessidade ambiental de reduzir emissões de CO<sub>2</sub>, o consumo de energia relacionado aos filtros de ar tornou-se um foco importante de atenção. Os filtros de ar usados para ventilação em geral são ensaiados e classificados conforme a eficiência na retenção de material particulado (PM), de acordo com a ABNT NBR ISO 16890-1.

O objetivo deste tópico é avaliar o impacto dos filtros de ar no consumo anual de energia, utilizando como base os procedimentos de ensaios em laboratório para a classificação de eficiência energética, provendo orientação para a seleção do filtro. Deve-se observar que para a redução do consumo de energia usando filtros mais eficientes do ponto de vista energético, requer que a velocidade do sistema de ventilação possa ser variada para fornecer vazões volumétricas de ar constante.

Se o sistema de ventilação operar em velocidade fixa, uma perda de pressão menor que a dimensionada dos filtros de ar resulta em aumento da vazão volumétrica de ar.

Na pior das hipóteses, isso pode até mesmo resultar numa situação em que o conjunto moto-ventilador é operado em um ponto com menor eficiência, aumentando o consumo geral de energia.

Também deve ser observado que o método fornecido neste tópico é baseado em dados de ensaios em laboratório, com condições normalizadas, que podem diferir significativamente da aplicação em campo. Assim, o consumo anual de energia calculado neste documento deve ser apenas utilizado como um indicador para a classificação energética dos filtros, pois refere-se apenas à contribuição dos filtros no consumo de energia. O consumo anual de energia na aplicação em campo pode diferir significativamente do indicado nesse tópico.

O consumo de energia dos filtros de ar pode ser determinado em função da vazão volumétrica, do rendimento do conjunto moto-ventilador, do tempo de operação e da perda de pressão média nesse tempo de operação. Devido ao carregamento de pó durante a operação, a perda de pressão de um filtro de ar aumenta ao longo do tempo. O consumo de energia relacionado a um certo período pode ser calculado a partir da média integral da perda de pressão durante este período. Como um método de ensaio em laboratório, a perda de pressão média é determinada a partir do carregamento de pó do filtro, de acordo com a ABNT NBR ISO 16890-3, utilizando o pó sintético especificado na ISO 15957 como L2 (AC Fine).

## **RENABRAVA 11**

**Fevereiro/2024**

De acordo com este tópico, os filtros finos são classificados com eficiência  $ePM_{10} \geq 50 \%$ .

### **A.2 Consumo de energia relacionado aos filtros de ar**

O consumo de energia de um conjunto moto-ventilador em uma unidade de tratamento de ar pode ser avaliado como função da vazão de ar fornecida pelo conjunto moto-ventilador, o seu rendimento, o tempo de operação, e a diferença entre a pressão total (pressão estática mais dinâmica) e a pressão estática do ar ambiente (assumindo que o conjunto moto-ventilador aspira o ar de um reservatório estático).

Tipicamente, a vazão de ar fornecida pelo conjunto moto-ventilador e a diferença de pressão que o conjunto moto-ventilador fornece para o sistema estão relacionados um ao outro pela sua curva característica.

O rendimento do conjunto moto-ventilador é uma função da sua rotação e depende muito do tipo, forma construtiva e aplicação, podendo ter grande variação dos valores, os melhores casos, alto como 0,80 ou acima disso, e nos piores casos, 0,25 ou mesmo abaixo. A parcela do consumo anual total de energia, relacionada à perda de pressão dos filtros de ar pode ser calculado usando a Equação A.1:

$$W = \frac{Qv \times \overline{\Delta P} \times t}{\eta \times 1000} \quad (\text{A.1})$$

onde

$$Qv = 0,944 \text{ m}^3/\text{s} \text{ (mesma vazão do ensaio de eficiência dos filtros)}$$

$$t = 6\,000 \text{ h/ano}$$

$$\eta = 0,50$$

Conforme indicado, a vazão volumétrica de ar considerada é fixa em 0,944 m<sup>3</sup>/s (3.400 m<sup>3</sup>/h). Esta, corresponde à vazão de ar projetada em uma unidade de tratamento de ar, equipada com conjunto moto-ventilador com variação de velocidade, para manter constante o fluxo de volume de ar.

Adicionalmente, o rendimento do conjunto moto-ventilador é definido como 0,50, o que pode ser considerado como um rendimento típico médio, de um conjunto moto-ventilador em uma unidade de tratamento de ar.

Mantendo esses valores constantes, a única variável na Equação (A.1) é a perda de pressão média, e que, portanto, pode ser escrita como a Equação (A.2):



## RENABRAVA 11

Fevereiro/2024

$$W = 11,33 \cdot \frac{kWh}{Pa} \cdot \overline{\Delta P} \quad (A.2)$$

A classificação deve ser realizada em um elemento filtrante com dimensão de face padronizada de 592 x 592 mm (de acordo com o Anexo B deste documento), conforme a seguir:

- realizar um ensaio completo, de acordo com a série ISO 16890, com vazão  $Q_v = 0,944 \text{ m}^3/\text{s}$ , e determinar as eficiências  $ePM_x$  e o grupo ISO  $ePM_x$  conforme descrito na ABNT NBR ISO 16890-1;
- Carregar o filtro com poeira ISO L2 (AC Fine) de acordo com o procedimento descrito na ABNT NBR ISO 16890-3, alimentando a quantidade total de pó indicada na Tabela 1 ou até a perda de pressão final (300 Pa), o que vier primeiro.

Durante o carregamento de pó, a curva de perda de pressão versus pó alimentado deve ser registrada com pelo menos nove pontos de dados ( $m_i, \Delta p$ ), incluindo o ponto de dados inicial ( $m_0 = 0 \text{ g}, \Delta p$ ) (mínimo de oito etapas de carregamento). Na primeira etapa, 30 g de pó devem ser alimentados ao filtro ou a uma quantidade de pó que resulta em aumento de 10 Pa de perda de pressão, o que ocorrer primeiro. Para a última etapa de carregamento, a quantidade total de pó alimentada  $m_n$  ( $n \geq 8$ ) deve ser igual ou ligeiramente maior que a quantidade de pó indicada na Tabela 1. Os incrementos adicionais de carga de pó devem permitir plotar uma curva de perda de pressão versus alimentação de pó. A quantidade total de pó que deve ser adicionada ao filtro é definida na Tabela A.1, dependendo da classificação ISO.

**Tabela A.1 – Quantidade total de pó carregado**

Grupo ISO	ISO $ePM_1$	ISO $ePM_{2,5}$	ISO $ePM_{10}$
Quantidade de pó carregado $M_x$	200 g	250 g	400 g

Se a perda de pressão final de 300 Pa for alcançada, com quantidade de pó menor do que a especificada na Tabela A.1, a eficiência energética do filtro não pode ser avaliada e o procedimento pode ser interrompido.

A ABNT NBR ISO 16890-3 determina carregar o filtro em ensaio até a perda de pressão final (300 Pa).

Caso a perda de pressão final não seja alcançada antes que a quantidade total de pó  $M_x$  fornecida na Tabela 1 seja carregada no filtro ensaiado, o procedimento de carregamento pode continuar para obter um ensaio completo da ABNT NBR ISO 16890-3, todavia os dados de carga de pó não são usados no documento Eurovent 4/21 e por consequência, nesse tópico.

## RENABRAVA 11

Fevereiro/2024

c) calcular a perda de pressão média usando a Equação (A.3) da perda de pressão de  $n+1$  pontos de dados versus massa de pó carregada.

$$\overline{\Delta p_i} = 0,5 \times (\Delta p_i + \Delta p_{i-1}) \text{ onde } i = 1 \dots n - 1 \quad (\text{A.3})$$

$$\overline{\Delta p_n} = \Delta p_{n-1} + 0,5 \times \frac{\Delta p_n - \Delta p_{n-1}}{m_n - m_{n-1}} \times (M_x - m_{n-1}) \text{ onde } m_{n-1} < M_x \text{ e } m_n \geq M_x$$

$$\Delta m_i = m_i - m_{i-1} \text{ e } \Delta m_n = M_x - m_{n-1}$$

$$\overline{\Delta p} = \frac{1}{M_x} \cdot \sum_{i=1}^n \overline{\Delta p_i} \cdot \Delta m_i$$

onde

$ePM_x$  é a eficiência definida na ABNT NBR ISO 16890-1 (para o relato de múltiplos de 5 % os valores devem ser arredondados para baixo)

$\eta$  é o rendimento do conjunto moto-ventilador para a transmissão de energia elétrica em conteúdo energético do campo de fluxo de ar. Como valor médio representativo para as diferentes instalações e condições de operação,  $\eta$  é assumida como igual a 0,50

O rendimento total do conjunto moto-ventilador usado neste tópico corresponde a  $\eta_{tot}$  conforme definido na EN 16798-3:2017.

$i$  é o número das etapas de carregamento de pó

$m_i$  é a quantidade total de pó carregado a um filtro de ar após a etapa de carregamento  $i$  [g]

$\Delta m_i$  é o incremento de pó carregado a um filtro de ar durante a etapa de carregamento  $i$  [g]

$M_x$  é a quantidade de pó L2 carregado ao filtro ensaiado, conforme a ABNT NBR ISO 16890-3 [g] Usado para calcular a perda de pressão média;

$M_x$  representa um dos três valores  $M_{10}$ ,  $M_{2,5}$  e  $M_1$  definidos na Tabela 1;

$n$  é o número total de etapas de carregamento de pó usadas para alimentar a quantidade de pó de ensaio  $M_x$  para o filtro de ar ( $n \geq 8$ );

$\Delta p_0$  é a perda de pressão inicial de um filtro de ar [Pa];

$\Delta p_i$  é a perda de pressão de um filtro de ar após a etapa de carregamento de pó  $i$  [Pa];

## RENABRAVA 11

**Fevereiro/2024**

$\overline{\Delta p_i}$ , é a média das perdas de pressão de um filtro de ar medidas antes e depois da etapa de carregamento de pó  $i$  (Pa);

$\overline{\Delta p}$ , é a perda de pressão média de um filtro de ar [Pa];

$Q_v$  é a vazão volumétrica de ar no filtro [m<sup>3</sup>/s];

$t$  é o tempo de operação [h]; Para um filtro de ar utilizado durante o período de um ano, o tempo total de operação assumido é de 6 000 h

$W$  é o consumo anual de energia [kW.h]

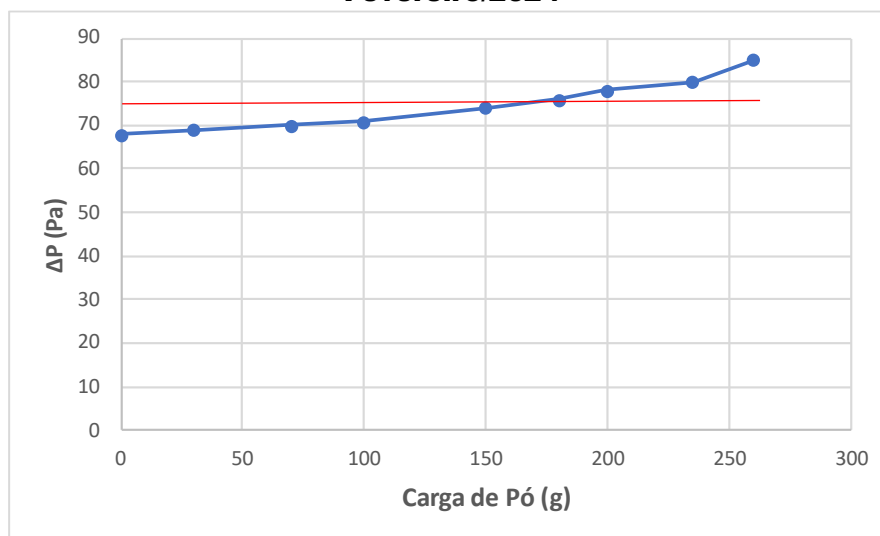
- d) calcular o consumo anual de energia  $W$  relacionado ao filtro usando a Equação (A.2).

Todos os dados usados para a avaliação da eficiência energética (eficiência ePM<sub>x</sub>, classificação ISO ePM<sub>x</sub> e curva de perda de pressão) devem resultar da mesma amostra de filtro. Como exemplo, o método de cálculo é mostrado com base nos resultados do ensaio de um filtro tipo bolsa, classificado como ISO ePM<sub>2,5</sub> 60 % a 0,944 m<sup>3</sup>/s de vazão de ar, conforme ABNT NBR ISO 16890-1.

Carga de pó (g)	$\Delta P$ (Pa)
0	68
30	69
70	70
100	71
150	74
180	76
200	78
235	80
260	85

## RENABRAVA 11

Fevereiro/2024



(Fonte: Referência bibliográfica [15].

**Figura A.1 – Perda de pressão em função do carregamento de pó em 0,944 m<sup>3</sup>/s, conforme ABNT NBR ISO 16890-3.**

NOTA A linha vermelha marca a perda de pressão média.

De acordo com a Tabela 1, a quantidade total de pó  $M_{2,5} = 250$  g e usando a Equação (A.3) com os dados fornecidos na Tabela A.2, a perda de pressão média é calculada para  $\overline{\Delta p} = 73,4$  Pa e o consumo anual de energia  $W = 833$  kW.h/ano.

**Tabela A.2 – Dados de ensaio para a perda de pressão de acordo com ABNT NBR ISO 16890-3 em função da alimentação de pó fino AC**

Etapa	Massa de pó carregado $m_i$ [g]	Perda de pressão $\Delta p_i$ [Pa]	Incremento de pó $\Delta m_i$ [g]	Perda de pressão média $\overline{\Delta p_i}$ [Pa]
0	0	68		
1	30	69	30	68,5
2	70	70	40	69,5
3	100	71	30	70,5
4	150	74	50	72,5
5	180	76	30	75,0
6	200	78	20	77,0
7	230	80	30	79,0
8	260	85	20	82,0

### A.3 Aplicação prática

O consumo anual de energia  $W$  conforme esse tópico, é determinado a uma vazão  $q_v = 0,944$  m<sup>3</sup>/s. No entanto, em uma aplicação real, a vazão volumétrica de ar pode ser maior ou menor. Para estimar o consumo anual de energia de um filtro de ar a uma determinada vazão  $q_{act}$  diferente de 0,944 m<sup>3</sup>/s, o consumo energético  $W_{act}$  pode ser calculado usando a Equação A.4:

## **RENABRAVA 11**

**Fevereiro/2024**

$$W_{act} = W \cdot \frac{\Delta p_0(q_{act})}{\Delta p_0(q_v)} \cdot \frac{q_{act}}{q_v} \quad (A.4)$$

onde

$\Delta p (q_{act})$  é a perda de pressão inicial medida do filtro descarregado (sem carregamento de pó) na vazão real  $q_{act}$  e  $\Delta p (q_v)$  a perda de pressão inicial do filtro descarregado, medida na vazão  $q_v = 0,944 \text{ m}^3/\text{s}$ .

Quanto maior a diferença entre  $q_{act}$  e  $q_v$ , mais imprecisa fica a estimativa.

A perda de pressão na vazão volumétrica de ar alternativa deve ser extraída do mesmo relatório de ensaio da ABNT NBR ISO 16890-1 que foi a base para o valor do kW/h na vazão nominal de ar ( $0,944 \text{ m}^3/\text{s}$ ). Este relatório de ensaio deve ser fornecido juntamente com o consumo (uso) de energia calculado na vazão volumétrica de ar alternativa.

# **RENABRAVA 11**

**Fevereiro/2024**

## **Anexo B**

### **Conceitos e definições sobre filtros de ar**

#### **B.1 Geral**

Este Anexo abrange definições e conceitos para o mercado usuário de filtros de ar. Esses conceitos e definições dizem respeito basicamente às características físicas, nomenclatura e comunicação dos filtros que são distribuídos no mercado.

#### **B.2 Identificação dos filtros**

Os filtros possuem uma nomenclatura específica, sendo classificados segundo sua eficiência (ePM<sub>x</sub> ou ainda grossos, médios e finos) e sua forma construtiva. Utilizando os dois critérios, os filtros podem ser classificados em:

– Filtros ePM<sub>10</sub> (<50 %) até então classificados como "grossos": mantas, mantas emolduradas planas, mantas emolduradas plissadas, bolsa, tela colmeia e tela sobreposta;

– Filtros ePM<sub>10</sub> (de 40 % a 90 %), Filtros ePM<sub>2,5</sub> (de 10 % a 75 %), Filtros ePM<sub>1</sub> (de 5 % a 65 %), até então classificados como "médios": mantas, mantas emolduradas planas, mantas emolduradas plissadas, bolsa, cônico e cilíndrico;

– Filtros ePM<sub>10</sub> (acima de 90 %), Filtros ePM<sub>2,5</sub> (de 75 % a 95 %), Filtros ePM<sub>1</sub> (de 40 % a 90 %), até então classificados como "finos": bolsa, plissado plano, plissado em "V", cônico e cilíndrico.

NOTA Os exemplos acima são apenas indicativos, não restringindo outros formatos e tecnologias.

#### **B.3 Dimensões dos filtros**

São as dimensões reais externas dos filtros expressas em milímetros (mm). Essas dimensões são as utilizadas para designar o tamanho do filtro, podendo divergir das dimensões nominais.

#### **B.4 Dimensões padronizadas para filtros**

São as dimensões externas dos filtros expressas em milímetros (mm). Foram adotadas como medidas padrão: 292 mm x 592 mm; 492 mm x 592 mm; 492 mm x 492 mm; 592 mm x 592 mm, com tolerâncias de ± 3 mm, conforme Tabela B.1.

## RENABRAVA 11

Fevereiro/2024

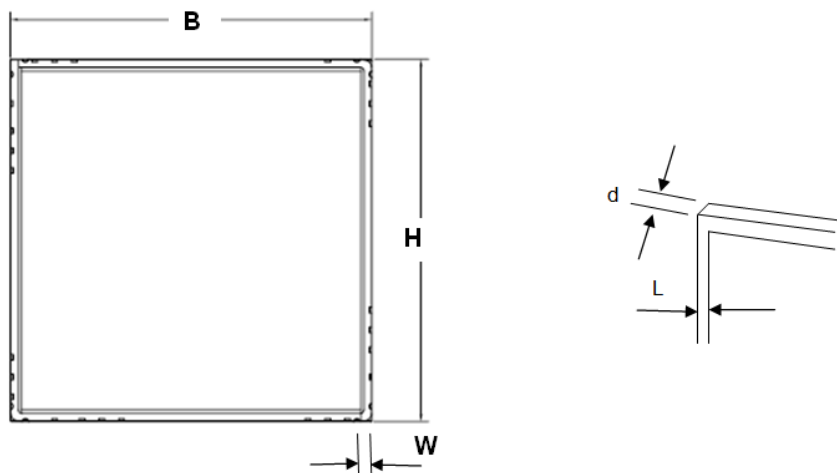
**Tabela B.1 – Dimensões de quadros de fixação e seus correspondentes nos filtros**

Quadros de fixação mm		Filtro (dimensões externas) mm	
Base (B)	Altura (H)	Base (B)	Altura (H)
610	610	592	592
510	610	492	592
510	510	492	492
305	610	292	592
610	305	592	292
510	305	492	292
305	305	292	292

As tolerâncias referentes às medidas apresentadas na Tabela B.1 são descritas a seguir:

- dimensão externa dos quadros de fixação: + 0 mm e - 2 mm;
- largura da aba de apoio (W): 25 mm;
- filtros : + 3 mm e - 5 mm;
- profundidades do encaixe (d): entre 20 mm e 25 mm;
- largura mínima do encaixe (L): 16 mm.

A Figura B.1 demonstra o que são a largura da aba de apoio (W), a profundidade (d) e a largura do encaixe (L):



**Figura B.1 – Representação da base (B) e altura (H) dos quadros de fixação, da aba de apoio (W), da largura (L) e profundidade (d) do encaixe**

## RENABRAVA 11

Fevereiro/2024

Os exemplos acima são apenas indicativos, não restringindo outros formatos e tecnologias.

O projeto do quadro de fixação deve considerar que existe a possibilidade de passagem de ar entre o conjunto; em razão disso, deve privilegiar sua vedação durante toda a vida útil do filtro.

### B.5 Orientação da comunicação das dimensões dos filtros

Sempre que forem comunicadas, as dimensões devem ser descritas na ordem Base x Altura x profundidade (B x H x P), conforme a Figura B.2.

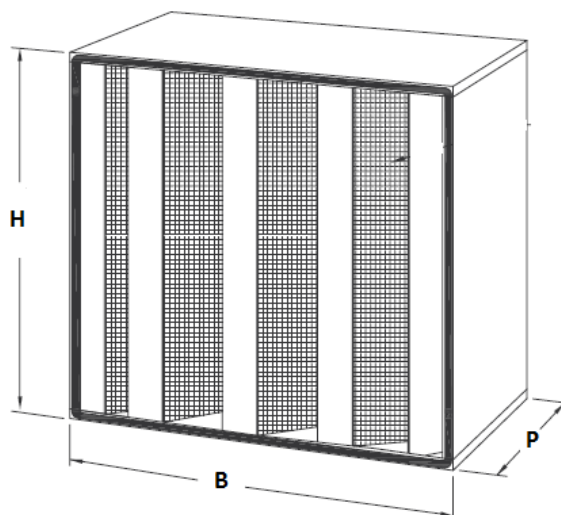


Figura B.2 – Definição de base (B), altura (H) e profundidade (P)

### B.6 Identificação visual dos filtros

É necessário que, junto aos filtros, informações mínimas venham descritas através de uma etiqueta, conforme B.6.1 e B.6.2.

#### B.6.1 Filtros ISO *coarse*

Mantas (na embalagem): modelo e classe.

Emoldurados: modelo, dimensão e classe.

#### B.6.2 Outros tipos de filtros conforme a ABNT NBR ISO 16890

Modelo, dimensão, eficiência, perda de pressão inicial/final para velocidade de face de 2,62 m/s.

NOTA Recomenda-se que os fabricantes tenham a rastreabilidade dos seus produtos. Como exemplos de dados a serem incluídos na rastreabilidade podem ser citados o número da nota fiscal, lote/série de produção, nome do solicitante, dimensões, classe de filtragem e quantidades de cada item.



## **RENABRAVA 11**

**Fevereiro/2024**

### **B.7 Fichas técnicas/catálogos**

Os seguintes dados correspondem ao mínimo que deve ser encontrado nas comunicações técnicas (fichas técnicas e catálogos):

- modelo;
- classe;
- dimensões;
- vazão;
- perda de pressão inicial;
- perda de pressão final;
- descrição do produto (classificação do filtro, materiais de construção).

A informação de capacidade de acumulação de pó é opcional, porém, se informada, é necessário mencionar qual foi o pó de carregamento utilizado no ensaio do filtro.

### **B.8 Validade dos ensaios**

Os ensaios executados de acordo com a ABNT NBR ISO 16890 devem ser realizados quando do lançamento do produto e repetidos quando houver alterações significativas do produto.

### **B.9 Posição dos filtros na instalação**

Os filtros devem ser instalados e posicionados (horizontalmente ou verticalmente) conforme a orientação do fabricante.

## **RENABRAVA 11**

**Fevereiro/2024**

### **Bibliografia**

- [1] LEI Nº 13.589, DE 4 DE JANEIRO DE 2018. Dispõe sobre a manutenção de instalações e equipamentos de sistemas de climatização de ambientes.
- [2] ABNT NBR 10004, Resíduos sólidos – Classificação
- [3] ABNT NBR 16101, Filtros para partículas em suspensão no ar – Determinação da eficiência para filtros grossos, médios e finos
- [4] ABNT NBR 16401-3, Instalações de condicionamento de ar — Sistemas centrais e unitários — Parte 3: Qualidade do ar interior
- [5] ABNT NBR ISO 16890-1, Filtros de ar para ventilação em geral  
Parte 1: Especificações técnicas, requisitos e sistema de classificação baseado na eficiência do material particulado (ePM)
- [6] ABNT NBR ISO 16890-3, Filtros de ar para ventilação em geral — Parte 3: Determinação da arrestância inicial e da resistência ao fluxo de ar versus a massa de pó de ensaio acumulada
- [7] ABNT NBR ISO 29463-1, Filtros e meios filtrantes de alta eficiência para remoção de partículas no ar –  
Parte 1: Classificação, ensaio de desempenho e identificação
- [8] BS EN 13053, *Ventilation for Buildings - Air Handling Units - Rating and Performance for Units, Components and Sections*
- [9] BS EN-15805, *Particulate Air Filters for General Ventilation - Standardised Dimensions*
- [10] EN 16798-3:2017, *Energy performance of buildings - Ventilation for buildings - Part 3: For non-residential buildings - Performance requirements for ventilation and room-conditioning systems*
- [11] EN 13779, *Ventilation for non-residential buildings - Performance requirements for ventilation and room-conditioning systems*
- [12] ISO 15957, *Test dusts for evaluating air cleaning equipment*
- [13] ISPE- 2019 *Good Practice Guide: HVAC & Process Equipment Air Filters*
- [14] RHEVA 11, *Air Filtration in HVAC Systems*
- [15] EUROVENT 4/21 - 2019, *Energy Efficiency Evaluation of Air Filters for General Ventilation Purposes*