

## COMPARAÇÃO ENTRE MÉTODOS DE DIMENSIONAMENTO DE DUTOS DE SISTEMAS DE RVAC

Mauricio Araujo Zanardi, mzanardi@feg.unesp.br<sup>1</sup>  
Rodrigo Monteiro de Oliveira<sup>1</sup>

<sup>1</sup>DEN/FEG- UNESP- Univ. Estadual Paulista, Av Ariberto P. Cunha 333, 12416-510-Guaratinguetá-SP

**Resumo:** *O dimensionamento correto de dutos de sistemas de RVAC garante um menor consumo de energia elétrica de uma instalação, além de evitar um desperdício de material e propiciar a compra de um ventilador menor. O dimensionamento de dutos envolve uma série de fatores a serem considerados: ruído, diferença de pressão no ventilador, utilização de dutos com tamanhos padronizados, balanceamento energético do sistema, etc. Estes fatores influenciam o dimensionamento e conseqüentemente os custos inicial e de operação do sistema. Ao utilizar um método de dimensionamento de dutos para um sistema de RVAC, o ideal seria determinar dimensões que equilibrassem todos esses fatores e ainda alcançar um mínimo custo de ciclo de vida. Este trabalho compara três métodos de dimensionamento de sistemas de RVAC: método da velocidade, método da igual perda de carga e método IPS (Initial duct sizing, Pressure augmentation and Size augmentation) quanto ao custo do ciclo de vida e diferença de pressão no ventilador. Os métodos foram aplicados no sistema indicado pela ASHRAE como padrão para estudos de métodos de dimensionamento de sistemas de RVAC. Por ser um método automatizado, o método IPS se mostra mais eficiente, principalmente quando aplicado a sistemas mais complexos.*

**Palavras-chave:** *dutos RVAC, dimensionamento de dutos, métodos de custo de ciclo de vida*

### 1. INTRODUÇÃO

Sistemas de RVAC (refrigeração, ventilação e ar condicionado) são comprovadamente um dos maiores consumidores de energia em construções industriais e comerciais (Tsal et al., 1988a), e conseqüentemente responsáveis por grande parte dos custos com energia.

Um dimensionamento correto dos dutos de sistemas de RVAC garante um menor consumo de energia elétrica de uma planta, além de evitar um desperdício de material e propiciar a compra de um ventilador menor (Asiedu et al., 2000). O dimensionamento de dutos envolve uma série de fatores a serem considerados: ruído, diferença de pressão no ventilador, utilização de dutos com tamanhos padronizados, balanceamento energético do sistema, etc. Estes fatores influenciam o dimensionamento e conseqüentemente os custos inicial e de operação do sistema. Ao utilizar um método de dimensionamento de dutos para um sistema de RVAC, o ideal seria determinar dimensões que equilibrassem todos esses fatores e ainda alcançar um mínimo custo de ciclo de vida.

Alguns métodos comumente usados, como método da velocidade e da igual perda de carga, preocupam-se exclusivamente em dimensionar um sistema balanceado, sendo o custo de ciclo de vida analisado posteriormente ao dimensionamento, e dificilmente possível de ser alterado. O método da velocidade é realizado impondo-se a velocidade máxima do escoamento nos trechos retilíneos do sistema, obtendo-se assim as dimensões iniciais dos dutos para cada trecho e, em seguida, através de alterações nas dimensões dos dutos, o sistema é balanceado.

No método da igual perda de carga é adotada uma perda de carga constante por unidade de comprimento em um dos caminhos do sistema e as dimensões dos dutos de todo o sistema são então determinadas. Este método é mais sofisticado que o método da velocidade, uma vez que o sistema já é balanceado durante o dimensionamento, porém ambos os métodos dependem muito da experiência e da sensibilidade do projetista na escolha do caminho crítico ou na escolha do trecho a ter suas dimensões alteradas para que se alcance um dimensionamento satisfatório, principalmente em relação a custo.

Tsal et al. (1988a, 1988b, 1990, 1998a, 1998b) desenvolveram um método de otimização de dimensionamento de dutos de sistemas de RVAC que considera o custo de ciclo de vida. Este método, denominado Método-T, em termos de custo de ciclo de vida é o mais aceito e consiste em três etapas: Condensação do sistema, Escolha do ventilador e Expansão do sistema. Na primeira etapa o sistema é reduzido a um único trecho, na segunda é determinada a diferença de pressão no ventilador e em então, na terceira, a pressão é distribuída em todo o sistema, obtendo assim as dimensões ideais de cada trecho. A aplicação deste método é entretanto, bastante trabalhosa e o que a torna menos atrativa.

Um método de otimização mais simples, baseado no Método-T, foi desenvolvido por Asiedu et al. (2000) e elimina a necessidade de condensação e expansão do sistema. Este método foi denominado método IPS e também é realizado em três etapas: dimensionamento inicial, aumento de pressão e aumento de dimensão.

Neste trabalho os métodos da velocidade, igual perda de carga e IPS são aplicados em um sistema de RVAC complexo adotado pela ASHRAE como padrão para este tipo de estudo e posteriormente são comparados quanto aos custos e diferenças de pressão no ventilador.

## 2. MÉTODOS DE DIMENSIONAMENTO

### 2.1. Método da Velocidade

Neste método, inicialmente são adotadas as velocidades em cada um dos trechos retilíneos do sistema, sendo que os trechos principais devem ter velocidades maiores. Neste artigo são adotadas as máximas velocidades para cada tipo de trecho de acordo com a norma brasileira NB-10 (1978 apud Macintyre, 1990) para prédios industriais e as dimensões dos dutos são obtidas através das seguintes equações:

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

$$d_{eq} = \sqrt{\frac{4 \cdot A}{\pi}} \quad (2)$$

sendo  $A$  a área do duto,  $v$  a velocidade adotada e  $d_{eq}$  o diâmetro equivalente do duto.

Para dutos circulares, o diâmetro é o próprio diâmetro equivalente, enquanto que dutos retangulares suas dimensões são determinadas pela Eq. (3):

$$d_{eq} = 1,3 \sqrt[8]{\frac{(H \cdot W)^5}{(H + W)^2}} \quad (3)$$

com  $H$  a altura e  $W$  a largura do duto.

Em seguida, através da Eq. (4) são determinadas as perdas de pressão em cada trecho do sistema, possibilitando determinar a diferença de pressão no ventilador.

$$\Delta p = p_{extra} + (c_d + \sum c_o) \cdot \rho \cdot \frac{v^2}{2} \quad (4)$$

na qual  $p_{extra}$  são as perdas de carga fixas, causadas por equipamentos,  $c_d$  os coeficientes de perdas distribuídas e  $c_o$  os coeficientes de perdas localizadas.

Dificilmente o sistema estará balanceado nesta etapa do dimensionamento. Para corrigir o desbalanceamento do sistema, o projetista deve procurar alterar as velocidades de escoamento em alguns trechos, alterando, conseqüentemente, suas dimensões.

### 2.2. Método da Igual Perda de Carga

Neste método, inicialmente é escolhido um caminho, desde uma das entradas do sistema de RVAC até uma das saídas, como sendo o caminho crítico. A determinação do caminho crítico depende da intuição e experiência do projetista, porém, neste estudo o método da velocidade foi utilizado como pré-dimensionador. Em seguida, adota-se uma perda de pressão constante por unidade de comprimento no caminho crítico. Para vazões entre 0,02 e 7 [m<sup>3</sup>/s] os valores ideais de projeto estão entre 0,7 e 5 [Pa/m], de acordo com a ASHRAE (2001). Através das Eqs. (5) e (6) são encontradas as perdas de pressão e as dimensões dos trechos pertencentes ao caminho crítico.

$$J = \frac{\Delta p}{L_i} \quad (5)$$

$$d_{eq} = \sqrt[4]{\frac{(c_d + \sum c_o) \cdot \rho \cdot 8 \cdot Q^2}{\pi^2 (\Delta p - p_{extra})}} \quad (6)$$

nas quais  $J$  é a perda de carga unitária,  $L_t$  é o comprimento total de tubos do trecho em estudo e  $Q$  a vazão volumétrica.

Após o dimensionamento dos trechos pertencentes ao caminho crítico é possível determinar a diferença de pressão no ventilador, e, uma vez conhecidas as pressões nas junções, são determinadas as diferenças de pressão nos ramos não pertencentes ao caminho crítico e dimensionados os dutos dos trechos pertencentes a estes ramos.

Neste método o sistema estará balanceado após o dimensionamento, porém a velocidade nos trechos deve ser verificada para que não ultrapasse a máxima permitida pelas normas. Caso isto ocorra, as dimensões dos dutos devem ser alteradas buscando diminuir as velocidades nos trechos que excedem os limites e manter o sistema balanceado.

### 2.3. Método IPS

É um método de dimensionamento otimizado que resulta num sistema balanceado, com os menores custos e menor diferença de pressão no ventilador possíveis. O processo é realizado iterativamente através de três etapas: dimensionamento inicial, aumento de pressão e aumento de dimensão; sendo as duas últimas realizadas simultaneamente.

Durante o dimensionamento inicial, as dimensões de cada trecho do sistema são calculadas iterativamente através das Eqs. (7) e (8):

$$D = \sqrt[5]{\frac{8 \cdot \rho \cdot Z \cdot Q^3 \cdot \lambda_c}{\pi^3 \cdot L}} \quad (7)$$

$$\lambda_c = 5 \cdot f \cdot \frac{L_t}{D} + 4 \cdot \Sigma c_o \quad (8)$$

com  $f$  sendo o fator de atrito de Moody e  $Z$  o fator econômico definido a na sequência.

Nesta etapa, cada trecho é dimensionado individualmente e, portanto, é assumido que as razões entre as dimensões de diferentes trechos são proporcionais às razões entre as vazões dos mesmos trechos para o cálculo dos coeficientes de perda de carga em junções e desvios.

Para dutos retangulares são usadas as Eqs. (9) e (10):

$$W = \sqrt[3]{\frac{\rho \cdot Z \cdot Q^3 \cdot \lambda_R}{2 \cdot L \cdot H^2}} \quad (9)$$

$$\lambda_R = \frac{f \cdot L}{2 \cdot H} + \frac{3 \cdot f \cdot L}{4 \cdot W} + \Sigma c_o \quad (10)$$

O fator econômico aparece no dimensionamento inicial através do termo  $Z$  presente nas Eqs. (7) e (9), é determinado por:

$$Z = \frac{(E_d + E_c \cdot T) \cdot PWEF}{1000 \cdot A_d \cdot \eta_f \cdot \eta_m} \quad (11)$$

com  $E_d$  o custo da energia requerida,  $E_c$  o custo unitário da energia elétrica,  $T$  o tempo de operação do sistema por ano, PWEF o fator de escala do valor presente,  $A_d$  a área do duto e  $\eta_f$  e  $\eta_m$  os rendimentos do ventilador e do motor respectivamente.

Uma vez que os dutos tenham sido dimensionados isoladamente durante a etapa de dimensionamento inicial, o sistema provavelmente encontra-se desbalanceado. Então, nas etapas de aumento de pressão e aumento de dimensão, que são realizadas simultaneamente, as dimensões dos dutos em alguns trechos retilíneos do sistema são alteradas, ora aumentando ora diminuindo, até que se alcance um sistema balanceado. A cada alteração são calculados o custo total, através da Eq (12), e a maior diferença de pressão no sistema, e comparados em relação aos valores anteriores. Dessa forma a dimensão de um duto só é alterada se ambos, custo total e diferença de pressão no sistema, forem reduzidos com esta alteração e, desde que a alteração não cause violação de nenhuma condição de dimensionamento do sistema.

$$E = \sum \left[ Q \cdot \Delta p \cdot \left( \frac{(E_d + E_c \cdot T)}{10^3 \cdot \eta_f \cdot \eta_m} \right) \cdot PWEF + S_d \cdot \pi \cdot L \cdot d_{eq} \right] \quad (12)$$

A seleção do duto que terá sua dimensão alterada, assim como todo o método, é realizada de forma sistemática, conforme o algoritmo desenvolvido por Asiedo et al.(2000) que será apresentado abaixo, porém antes é necessário apresentar alguns termos utilizados no método IPS e presentes no algoritmo:

*Caminho dominante:* caminho com a maior perda de pressão do sistema

*Trecho dominante:* trechos do caminho dominante.

*Densidade de ocorrência dos dutos:* definida pela Eq. (13):

$$\delta = \frac{\text{Número de caminhos com o duto em comum}}{\text{Número total de caminhos}} \quad (13)$$

O algoritmo pode então ser descrito, através de suas etapas:

#### - Dimensionamento Inicial

- 1 – Dimensionar cada duto usando as Eqs. (7) a (10);
- 2 – Calcular as perdas de carga em cada caminho;
- 3 – Se o sistema não estiver balanceado, definir o caminho com maior perda de pressão como caminho crítico e ir para etapa de aumento de pressão. Se o sistema estiver balanceado, parar o dimensionamento e escolher o ventilador.

#### - Etapa de aumento de pressão

- 1 – Identificar os trechos do caminho crítico;
- 2 – Ordenar os caminhos de acordo com a perda de carga em ordem decrescente. Não incluir o caminho crítico;
- 3 – Ordenar as seções dos dutos dos caminhos não-críticos de acordo com sua densidade, determinada pela Eq. (13), em ordem decrescente. Não incluir os dutos excluídos no passo 6;
- 4 – Selecionar o caminho no topo da lista criada no passo 2. Se não há caminho na lista, vá para o passo 9;
- 5 – Selecionar o duto do caminho selecionado no passo 4 que está mais ao topo da lista criada no passo 3. Se não houver nenhum duto na lista, retirar o caminho da lista e ir para o passo 2;
- 6 – Se o tamanho do duto não puder ser reduzido, retirar o duto da lista e ir para o passo 5. Caso contrário, reduzir o tamanho deste duto;
- 7 – Calcular as pressões nos caminhos do sistema;
- 8 – Se a alteração realizada no passo 6 resultar num dimensionamento inaceitável (violação de uma condição ou pressão maior que a permitida), desfazer a alteração, retirar o duto da lista e colocá-lo numa lista temporária. Se a maior perda de carga em um caminho for maior do que a pressão utilizada no sistema, ajustar a pressão do sistema para este valor e ir para passo 4;
- 9 – Se a distribuição de pressão é satisfatória, parar e escolher o ventilador. Se não houver mais caminhos na lista de caminhos e nenhum duto na lista temporária, ir para a etapa de Aumento de Dimensão. Ir para passo 2.

#### -Etapa de aumento de dimensão

- 1 – Ordenar os dutos do caminho crítico em ordem decrescente de acordo com a densidade do duto. Não incluir nenhum duto com densidade igual a 1;
- 2 – Escolher o duto do topo da lista criada no passo 1. Se não houver dutos, parar. Esta é a melhor configuração possível;
- 3 – Se o tamanho do duto não puder ser aumentado, retirar o duto da lista e ir para passo 2. Caso contrário, aumentar o tamanho do duto;
- 4 – Calcular as pressões nos caminhos do sistema;
- 5 – Se a alteração realizada no passo 3 resultar num dimensionamento inaceitável (violação de uma condição ou pressão maior que a permitida), desfazer a alteração, retirar o duto da lista e ir para passo 2;
- 6 – Se a distribuição de pressão do sistema é satisfatória, parar e escolher o ventilador. Senão, ir para passo 1 da etapa de Aumento de Pressão.

### 3. SISTEMA ESTUDADO

Os três métodos foram aplicados ao sistema de RVAC retirado do ASHRAE - Handbook of Fundamentals (2009). O sistema é bastante complexo, pois apresenta variados componentes com perdas de carga localizadas cujos coeficientes de perda de carga são dependentes da vazão. O sistema, apresentado na Fig. (1), é composto por 19 trechos, sendo que os seis primeiros compõem o subsistema de entrada do ventilador e os demais compõem o subsistema de saída. Todos os trechos que compõem o subsistema de dutos de saída do ventilador têm seção retangular. No subsistema de dutos de entrada apenas o trecho 4 apresenta seção retangular, enquanto os demais apresentam seção circular. Os dados gerais do sistema e os dados econômicos utilizados para os cálculos e comparações entre os métodos utilizados são apresentados na Tab. (1).

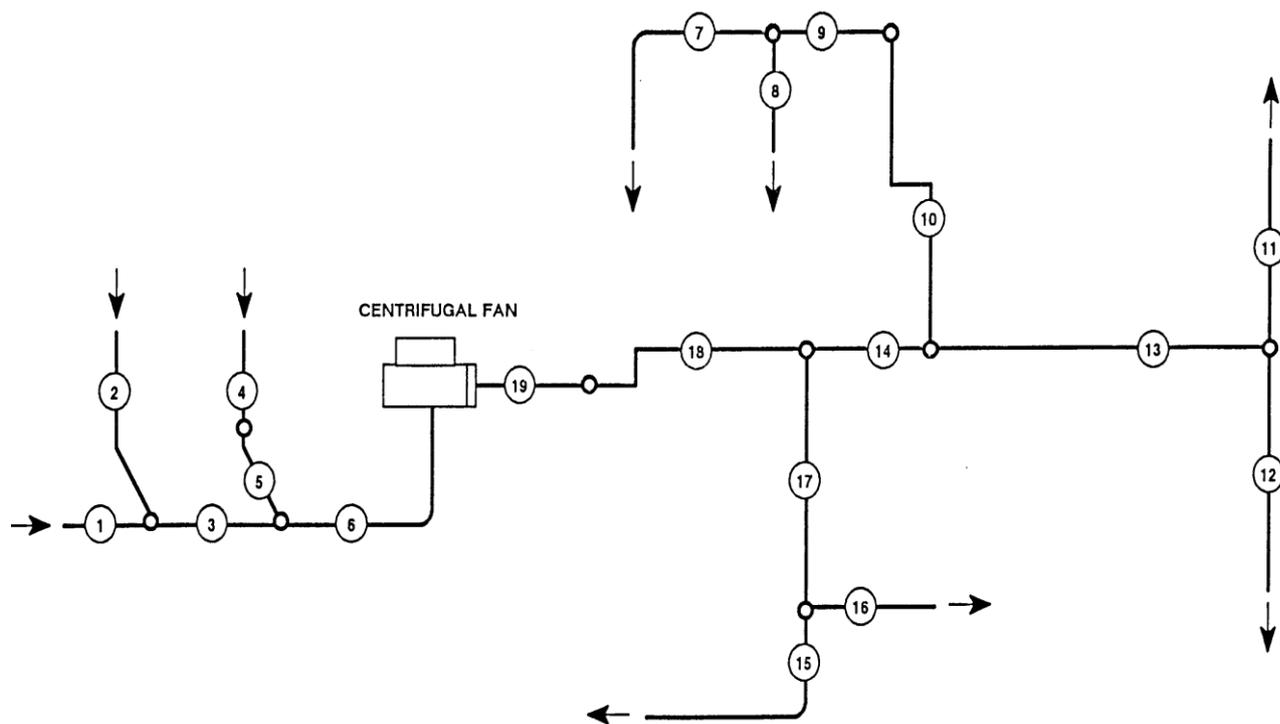


Figura 1 – Esquema do sistema de RVAC considerado

Tabela 1 – Dados gerais e econômicos do sistema de RVAC

<b>Dados Gerais</b>		
Rugosidade	0,09	mm
Densidade do Ar	1,204	kg/m <sup>3</sup>
Viscosidade Cinemática	0,0000154	m <sup>2</sup> /s
Eficiência do Ventilador	0,75	
Eficiência do Motor	0,8	
Vazão Total do Sistema	1,90	m <sup>3</sup> /s
<b>Dados Econômicos</b>		
Custo Unitário de Energia	0,06	\$/kWh
Custo do Duto	43,27	\$/m <sup>2</sup>
Tempo de Operação	4400	h/ano
PWEF	8,61	

As dimensões do duto no trecho 4 são fixadas em 0,60m x 0,60m, e as alturas dos dutos nos demais trechos retangulares (larguras nos trechos 18 e 19) são fixados conforme Tab. 2, que apresenta os dados iniciais do sistema, além de discriminar os componentes de perda de carga localizada de cada trecho retilíneo.

Tabela 2 – Dados iniciais do sistema de RVAC.

Trecho	Altura / Largura [m]	Comprimento [m]	Vazão [m <sup>3</sup> /s]	Componentes
1	-	4,6	0,7	ED1-3; CD9-1; ED5-1
2	-	18,3	0,25	ED1-1; CD6-1; CD3-7; CD9-1; ED5-1
3	-	6,1	0,95	CD9-1; ED5-2
4	0,60 x 0,60	1,5	0,95	CR9-4; ER4-3
5	-	18,3	0,95	CD3-17; CD9-1; ED5-2
6	-	9,1	1,9	CD9-3; CD3-9; ED7-2
7	0,25	4,3	0,275	CR3-3; CR9-1; SR5-13
8	0,25	1,2	0,275	SR5-13; CR9-4
9	0,25	7,6	0,55	SR3-1
10	0,25	13,7	0,55	CR9-1; CR3-9; CR3-6; SR5-1
11	0,25	3,0	0,475	CR9-1; SR2-1; SR5-14
12	0,25	6,7	0,475	CR9-1; SR2-5; SR5-14
13	0,25	10,7	0,95	CR9-1; SR5-1
14	0,25	4,6	1,5	CR9-1; SR5-13
15	0,15	12,2	0,2	CR3-1; SR2-6; CR9-1; SR5-1
16	0,15	6,1	0,2	SR2-3; CR6-1; CR9-1; SR5-1
17	0,15	4,2	0,4	CR9-1; SR5-13
18	0,80	7,0	1,9	CR6-4; SR4-1; CR3-17; CR9-6
19	0,80	3,7	1,9	SR7-17; CR9-4

Para o estudo considera-se pressão atmosférica nas entradas e saídas do sistema e adotam-se os seguintes valores de parâmetros utilizados para determinar os coeficientes de perda de carga localizada de alguns componentes:

$$n = 0,5, \text{ para CD6-1 e CR6-1;}$$

$$A_1 = 0,075[m^2], \text{ para CR6-1;}$$

$$r = 0,02[m], \text{ para ED1-3;}$$

$$t = 1[mm], \text{ para ED1-1;}$$

$$r/D_o = 1 \text{ e } L = 3[m], \text{ para ED7-2;}$$

$$r/W = 1 \text{ e } \theta = 90^\circ, \text{ para CR3-1 e CR3-3;}$$

$$\theta = 90^\circ, \text{ para CR3-6;}$$

$$L/W = 4, \text{ para CR3-17;}$$

$$\theta = 0^\circ, \text{ para CR9-1 e CD9-1;}$$

$$D = D_o, \text{ para CD9-1;}$$

$$\theta = 0^\circ \text{ e } N = 3, \text{ para CR9-4;}$$

$$\theta = 45^\circ, \text{ para ER4-3, SR2-3, SR2-5 e SR4-1;}$$

$$A_1 = 0,075[m^2], \text{ para SR2-3;}$$

$$A_1 = 0,25[m^2] \text{ para SR2-5;}$$

$$\theta = 30^\circ \text{ e } A_1 = 0,09[m^2], \text{ para SR7-17;}$$

$$L = 0,2[m], \text{ para SR2-6;}$$

$$d = 0,025[m] \text{ e } y/H = 0, \text{ para CR6-4.}$$

#### 4. RESULTADOS

Para este estudo não foram utilizadas dimensões comerciais de dutos durante as aplicações dos métodos, logo para estabelecer uma boa comparação entre os três métodos, após o dimensionamento inicial dos dutos, o balanceamento e adequação do sistema às condições de operação foram feitos alterando as dimensões dos dutos em intervalos de 50 mm a fim de estabelecer condições iguais à aplicação dos três métodos, uma vez que este foi o intervalo adotado para o método IPS que foi automatizado enquanto os outros métodos foram realizados manualmente.

Os métodos foram comparados em relação a dois aspectos: diferença de pressão no ventilador e custo total que abrange os custos iniciais (implantação) e custos de operação. Para analisar os custos a Eq. (12) foi aplicada nos métodos da velocidade e da igual perda de carga após o dimensionamento

O método IPS apresentou vantagens significativas em ambos os aspectos em relação aos métodos da velocidade e igual perda de carga. A Fig. 2 apresenta os valores de diferença de pressão no ventilador permitindo observar que o método IPS alcança redução em torno de 43% em relação ao método da velocidade. A Fig. 3 apresenta os valores de custo total, observando-se que as reduções em relação ao método IPS são entre 10 e 20%.

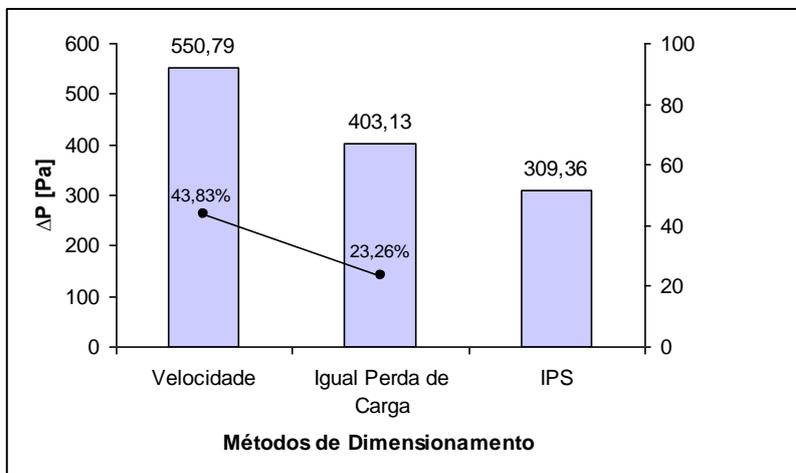


Figura 2 – Resultados obtidos em relação à diferença de pressão no ventilador.

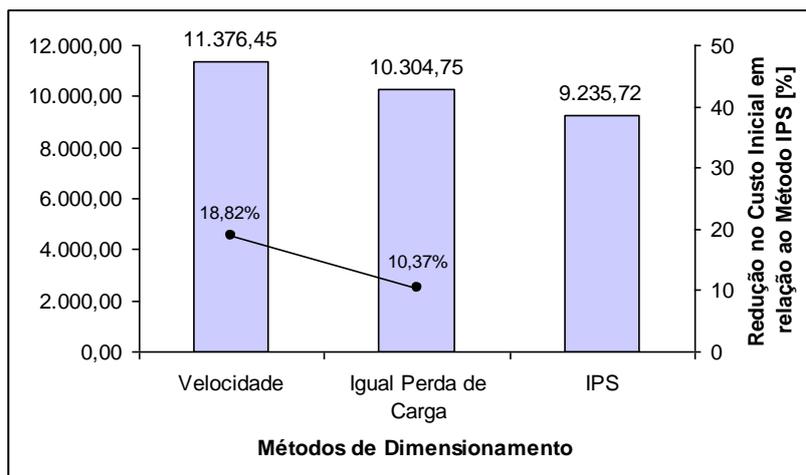


Figura 3 – Resultados obtidos em relação ao custo total.

As dimensões finais de cada trecho obtidas pelos três métodos são apresentadas na Tab. 3. O método IPS apresenta melhor desempenho principalmente no subsistema de saída devido a sua maior complexidade. Na entrada, como mostra a Fig. 4, os métodos obtêm resultados muito próximos.

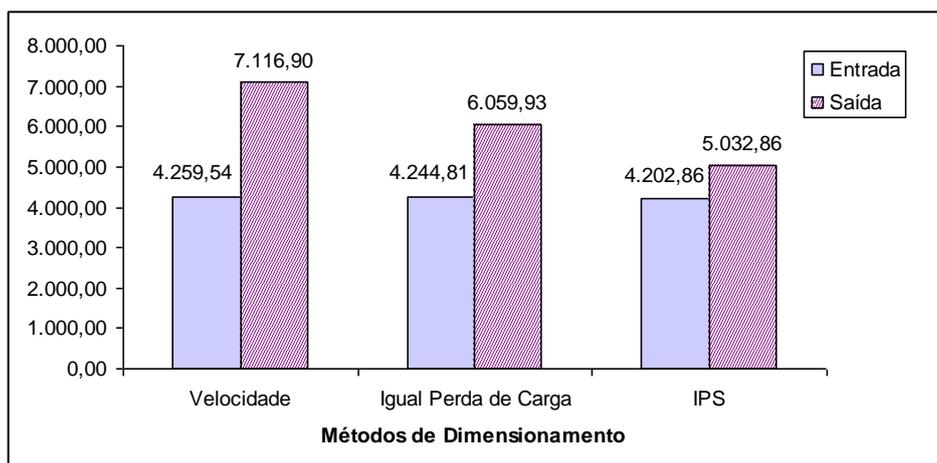


Figura 4 – Resultados obtidos pelos três métodos para os subsistemas de entrada e saída.

Tabela 3 – Dimensões finais dos dutos

Trechos	Método da Velocidade	Método da Igual Perda de Carga	Método IPS
	Dimensões das seções [m] (W x H ou D)		
01	0,34	0,40	0,40
02	0,28	0,30	0,30
03	0,45	0,46	0,47
04	0,60 x 0,60	0,60 x 0,60	0,60 x 0,60
05	0,45	0,46	0,48
06	0,63	0,63	0,68
07	0,25 x 0,13	0,25 x 0,34	0,25 x 0,26
08	0,25 x 0,10	0,25 x 0,34	0,25 x 0,29
09	0,25 x 0,34	0,25 x 0,59	0,25 x 0,56
10	0,25 x 0,49	0,25 x 0,34	0,25 x 0,60
11	0,25 x 0,30	0,25 x 0,28	0,25 x 0,44
12	0,25 x 0,30	0,25 x 0,28	0,25 x 0,44
13	0,25 x 0,36	0,25 x 0,53	0,25 x 0,58
14	0,25 x 0,57	0,25 x 0,82	0,25 x 0,99
15	0,15 x 0,21	0,15 x 0,25	0,15 x 0,28
16	0,15 x 0,16	0,15 x 0,22	0,15 x 0,26
17	0,15 x 0,29	0,15 x 0,33	0,15 x 0,46
18	0,35 x 0,80	0,48 x 0,80	0,69 x 0,80
19	0,40 x 0,80	0,42 x 0,80	0,63 x 0,80

## 5. CONCLUSÕES

O método de dimensionamento de dutos utilizado para projetar sistemas de RVAC pode contribuir para a redução do custo de operação do sistema. Métodos otimizados que levam em consideração o custo de ciclo de vida durante o dimensionamento são uma opção para se dimensionar um sistema balanceado com menor custo possível.

Neste trabalho três métodos de dimensionamento foram aplicados a um sistema de RVAC complexo a fim de comparar os resultados obtidos por um método otimizado com resultados obtidos por métodos tradicionais de tentativa e erro. Para a aplicação do método IPS foi desenvolvida uma rotina de cálculo utilizando-se uma planilha EXCEL com programação em linguagem VBS.

O método IPS apresentou melhor desempenho do que os métodos da velocidade e igual perda de carga tanto economicamente quanto em relação à energia requerida pelo ventilador para atender ao sistema.

Analisando o desempenho dos métodos nos subsistemas de entrada e saída do ventilador separadamente constata-se que quanto mais complexo o sistema maior é a vantagem na utilização do método IPS, ou seja, quanto maior o número de trechos e componentes de perdas de carga localizadas maior a dificuldade encontrada por um projetista em alcançar um balanceamento do sistema com o menor custo possível utilizando métodos sem um procedimento otimizado.

Outra vantagem do *método IPS* sobre os outros métodos estudados neste artigo é a praticidade, pois é realizado de forma sistemática e com a utilização de um computador é possível dimensionar um sistema complexo em tempos relativamente curtos.

## 6. REFERÊNCIAS

- ASHRAE, 2009, "Handbook of Fundamentals" –American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers. Atlanta, USA.
- Asiedu, Y.; Besant, R. W.; Gu, P., 2000, "A Simplified Procedure for HVAC Duct Sizing", ASHRAE Transactions, Vol. 106, pp.124-142.
- Brooks, P. J., 1995, "Duct Design Fundamentals", ASHRAE Journal, pp.69-76.
- Macintyre, A. J., 1990, "Ventilação Industrial e Controle da Poluição", 2.ed. Ed.Livros Técnicos e Científicos, Rio de Janeiro, Brasil, 403p.
- Tsal, R. J.; Behls, H. F.; Mangel, R., 1988a, "T-Method Duct Design, Part I: Optimization Theory", ASHRAE Transactions, Vol.94, p.90-111.
- Tsal, R. J.; Behls, H. F.; Mangel, R., 1988b, "T-Method Duct Design, Part II: Calculation Procedure and Economic Analysis", ASHRAE Transactions, Vol. 94, pp.112-150.
- Tsal, R. J.; Behls, H. F.; Mangel, R., 1990, "T-Method Duct Design, Part III: Simulation", ASHRAE Transactions, Vol. 96, pp. 3-31.
- Tsal, R. J.; Behls, H. F.; Varvak, L. P., 1998a, "T-Method Duct Design, Part IV: Duct Leakage Theory", ASHRAE Transactions, Vol. 104, pp.85-97.
- Tsal, R. J.; Behls, H. F.; Varvak, L. P., 1998b, "T-Method Duct Design, Part V: Duct Leakage Calculation Technique and Economics", ASHRAE Transactions, Vol. 104, pp. 98-113.

## 7. DIREITOS AUTORAIS

Os autores são os únicos responsáveis pelo conteúdo do material impresso incluído no seu trabalho.

# COMPARISON BETWEEN HVAC DUCT SIZING METHODS

Mauricio Araujo Zanardi, mzanardi@feg.unesp.br<sup>1</sup>  
Rodrigo Monteiro de Oliveira<sup>1</sup>

<sup>1</sup>DEN/FEG- UNESP- Univ. Estadual Paulista, Av Ariberto P. Cunha 333, 12416-510-Guaratinguetá-SP

**Abstract.** *The correct duct sizing of HVAC systems permits achieve systems with lower electric energy consumption and initial cost. In the duct sizing process many aspects such as noise level, energy and pressure balances and standard duct sizes must be taken into account. There are many air duct design methodologies and most of them rely on heuristics. Recently the called life-cycle cost optimization procedures are considered the best option for duct design purposes since they provide pressure balanced systems with the best initial and operation costs. In this paper three methods are compared: the velocity method, the equal friction method and the IPS method that is based on the life-cycle cost optimization. The HVAC system presented at the 2009 ASHRAE Handbook of Fundamentals is used to compare the methods.*

**Keywords:** *HVAC duct design, duct sizing, life-cycle cost optimization*

The authors are the only responsible for the printed material included in this paper.