

LUIZ FRANCISCO SCHMIDT JUNIOR

OBTENÇÃO DE EQUAÇÕES DE DESEMPENHO DE DIFUSORES DE AR

Monografia apresentada ao Departamento de Engenharia Mecânica da Escola de Engenharia da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, como parte dos requisitos para obtenção do diploma de Engenheiro Mecânico.

Orientador: Prof. Dr. Paulo Otto Beyer

Porto Alegre
2010



Universidade Federal do Rio Grande do Sul
Escola de Engenharia
Departamento de Engenharia Mecânica

OBTENÇÃO DE EQUAÇÕES DE DESEMPENHO DE DIFUSORES DE AR

LUIZ FRANCISCO SCHMIDT JUNIOR

ESTA MONOGRAFIA FOI JULGADA ADEQUADA COMO PARTE DOS REQUISITOS
PARA A OBTENÇÃO DO DIPLOMA DE
ENGENHEIRO(A) MECÂNICO(A)
APROVADA EM SUA FORMA FINAL PELA BANCA EXAMINADORA DO
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA MECÂNICA

Prof. Dr. Walter Jesus Paucar Casas
Coordenador do Curso de Engenharia Mecânica

BANCA EXAMINADORA:

Prof. Dr. Volnei Borges
UFRGS / DEMEC

Prof. Dr. Paulo Smith Schneider
UFRGS / DEMEC

Prof. Dr. Sérgio Luiz Frey
UFRGS / DEMEC

de modo especial, à minha mãe, Rosmari Therezinha Schmidt, que me incentivou e me apoiou em todos os projetos da minha vida.

AGRADECIMENTOS

Em primeiro lugar, gostaria de agradecer aos meus pais, Luiz Francisco Schmidt e Rosmari Therezinha Schmidt, que me educaram e me permitiram chegar aqui,

à minha família, que sempre confiou em mim e me apontou o caminho a seguir,

à minha namorada, Cátia, que compartilhou comigo momentos muito felizes da minha vida,

aos meus verdadeiros amigos, que foram companheiros e bons conselhos me deram,

ao meu orientador, professor Paulo Otto Beyer, que me auxiliou no desenvolvimento deste trabalho,

aos meus colegas de curso, que com suas contribuições, fizeram o aprendizado adquirido na Escola de Engenharia ser ainda mais completo,

e à Deus, pela proteção, coragem e sabedoria que me dá para enfrentar a vida.

“Tenho a impressão de ter sido
uma criança brincando à beira-mar,
divertindo-me em descobrir uma
pedrinha mais lisa ou uma concha
mais bonita que as outras,
enquanto o imenso oceano da
verdade continua misterioso diante
de meus olhos.”

Isaac Newton

SCHMIDT, L. F. J. **Obtenção de Equações de Desempenho de Difusores de Ar.** 2010. 28f. Monografia (Trabalho de Conclusão de Curso de Engenharia Mecânica) – Departamento de Engenharia Mecânica, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2010.

RESUMO

O presente trabalho procura encontrar equações representativas do desempenho de difusores. Essencial nos sistemas de distribuição de ar-condicionado, os difusores atualmente são selecionados por intermédio de gráficos de desempenho. Pelo método dos mínimos quadrados, foram ajustadas equações que descreveram o comportamento destes gráficos. Os resultados obtidos atingiram o objetivo, demonstrando que as equações e os gráficos apresentavam valores semelhantes para determinadas situações.

PALAVRAS-CHAVE: ar-condicionado, difusor de ar, ajuste de curvas, mínimos quadrados, equação de desempenho.

SCHMIDT, L. F. J. **Obtaining Performance Equations of Air Diffusers**. 2010. 28f. Monografia (Trabalho de Conclusão de Curso de Engenharia Mecânica) – Departamento de Engenharia Mecânica, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2010.

ABSTRACT

This study attempts to find equations representing the performance of diffusers. Essential in distribution systems of air-conditioning, currently are selected through performance graphs. By the method of least squares, were fitted equations that described the behavior of these graphs. The results achieved the objective, demonstrating that the equations and graphs presented similar values for given requests.

KEYWORDS: air-conditioning, air diffuser, curve fitting, least squares, performance equation.

SUMÁRIO

ABSTRACT.....	6
1. INTRODUÇÃO.....	8
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	9
2.1.MÉTODO DOS MÍNIMOS QUADRADOS.....	9
2.2. EQUAÇÕES DE REGRESSÃO, COEFICIENTE DE DETERMINAÇÃO E RESÍDUOS.....	10
3.MÉTODO DE ANÁLISE.....	13
4.AJUSTE POR MÍNIMOS QUADRADOS PARA AS FUNÇÕES V(L).....	14
4.1.AJUSTE LINEAR.....	15
4.2.AJUSTE LOGARÍTMICO.....	16
4.3.AJUSTE POR POTÊNCIA.....	17
4.4.AJUSTE POLINOMIAL.....	18
5.AJUSTE POR MÍNIMOS QUADRADOS PARA AS FUNÇÕES $\Delta P_t(V)$	19
6.RESULTADOS.....	20
6.1.FUNÇÕES V(L).....	20
6.2. FUNÇÕES $\Delta P_t(V)$	21
7. CONCLUSÃO.....	22
8. BIBLIOGRAFIA CONSULTADA.....	23
APÊNDICES	
APÊNDICE A.....	24
ANEXOS	
ANEXO A.....	27

1.INTRODUÇÃO

Em projetos de climatização, geralmente é necessário selecionar difusores para o insuflamento do ar tratado no ambiente. Uma das formas de realizar a seleção é através da interpretação de gráficos, disponibilizados pelos fabricantes. Esta maneira é muito adotada no Brasil e exige que alguns cuidados sejam tomados. Frequentemente se faz necessário o uso de calculadora e régua graduada no processo. Devido a isso, erros de leitura podem acontecer nas interpolações entre os valores apresentados nos gráficos e os valores de projeto. São exigidas pericia e paciência do projetista para uma correta seleção.

Este trabalho tem por objetivo encontrar as equações que descrevem estes gráficos de desempenho. Sendo possível selecionar difusores por um meio computacional, que utilize estas equações, os erros estariam controlados e o tempo envolvido no processo reduziria. Para isso, serão utilizadas curvas de desempenho de difusores fornecidas por laboratórios de testes especializados. O resultado esperado é poder, através das equações obtidas, selecionar difusores de uma forma mais prática e eficiente.

Atualmente a concorrência entre empresas de projeto de sistemas de climatização é muito forte no Brasil. Os contratantes a cada dia que passa exigem prazos mais curtos para a entrega dos projetos. Antigas formas de solucionar os problemas de engenharia, tais como cálculos complexos, análises de gráficos e simulações estão perdendo lugar. Há pouco prazo para que estes métodos sejam utilizados. Para se realizar um projeto de climatização adequado, é necessária uma grande quantidade de informações a respeito do ambiente a ser climatizado. Abaixo segue um organograma simplificado de um projeto de climatização:

1.Características do Ambiente

- 1.1.Localização e orientação solar.
- 1.2.Número de pessoas e tipo de atividade física.
- 1.3.Equipamentos elétricos, iluminação, outros.
- 1.4.Paredes.
- 1.5.Janelas.
- 1.6.Portas.
- 1.7.Teto.
- 1.8.Piso.
- 1.9.Áreas adjacentes.
- 1.10.Infiltrações.

2.Carga Térmica

- 2.1.Potência total necessária.
- 2.2.Vazão de ar total necessária.
- 2.3.Vazão de ar exterior necessária.

3.Distribuição do ar tratado

- 3.1.Dimensionamento de dutos.
- 3.2.Seleção de difusores.

Como se pode observar, mesmo neste modelo simplificado de projeto, existem muitas etapas que exigem maior tempo para serem concluídas. A etapa 3.2 é a que trata da seleção dos difusores de ar. Nela são escolhidos pelas características de cada ambiente um tipo de difusor. O tempo investido nesta etapa poderia ser muito menor, caso fosse possível selecionar difusores através de equações de desempenho. Estas equações foram encontradas neste trabalho, através do método de mínimos quadrados.

2.REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Neste trabalho foi utilizado o método dos mínimos quadrados para determinação de equações de desempenho de difusores de ar. O item 2.1 deste capítulo comenta brevemente o método e o item 2.2 apresenta as considerações matemáticas necessárias para o seu emprego.

2.1.MÉTODO DOS MÍNIMOS QUADRADOS

Em 1809, Carl Friedrich Gauss (1777-1855) publicou um artigo no Werke, 4, 1-93, demonstrando que a melhor maneira de determinar um parâmetro desconhecido de uma equação de condições é minimizando a soma dos quadrados dos resíduos, mais tarde chamado de Mínimos Quadrados por Adrien-Marie Legendre (1752-1833). O Método dos Mínimos Quadrados é uma técnica geral, que se aplica para determinar os parâmetros de uma relação funcional entre duas ou mais grandezas de um fenômeno ou o valor mais provável de uma única grandeza medida várias vezes. A única exigência do método consiste em que os erros que afetam as medições sejam aleatórios.

Este método criado por Gauss possui algumas vantagens em relação ao ajustamento visual, são elas:

Método dos Mínimos Quadrados

1. Independe de quem analisa.
2. A incerteza dos dados é ponderada.
3. É o ajuste que mais se aproxima dos valores medidos.

Método de ajuste visual

1. Depende de quem analisa.
2. É difícil ponderar dados com incertezas diferentes.
3. Não é otimizado.

Tendo em atenção os dados experimentais apresentados na Figura 2.1.1, a relação funcional apresentada é do tipo linear, e o bom senso aconselha que se trace uma reta que minimize a soma dos desvios absolutos à reta traçada. Contudo, analiticamente minimizar a soma dos módulos dos desvios é mais complicado que a soma dos quadrados dos desvios, o que faz o método dos mínimos quadrados optar pela segunda maneira.

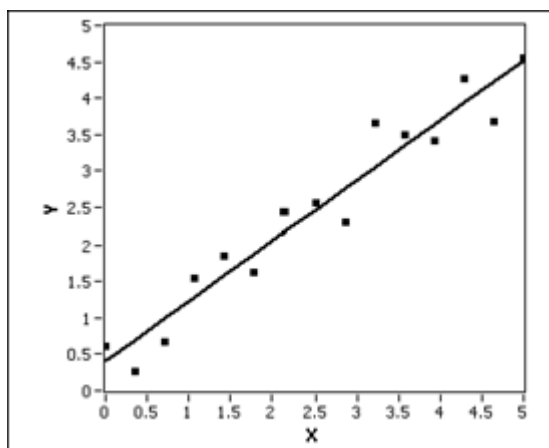


Figura 2.1 - Diagrama de dispersão de pontos de uma medição qualquer. A representação dos pontos no plano cartesiano sugere um ajuste de curva do tipo linear.

2.2.EQUAÇÕES DE REGRESSÃO, COEFICIENTE DE DETERMINAÇÃO E RESÍDUOS

O Método dos Mínimos Quadrados pode ser utilizado para determinar vários tipos de equações de ajuste. Para cada caso, uma dedução matemática específica é utilizada. Nas próximas linhas, será demonstrada a dedução do método para o ajuste linear.

O modelo mais simples que relaciona duas variáveis x e y é dado por:

$$y = \beta_0 + \beta_1 x \quad (2.1)$$

que é a equação de uma reta. β_0 e β_1 são os parâmetros do modelo matemático.

Considerando o diagrama de dispersão da figura 2.1 e uma reta arbitrária, desenhada no diagrama, chama-se:

x_i : valor da variável explicativa ou independente,

y_i : valor da variável resposta ou dependente,

\hat{y}_i : imagem de x_i , valor predito.

A diferença entre y_i e \hat{y}_i , isto é, $d_i = y_i - \hat{y}_i$ chama-se desvio e é a distância vertical do ponto à linha reta. Se consideramos a soma dos quadrados dos desvios anteriores,

$$\sum_{i=1}^n d_i^2 \quad (2.2)$$

obtemos uma medida do desvio total dos pontos observados à reta estimada.

A medida anterior depende da reta considerada, ou seja depende de β_0 e β_1 . Assim, podemos escrever:

$$D(\beta_0, \beta_1) = \sum_{i=1}^n d_i^2 = \sum_{i=1}^n (y_i - \hat{y}_i)^2 \quad (2.3)$$

ou ainda,

$$D(\beta_0, \beta_1) = \sum_{i=1}^n d_i^2 = \sum_{i=1}^n (y_i - (\beta_0 + \beta_1 x_i))^2 \quad (2.4)$$

Pretende-se encontrar os valores de β_0 e β_1 que minimizem $D(\beta_0, \beta_1)$, ou seja, o valor mínimo de $D(\beta_0, \beta_1)$.

Um modo de estimar os valores de $D(\beta_0, \beta_1)$ em relação a β_0 e β_1 é resolver as equações homogêneas.

É necessário resolver:

$$D(\beta_0, \beta_1) = \sum_{i=1}^n d_i^2 = \sum_{i=1}^n (y_i - \beta_0 - \beta_1 x_i)^2 \quad (2.5)$$

e

$$\frac{\partial D(\beta_0, \beta_1)}{\partial \beta_0} = \sum_{i=1}^n -2(y_i - \beta_0 - \beta_1 x_i) \quad (2.6)$$

$$\frac{\partial D(\beta_0, \beta_1)}{\partial \beta_1} = \sum_{i=1}^n -2x_i(y_i - \beta_0 - \beta_1 x_i) \quad (2.7)$$

Os valores de b_0 e b_1 para os quais a função $D(\beta_0, \beta_1)$ apresenta um valor mínimo são obtidos igualando as equações anteriores a zero, ou seja, resolvendo as equações homogêneas. Assim,

$$\left\{ \begin{array}{l} -2 \sum_{i=1}^n (y_i - \beta_0 - \beta_1 x_i) = 0 \\ -2 \sum_{i=1}^n (y_i x_i - \beta_0 x_i - \beta_1 x_i^2) = 0 \end{array} \right. \quad \text{Sistema 01}$$

$$\left\{ \begin{array}{l} \sum_{i=1}^n y_i - n b_0 - b_1 \sum_{i=1}^n x_i = 0 \\ \sum_{i=1}^n y_i x_i - b_0 \sum_{i=1}^n x_i - b_1 \sum_{i=1}^n x_i^2 = 0 \end{array} \right.$$

$$\left\{ \begin{array}{l} b_0 = \frac{\sum_{i=1}^n y_i - b_1 \sum_{i=1}^n x_i}{n} \\ -b_1 \sum_{i=1}^n x_i^2 - \frac{\sum_{i=1}^n x_i \sum_{i=1}^n y_i - b_1 \sum_{i=1}^n x_i \sum_{i=1}^n x_i}{n} = - \sum_{i=1}^n x_i y_i \end{array} \right.$$

portanto,

$$b_0 = \frac{\sum_{i=1}^n y_i - b_1 \sum_{i=1}^n x_i}{n} \quad (2.8)$$

$$b_1 = \frac{n \sum_{i=1}^n x_i y_i - \sum_{i=1}^n x_i \sum_{i=1}^n y_i}{n \sum_{i=1}^n x_i^2 - (\sum_{i=1}^n x_i)^2} \quad (2.9)$$

ou

$$b_0 = \bar{y} - b_1 \bar{x} \quad (2.10)$$

$$b_1 = \frac{n \sum_{i=1}^n x_i y_i - n^2 \bar{x} \bar{y}}{n \sum_{i=1}^n x_i^2 - n^2 \bar{x}^2} \quad (2.11)$$

são as soluções do Sistema 1, e além disso, os valores de β_0 e β_1 os que minimizam $D(\beta_0, \beta_1)$.

Este é o Método dos Mínimos Quadrados, aquele que minimiza uma função quadrática. A melhor reta, no sentido dos mínimos quadrados, que se ajusta aos dados do diagrama de dispersão de pontos é dada por:

$$y = b_0 - b_1x \quad (2.12)$$

Um modo de avaliar a qualidade do ajuste linear obtido é através do cálculo do coeficiente de determinação, que é dado por:

$$R^2 = \frac{\left(\sum_{i=1}^n x_i y_i - \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i \sum_{i=1}^n y_i\right)^2}{\left(\sum_{i=1}^n x_i^2 - \frac{1}{n} \left(\sum_{i=1}^n x_i\right)^2\right) \left(\sum_{i=1}^n y_i^2 - \frac{1}{n} \left(\sum_{i=1}^n y_i\right)^2\right)} \quad (2.13)$$

onde R^2 assume valores entre 0 e 1, da seguinte forma:

$$0 < R^2 < 1$$

Quanto mais próximo da unidade é o valor de R^2 , mais alta é a qualidade do ajuste realizado.

Uma outra maneira de verificar a adequação do modelo é comparar cada valor observado y_i com o respectivo valor previsto pelo modelo \hat{y}_i , isto é, os resíduos:

$$r_i = y_i - \hat{y}_i \quad (2.14)$$

onde \hat{y}_i é dado pela equação:

$$\hat{y} = b_0 - b_1x \quad (2.15)$$

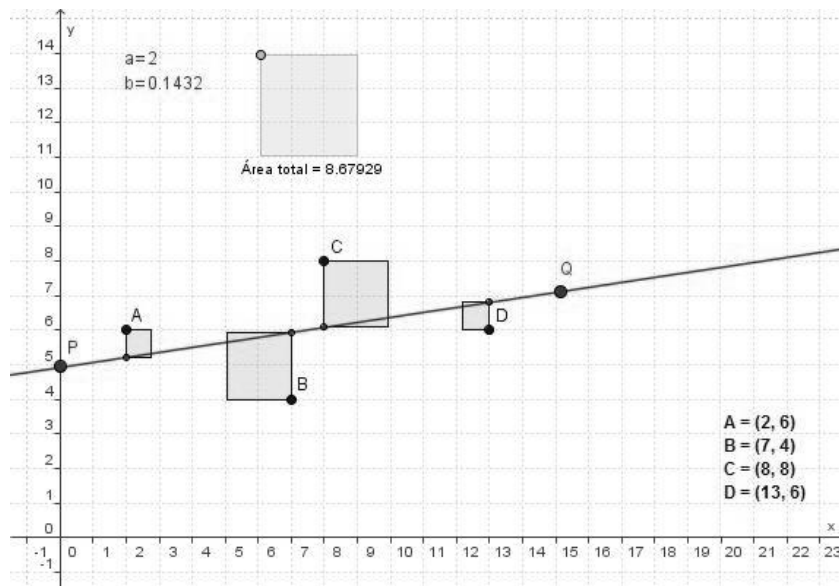


Figura 2.2 - Diagrama de dispersão de pontos. [A,B,C,D] são os resultados de uma medição. A reta traçada entre eles é a reta calculada pelo ajuste de mínimos quadrados. A área total representa a soma dos desvios pontuais entre o valor de $y(x)$ da reta de ajuste e a medição, elevados ao quadrado.

3.MÉTODO DE ANÁLISE

Este estudo foi realizado baseando-se em gráficos de desempenho de difusores como os representados nas figuras AN.2 e AN.3 do anexo A. Foram avaliados 6 tamanhos de difusores diferentes, todos do modelo A. As medidas destes difusores e as suas principais características encontram-se no mesmo anexo.

O método convencional de seleção de difusores segue as seguintes etapas:

- Determina-se a distância do eixo do difusor até o ponto mais afastado do mesmo, encontrando L , onde $L = A + B$ (ver figura 3.1);
- Seleciona-se a velocidade terminal do ar, V_L ;
- Traça-se uma reta até interceptar o tamanho de algum difusor convencional, que possua vazão próxima a vazão de projeto, obtida no cálculo da carga térmica.

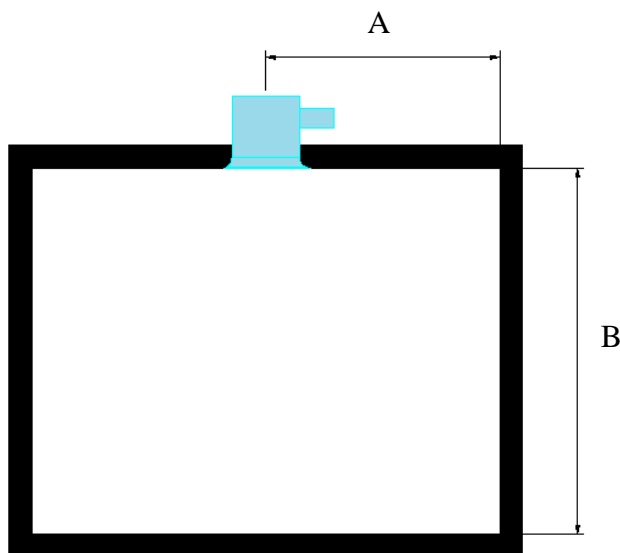


Figura 3.1: Determinação do valor de L para um ambiente (vista em corte).

Como pode-se perceber, a escolha de um difusor apropriado se dá por um processo iterativo, que necessita de régua graduada, habilidade do projetista, interpolações, cálculos e um pouco de paciência. Esta etapa geralmente se realiza sem maiores cuidados do operador, o que evidencia erros grosseiros. Uma forma de evitar muitos destes problemas é utilizando equações que descrevem o comportamento destes difusores, quanto ao seu desempenho.

Neste trabalho foram encontradas tais equações, utilizando o programa Microsoft Office Excel 2007, que ajustou curvas para os dados levantados nos gráficos. Foi levado em consideração a experiência de profissionais projetistas de sistemas de ar-condicionado, que indicaram alguns dos tipos de difusores mais usados no Brasil. Tendo posse desta informação, procurou-se então catálogos técnicos destes dispositivos, que traziam consigo as informações necessárias para o objeto deste estudo.

Assim como exige o processo de seleção convencional, foram utilizados uma régua graduada em milímetros de boa qualidade, uma calculadora e gráficos de desempenho de difusores, ampliados. Esta medida foi tomada a fim de minimizar erros de paralaxe que porventura acontecessem.

Para cada tamanho de difusor e velocidade terminal V_L (ver figura AN.2 do anexo A), foram encontrados pares do tipo (L_i, V_i) . Estes foram utilizados para traçar gráficos de

dispersão de pontos, como sugere o método dos mínimos quadrados. Um exemplo deste gráfico pode ser visualizado abaixo, na figura 3.2.

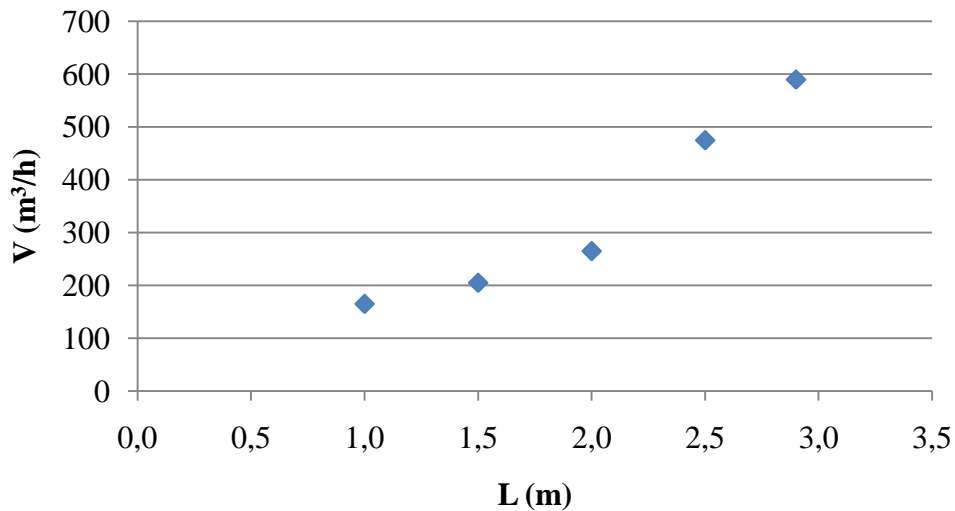


Figura 3.2: Diagrama de dispersão de pontos para difusor circular, tamanho 3 com $V_L = 0,3$ m/s.

A primeira impressão da plotagem dos pontos sobre uma região devidamente graduada é que estes seguem uma linha reta. Porém, não é esse o comportamento dos dados, como será visto adiante.

Com os gráficos encontrados, iniciou-se o método de ajuste por mínimos quadrados. Para tal, foram utilizadas curvas de aproximação dos tipos linear, logarítmica, por potência e polinomial. Foram avaliadas duas funções em relação aos difusores, uma que descrevia a relação entre alcance do jato de ar, velocidade do jato e vazão e outra que vinculava a perda de carga em função da vazão do difusor.

As funções $V(L)$ foram determinadas para os máximos intervalos de operação, para cada tamanho de difusor. Foram calculadas equações distintas para diferentes valores de velocidade terminal, V_L .

Algumas variáveis utilizadas neste trabalho são as seguintes:

V : é a vazão de ar do difusor, em m^3/h .

V_L : é a velocidade terminal do jato de ar, na posição L , em m/s.

L : é o alcance do jato de ar, em m, a uma velocidade terminal V_L .

ΔP_f : é a perda de carga do ar que passa pelo difusor, em Pa.

Com os ajustes realizados para as diferentes condições de operação, foram então avaliadas a qualidade das respostas obtidas. Calculou-se o valor de R^2 , o resíduo e o desvio percentual de cada resposta. À partir da página seguinte, podem ser observados todos os ajustes realizados. Eles são apresentados individualmente para que possam ser comparados entre si pelo leitor.

4.AJUSTE POR MÍNIMOS QUADRADOS PARA AS FUNÇÕES $V(L)$

Foram realizadas várias tentativas até se obter as equações que melhor descreviam o desempenho dos difusores. Neste capítulo serão apresentadas as equações de ajuste utilizadas e os resultados obtidos. Utilizou-se equações do tipo linear, logarítmico, por potência de x e polinomial, como será visto nas próximas páginas.

4.1.AJUSTE LINEAR

A primeira curva de ajuste escolhida para descrever o comportamento da figura AN.2 do anexo A foi do tipo linear, $y = ax + b$. Uma reta foi traçada entre pontos lidos diretamente sobre o gráfico para o difusor modelo A tamanho 3. A tabela 4.1 apresenta os resultados.

Tabela 4.1 – Valores lidos nos gráficos, curva de ajuste e resultados

TAM.	V_{L_i}	L_i	V_i	EQUAÇÃO (AJUSTE LINEAR)	R^2	RESÍDUO	DESVIO
	(m/s)	(m)	(m ³ /h)			$r_i = V_{calc} - V_i$	%
3	0,3	1,0	165	$V = 231,8L - 118,97$	0,9173	-52,2	-31,6
	0,3	1,5	205			23,7	11,6
	0,3	2,0	265			79,6	30,0
	0,3	2,5	475			-14,5	-3,0
	0,3	2,9	590			-36,7	-6,2

Foi então traçado um gráfico de dispersão de pontos a fim de visualizar o comportamento da vazão de ar em relação ao alcance do jato de ar, para a velocidade terminal de 0,3 m/s. O gráfico é apresentado logo abaixo.

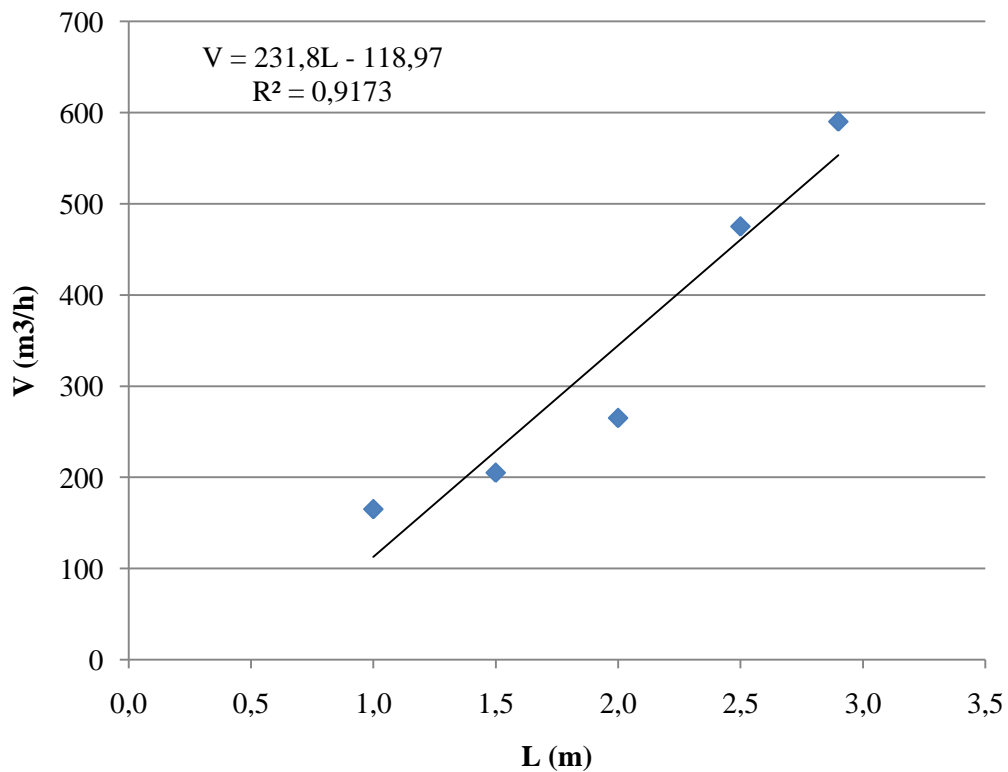


Figura 4.1 – Diagrama de dispersão com os pontos (L_i, V_i) lidos na figura AN.2 do anexo A e a curva de ajuste do tipo linear. Valores plotados referentes ao difusor de ar tamanho 3 com $V_L = 0,3$ m/s.

Logo se percebe pelos resultados que este não é um ajuste apropriado. A equação encontrada leva a um erro que chegou a 31,6% em relação ao valor obtido diretamente na figura AN.2. Outra curva de ajuste será utilizada adiante.

4.2.AJUSTE LOGARÍTMICO

Neste ajuste, foi calculada uma curva do tipo $y = a \ln(x) + b$. Poderia-se inicialmente imaginar pela visualização da figura AN.2 que o comportamento da vazão em relação ao alcance do jato de ar fosse uma curva deste tipo. Os resultados desta aproximação estão na tabela abaixo.

Tabela 4.2 – Valores lidos nos gráficos, curva de ajuste e resultados

TAM.	V_L	L_i	V_i	EQUAÇÃO (AJUSTE LOGARÍTMICO)	R^2	RESÍDUO	DESVIO %
	(m/s)	(m)	(m ³ /h)			$r_i = V_{calc} - V_i$	
3	0,3	1,0	165	$V = 392,59 \ln(L) + 98,196$	0,8222	-66,8	-40,5
	0,3	1,5	205			52,4	25,6
	0,3	2,0	265			105,3	39,7
	0,3	2,5	475			-17,1	-3,6
	0,3	2,9	590			-73,8	-12,5

Plotando os pontos lidos e a curva de ajuste encontrada, pode-se visualizar o diagrama que segue:

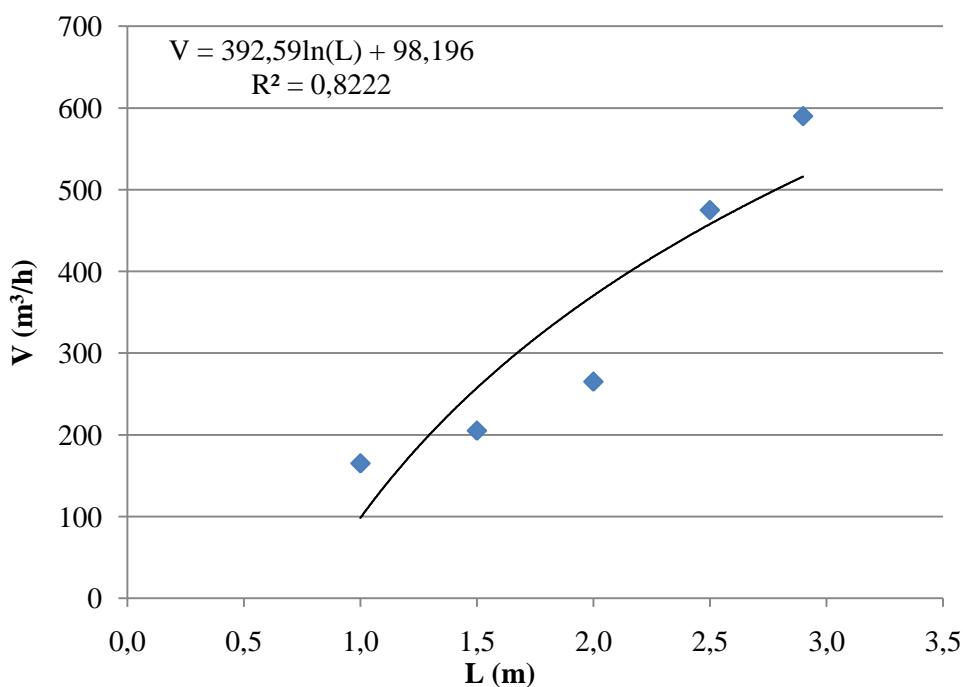


Figura 4.2 – Diagrama de dispersão com os pontos (L_i, V_i) lidos na figura AN.2 do anexo A e a curva de ajuste do tipo logarítmico. Valores plotados referentes ao difusor de ar tamanho 3 com $V_L = 0,3$ m/s.

Com a curva de ajuste encontrada, não é possível atingir o objetivo deste estudo, já que tanto os desvios percentuais em relação ao valor correto quanto os resíduos encontrados são de magnitudes não toleráveis. O problema continua sendo o inicial, ou seja, encontrar uma curva de comportamento aproximado ao comportamento das curvas $V(L)$ da figura AN.2. Uma nova tentativa de aproximação é feita em seguida.

4.3. AJUSTE POR POTÊNCIA

Desta vez, tentou-se encontrar uma curva do tipo $y = a x^b$ onde “a” e “b” são desconhecidos. Foi seguida a mesma metodologia anterior, ou seja, para o modelo de difusor A com velocidade terminal do jato de ar igual a 0,3 m/s, cinco pontos (L_i, V_i) foram determinados. Os pontos e o resultado do ajuste estão abaixo.

Tabela 4.3 – Valores lidos nos gráficos, curva de ajuste e resultados.

TAM.	V_{L_i}	L_i	V_i	EQUAÇÃO (AJUSTE POR POTÊNCIA)	R^2	RESÍDUO	DESVIO %
	(m/s)	(m)	(m ³ /h)			$r_i = V_{calc} - V_i$	
3	0,3	1,0	165	$V = 142,4 \cdot L^{1,2206}$	0,9059	-22,6	-13,7
	0,3	1,5	205			28,6	13,9
	0,3	2,0	265			66,8	25,2
	0,3	2,5	475			-39,2	-8,3
	0,3	2,9	590			-67,7	-11,5

Novamente, estes pontos foram plotados com a curva de ajuste em um gráfico, como pode ser visto em seguida.

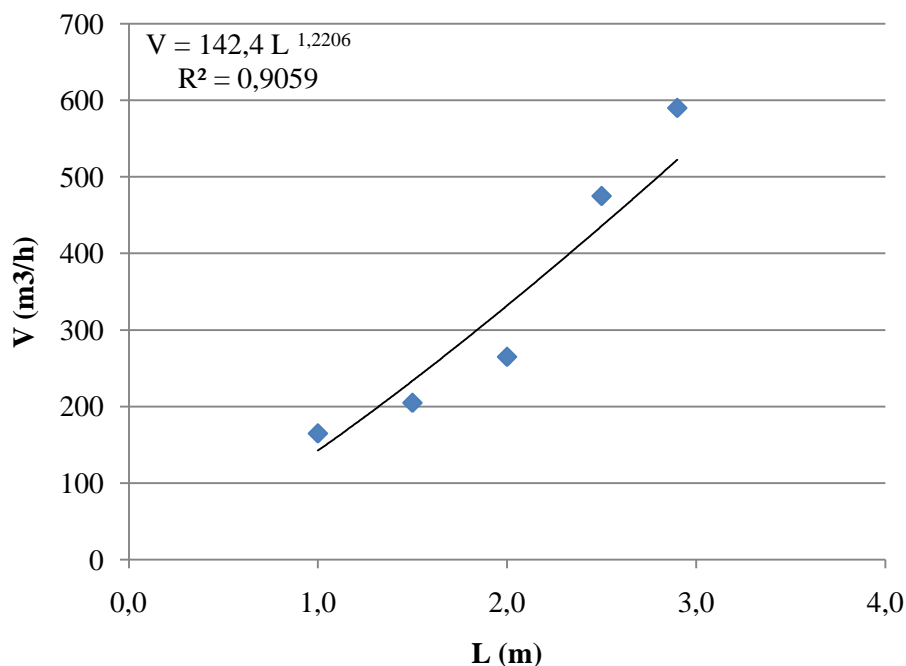


Figura 4.3 – Diagrama de dispersão com os pontos (L_i, V_i) lidos na figura AN.2 do anexo A e a curva de ajuste do tipo potência de L. Valores plotados referentes ao difusor de ar tamanho 3 com $V_L = 0,3$ m/s.

Desta vez, foi encontrada uma equação que se aproximou satisfatoriamente da curva original $V(L)$ da figura AN.2. Com $R^2 = 0,9059$ e $|r_i|$ máximo de 67,7 m³/h, o desvio da resposta obtido pelo uso da equação de ajuste é de no máximo 25,2%, segundo as medições realizadas. A grande vantagem desta equação é a sua simplicidade, pois apenas dois valores necessitam ser determinados pelo método de mínimos quadrados.

Esta resposta, apesar de ser razoavelmente satisfatória, pode ser ainda mais precisa, se for utilizada uma equação do tipo polinomial para o ajuste, como será visto a seguir.

4.4. AJUSTE POLINOMIAL

Nesta tentativa de determinar o comportamento das funções $V(L)$, utilizou-se um polinômio de 4º grau, do tipo $y = a_4x^4 + a_3x^3 + a_2x^2 + a_1x^1 + a_0$. Os resultados foram obtidos partindo-se dos mesmos pontos medidos para as aproximações anteriores (linear, logarítmica e potência) para que a comparação entre os métodos fosse possível. Os resultados do ajuste por mínimos quadrados se apresentam abaixo.

Tabela 4.4 – Valores lidos nos gráficos, curva de ajuste e resultados.

TAM.	V_{L_i}	L_i	V_i	EQUAÇÃO (AJUSTE POLINOMIAL)	R^2	RESÍDUO	DESVIO
	(m/s)	(m)	(m ³ /h)			$r_i = V_{\text{calc}} - V_i$	%
3	0,3	1,0	165	$V = -259,36L^4 + 1988,8L^3 - 5343,6L^2 + 6099,3L - 2320,2$	1	-0,1	0,0
	0,3	1,5	205			-0,2	-0,1
	0,3	2,0	265			-0,4	-0,1
	0,3	2,5	475			-0,7	-0,1
	0,3	2,9	590			-1,1	-0,2

Da mesma forma que foi feito anteriormente, plotou-se um diagrama de dispersão de pontos e a equação resultante do ajuste, a seguir representados.

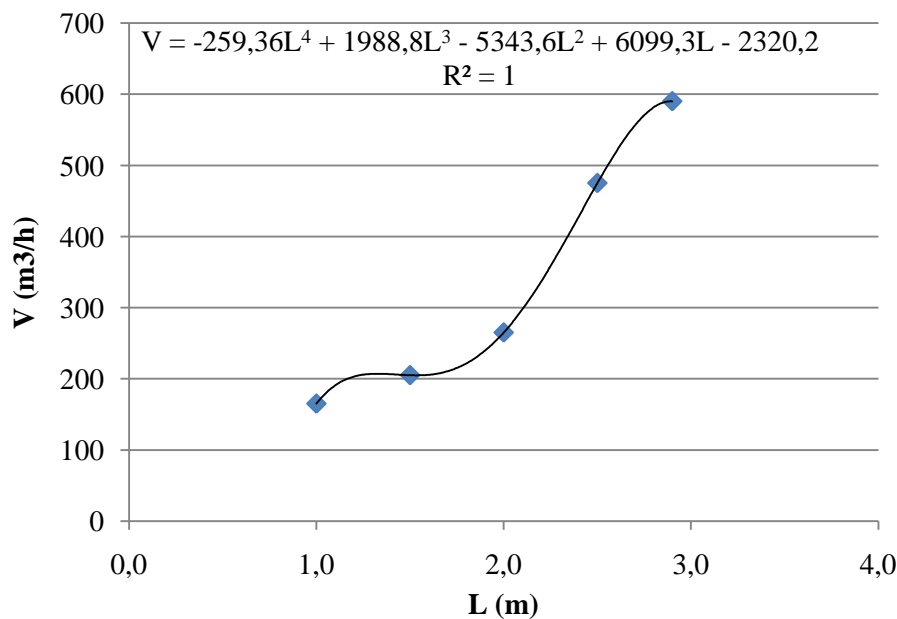


Figura 4.4 – Diagrama de dispersão com os pontos (L_i, V_i) lidos na figura AN.2 do anexo A e a curva de ajuste do tipo polinômio de 4º grau. Valores plotados referentes ao difusor de ar tamanho 3 com $V_L = 0,3$ m/s.

Desta vez, os resultados do ajuste foram muito bons. Atingiu-se um valor de $R^2 = 1$ e o maior resíduo encontrado utilizando-se a equação polinomial foi de $-1,1$ m³/h, um valor considerado insignificante para esta aplicação.

Agora sabe-se qual é a melhor das equações vistas em termos de precisão para descrever o fenômeno estudado. É então utilizada a função polinomial de quarto grau para o ajuste de todas as outras curvas $V(L)$ da figura AN.2. Estas equações estão dispostas de forma organizada no capítulo 6. Resultados.

5. AJUSTE POR MÍNIMOS QUADRADOS PARA AS FUNÇÕES $\Delta P_t(V)$

Encontradas as equações fundamentais deste estudo, que são as que relacionam vazão do difusor e alcance do jato de ar, inicia-se a busca pelas equações que determinam a perda de carga. Foi convenientemente escolhido o parâmetro vazão de ar para ser a variável independente. Desta forma, será possível comparar os gráficos traçados pelas curvas de ajuste com os gráficos originais, do Anexo A.

Realizados testes com diferentes equações de ajuste, fica evidenciado pelos resultados de desvio que a curva que melhor descreve o fenômeno é do tipo potência de V, onde V é a vazão do difusor.

Realizados os cálculos do método de mínimos quadrados com os pontos levantados, determina-se o conjunto de equações $\Delta P_t(V)$ para os diferentes tamanhos de difusor. Também um estudo da qualidade do ajuste é efetuado, encontrando os valores de resíduo e do desvio percentual para cada ponto retirado do gráfico original. Na tabela a seguir, estão representados todos estes valores.

Tabela 5.1 – Valores lidos nos gráficos, curvas de ajuste e resultados.

TAM.	V (m ³ /h)	ΔP_t (Pa)	EQUAÇÃO (AJUSTE POR POTÊNCIA)	R ²	RESÍDUO	DESVIO
					$r_i = V_{\text{calc}} - V_i$	%
3	100	8,5	$\Delta P_t = 0,0107V^{1,4501}$	0,9999	0,0	0,0
	220	27,0			-0,3	-1,2
	340	50,0			0,2	0,3
4	125	6,0	$\Delta P_t = 0,0055V^{1,449}$	1,0000	0,0	0,1
	330	24,5			0,0	0,1
	540	50,0			0,1	0,1
5	180	6,0	$\Delta P_t = 0,0047V^{1,3782}$	0,9998	0,0	0,5
	500	24,0			0,7	2,7
	835	50,0			0,0	0,0
6	235	6,0	$\Delta P_t = 0,0033V^{1,3749}$	1,0000	0,0	0,1
	650	24,5			-0,2	-0,7
	1100	50,0			0,1	0,3
7	260	6,0	$\Delta P_t = 0,0027V^{1,389}$	0,9999	0,1	1,8
	750	26,5			0,1	0,4
	1200	50,0			1,1	2,2
8	320	6,0	$\Delta P_t = 0,0014V^{1,4523}$	0,9999	0,1	1,4
	850	24,5			0,6	2,6
	1375	50,0			0,6	1,1

Fica claro que as curvas encontradas estão muito próximas das verdadeiras. O desvio da resposta máximo obtido é de 2,7%, enquanto que o resíduo máximo (valor absoluto da diferença entre a resposta e o valor verdadeiro) fica em apenas 1,1 Pa.

Este ajuste foi possível devido ao fenômeno da perda de carga se comportar de maneira muito aproximado ao que fora previsto, ou seja, uma curva do tipo $y(x) = a \cdot x^b$

Na figura 5.2 está representado o gráfico traçado a partir das equações $\Delta P_t(V)$ encontradas pelo método de mínimos quadrados. Numa comparação com a figura AN.3 do anexo A nota-se que existe uma grande semelhança entre elas. Percebe-se visualmente que o ajuste foi bem realizado.

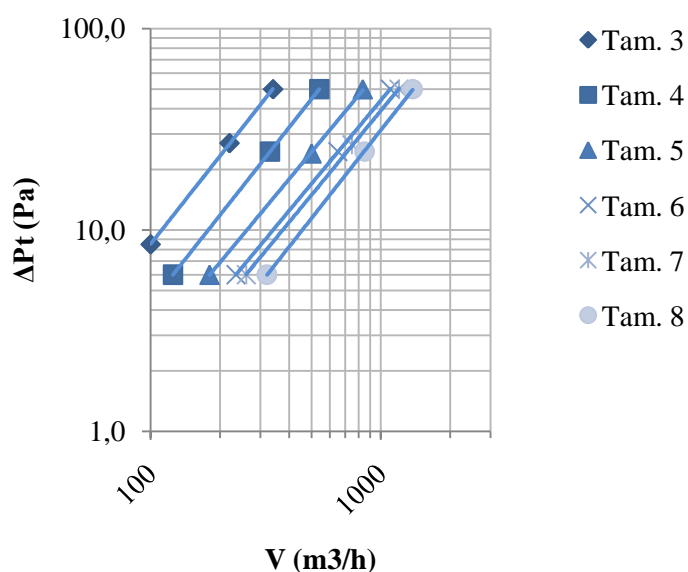


Figura 5.2 – Diagrama de dispersão com os pontos $(V, \Delta P_t)$ lidos na figura AN.3 do Anexo A e as curvas de ajuste do tipo potência. Valores plotados referentes ao difusor de ar modelo A.

6.RESULTADOS

Os resultados obtidos para as curvas $V(L)$ e $\Delta P_t(V)$ são apresentados neste capítulo. As equações a seguir podem ser utilizadas para a seleção de difusores. Todas as equações são válidas para o difusor modelo A. Maiores informações a respeito dos resultados são encontrados no Apêndice A.

6.1.FUNÇÕES $V(L)$

Nesta seção, são apresentadas todas as equações de ajuste polinomial encontradas para as funções $V(L)$, determinadas pelo método de mínimos quadrados. É importante salientar que o maior desvio percentual obtido nos testes com estas equações não ultrapassou 1% do valor que era esperado.

Tabela 6.1 – Resultados dos ajustes para as funções $V(L)$

TAM.	VL	EQUAÇÃO $V(L)$
	(m/s)	
3	0,3	$V = -259,36L^4 + 1988,8L^3 - 5343,6L^2 + 6099,3L - 2320,2$
	0,4	$V = 80,961L^4 - 399,95L^3 + 784,49L^2 - 612,61L + 367,1$
	0,5	$V = 308,64L^4 - 1728,4L^3 + 3583,3L^2 - 3088,3L + 1204,7$
	0,75	$V = 444,26L^4 - 1621,5L^3 + 1695,7L^2 + 62,904L - 171,3$
	1	$V = 200L + 360$
4	0,3	$V = 20,48L^4 - 271,36L^3 + 1182,4L^2 - 1782,6L + 1036,1$
	0,4	$V = -24,414L^4 + 299,48L^3 - 951,17L^2 + 1300,5L - 374,41$
	0,5	$V = 821,63L^4 - 5082,9L^3 + 11581L^2 - 11295L + 4290,2$
	0,75	$V = 2763,8L^4 - 16030L^3 + 34380L^2 - 31995L + 11336$
	1	$V = 5833,3L^3 - 20250L^2 + 23617L - 8570$

Tabela 6.1 – Resultados dos ajustes para as funções V(L) - (continuação)

TAM.	VL	EQUAÇÃO V(L)
	(m/s)	
5	0,3	$V = 55,949L^4 - 614,42L^3 + 2389,7L^2 - 3488,1L + 1906,9$
	0,4	$V = -336,95L^4 + 2640,1L^3 - 7143,7L^2 + 8219,5L - 3028,9$
	0,5	$V = -498,08L^4 + 3501,2L^3 - 8615,6L^2 + 9188,4L - 3146$
	0,75	$V = -205,76L^4 + 1687,2L^3 - 4475,3L^2 + 5167,5L - 1553,7$
	1	$V = 10156L^4 - 56563L^3 + 116344L^2 - 104138L + 35050$
6	0,3	$V = 49,337L^4 - 612,18L^3 + 2711,1L^2 - 4585,5L + 2913,4$
	0,4	$V = -15,019L^4 - 23,552L^3 + 691,43L^2 - 1323,5L + 1050,6$
	0,5	$V = -871,69L^4 + 6585,4L^3 - 17587L^2 + 20142L - 7839$
	0,75	$V = -1923,4L^4 + 12803L^3 - 30430L^2 + 31135L - 10965$
	1	$V = -7306,7L^4 + 44027L^3 - 97423L^2 + 94318L - 32625$
7	0,3	$V = -41,975L^4 + 636,56L^3 - 3473,9L^2 + 8503,5L - 6760,2$
	0,4	$V = 147,04L^4 - 1651,6L^3 + 6619,4L^2 - 10392L + 5987$
	0,5	$V = 120,07L^4 - 1201,3L^3 + 4394L^2 - 6004,2L + 3271,4$
	0,75	$V = -1041,2L^4 + 8100,8L^3 - 21907L^2 + 25302L - 9604,1$
	1	$V = 25,72L^4 + 282,92L^3 - 1199,8L^2 + 2038,3L + 82,881$
8	0,3	$V = -24,003L^4 + 377,88L^3 - 2138,9L^2 + 5638L - 4586,1$
	0,4	$V = 69,643L^4 - 855,92L^3 + 3767,8L^2 - 6195,3L + 3883,4$
	0,5	$V = -109,23L^4 + 727,04L^3 - 1259,1L^2 + 800,64L + 465,64$
	0,75	$V = 621,56L^4 - 3300,1L^3 + 6243,5L^2 - 4298,5L + 1633,5$
	1	$V = 3670,6L^4 - 21667L^3 + 47001L^2 - 43696L + 15991$

6.2. FUNÇÕES $\Delta P_t(V)$

Na tabela a seguir, estão representadas as equações de ajuste para todos os tamanhos de difusor modelo A fabricados. Estas equações são utilizadas após a seleção do difusor, para que seja determinada a perda de carga sofrida pelo ar. É muito importante conhecer este valor, pois ele será necessário nos cálculos de seleção de ventiladores. É interessante salientar que a perda deve ser baixa, para que o nível de ruído gerado no difusor seja baixo e o consumo do motor elétrico seja o menor possível.

Os erros encontrados em testes com as equações $\Delta P_t(V)$ foram de no máximo 2,7%, valores desconsideráveis para esta aplicação.

Tabela 6.2 – Resultados dos ajustes para as funções $\Delta P_t(V)$

TAM.	EQUAÇÃO
3	$\Delta P_t = 0,0107V^{1,4501}$
4	$\Delta P_t = 0,0055V^{1,449}$
5	$\Delta P_t = 0,0047V^{1,3782}$
6	$\Delta P_t = 0,0033V^{1,3749}$
7	$\Delta P_t = 0,0027V^{1,389}$
8	$\Delta P_t = 0,0014V^{1,4523}$

7.CONCLUSÃO

Buscar maneiras de aprimorar um projeto, com ganho de qualidade e menor dispêndio de tempo são obrigações do engenheiro. Com o passar dos anos, o homem foi mudando de hábitos. A evolução da engenharia acompanha a evolução humana. É necessário para isso que os engenheiros desenvolvam métodos mais eficientes de projetar, todos os dias.

Sabendo disso, foram analisados métodos atuais utilizados em projetos de climatização. Alguns deles, como o da seleção de difusores, se mostraram muito ineficientes. Para realizar esta seleção, gráficos supercarregados de informação e de pequenas dimensões dificultam a tarefa do projetista. Uma maneira alternativa seria utilizar equações de desempenho de difusores, que representassem o comportamento destes gráficos. Programadas em alguma linguagem computacional, poderiam realizar a seleção. Haveria então ganho de precisão na escolha e também de tempo, simultaneamente.

Com esta idéia em mente, foi efetuada uma pequena pesquisa entre projetistas de sistemas de climatização. Na pesquisa, foi perguntado a cada um deles quais eram os difusores mais utilizados. Com o levantamento das respostas, chegou-se a conclusão que o difusor Modelo A, do Anexo A era um dos mais empregados.

Este difusor, como é o caso da maioria dos difusores, já havia sido testado em laboratórios especializados e seus resultados disponibilizados através de gráficos. Os gráficos por sua vez, acompanhavam catálogos técnicos de fabricantes. Informações a respeito das incertezas de dados não foram encontrados.

Com os catálogos técnicos em mãos, iniciou-se o trabalho. Dados de desempenho dos difusores foram levantados com régua graduada, sobre gráficos ampliados, e dispostos em tabelas. Foram pesquisados métodos para parametrizar os dados que ali estavam. Chegou-se ao Método dos Mínimos Quadrados. Este método está disponível em vários programas computacionais, dentre eles o Microsoft Office Excel 2007, utilizado neste estudo. O resultado do método foi um conjunto de equações de desempenho, que poderiam substituir o uso dos gráficos com qualidade de resposta. Realizados diversos testes sob diferentes situações, as equações encontradas demonstraram resultados muito bons.

Foram elaborados dois conjuntos de equações. O primeiro relaciona a vazão de ar do difusor com o alcance do jato de ar para uma determinada velocidade terminal – $V(L)$. O segundo, a perda de carga do difusor com relação a vazão de ar que passa pelo mesmo – $\Delta Pt(V)$.

Para o primeiro conjunto de equações, foi verificado que o maior desvio de resposta ficou em menos de 1%. O resíduo (diferença entre o valor calculado e o valor lido) máximo foi de $-5,6 \text{ m}^3/\text{h}$, um valor considerado desprezível para esta aplicação.

No segundo conjunto de equações, àquelas que relacionam $\Delta Pt(V)$, o maior desvio foi encontrado para o tamanho de difusor 5, e foi igual a 2,7%. O maior resíduo encontrado foi para o difusor tamanho 7, com valor de 1,1 Pa. Para os demais, não ultrapassou 0,7 Pa.

Ficou claro pelos resultados acima que o objetivo deste trabalho foi atingido. Equações de ajuste que descreveram o comportamento dos gráficos foram encontradas. Com estas equações, aplicadas num programa computacional, ganha-se tempo e precisão na escolha de difusores, do modelo estudado. Os erros de resposta foram calculados e apresentaram valores baixíssimos, evidenciando um ajuste bem realizado.

Este trabalho pode servir como base para futuros ajustes de gráficos de modelos de difusor diferentes, pois a metodologia necessária para isso será semelhante da estudada aqui.

8.BIBLIOGRAFIA CONSULTADA

ASHRAE, American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers. **2009 ASHRAE Handbook - Fundamentals**. Atlanta - USA: ASHRAE Publications, 2009.

TROX. **TROX Technik – Klima**. São Paulo: Trox do Brasil, 1989.

FOX, Robert W.; MCDONALD, Alan T.; PRITCHARD, Philip J.. **Introdução à Mecânica dos Fluidos**. 6. ed. Rio de Janeiro: Ltc, 2003. 798 p.

INCROPERA, F. P.; DEWITT, D.P. **Fundamentos de Transferência de Calor e de Massa**. 4. ed. Rio de Janeiro: Livros Técnicos e Científicos, 1998.

CHAPA, S. C. & CANALE, R. P. **Numerical Methods for Engineers**, McGraw-Hill, 1990.

CONTE, S. D.. **Elementos de Análise Numérica**, 6. ed. Porto Alegre: Globo, 1971. 327 p.

BARROSO, L. C.; BARROSO, M. M. A.. **Cálculo Numérico**, 1. ed. São Paulo: Harper & Row do Brasil, 1983. 283 p.

MILNE, WILLIAM E., **Cálculo Numérico**, 1. ed. São Paulo: Polígono, 1968. 383p.

BORCHE, ALEJANDRO. **Métodos Numéricos**. Porto Alegre: UFRGS, 2008.

RUGGIERO, M. A. G. & LOPES, V. L. R. **Cálculo Numérico: Aspectos Teóricos e Computacionais**. 2.ed. São Paulo: Makron, 1997.

APÊNDICE A – EQUAÇÕES DE AJUSTE PARA AS FUNÇÕES V(L)

VL ≡ Velocidade do jato de ar na posição L, onde L = A + B (ver capítulo 3.Método de Análise).

L ≡ Distância do eixo do difusor de ar para uma dada VL.

V ≡ Vazão de ar do difusor.

V_{calc} ≡ Vazão de ar calculada pela equação de ajuste.

r ≡ Diferença entre o valor da vazão calculada pela equação de ajuste e o valor encontrado na figura AN.2.

Tabela AP.1 – Parâmetros de entrada e resultados dos ajustes para as funções V(L)

TAM.	VL _i	L _i	V _i	EQUAÇÃO (AJUSTE POLINOMIAL)	R ²	RESÍDUO	DESVIO %
	(m/s)	(m)	(m ³ /h)			r _i = V _{calc} - V _i	
3	0,3	1,0	165	$V = -259,36L^4 + 1988,8L^3 - 5343,6L^2 + 6099,3L - 2320,2$	1	-0,1	0,0
	0,3	1,5	205			-0,2	-0,1
	0,3	2,0	265			-0,4	-0,1
	0,3	2,5	475			-0,7	-0,1
	0,3	2,9	590			-1,1	-0,2
	0,4	1,0	220	$V = 80,961L^4 - 399,95L^3 + 784,49L^2 - 612,61L + 367,1$	1	0,0	0,0
	0,4	1,4	255			0,0	0,0
	0,4	1,7	305			0,0	0,0
	0,4	2,1	395			0,0	0,0
	0,4	2,4	580	-0,1	0,0		
	0,5	1,0	280	$V = 308,64L^4 - 1728,4L^3 + 3583,3L^2 - 3088,3L + 1204,7$	1	-0,1	0,0
	0,5	1,3	330			-0,1	0,0
	0,5	1,6	380			-0,2	0,0
	0,5	1,9	440			-0,2	-0,1
	0,5	2,2	580			-0,3	-0,1
	0,75	1,0	410	$V = 444,26L^4 - 1621,5L^3 + 1695,7L^2 + 62,904L - 171,3$	1	0,1	0,0
	0,75	1,2	460			0,1	0,0
	0,75	1,4	490			0,1	0,0
0,75	1,5	520	0,2			0,0	
0,75	1,7	580	0,3			0,0	
1	1,0	560	$V = 200L + 360$	1	0,0	0,0	
1	1,1	580			0,0	0,0	
4	0,3	1,0	185	$V = 20,48L^4 - 271,36L^3 + 1182,4L^2 - 1782,6L + 1036,1$	1	0,0	0,0
	0,3	1,6	240			0,0	0,0
	0,3	2,3	445			0,1	0,0
	0,3	2,9	635			0,1	0,0
	0,3	3,5	720			0,1	0,0
	0,4	1,0	250	$V = -24,414L^4 + 299,48L^3 - 951,17L^2 + 1300,5L - 374,41$	1	0,0	0,0
	0,4	1,4	310			0,0	0,0
	0,4	1,8	375			0,0	0,0
	0,4	2,2	500			0,0	0,0
	0,4	2,6	725			0,0	0,0
	0,5	1,0	315	$V = 821,63L^4 - 5082,9L^3 + 11581L^2 - 11295L + 4290,2$	1	-0,1	0,0
	0,5	1,3	365			-0,2	-0,1
	0,5	1,7	440			-0,4	-0,1
	0,5	2,0	500			-0,6	-0,1
	0,5	2,3	725			-0,9	-0,1
	0,75	1,0	455	$V = 2763,8L^4 - 16030L^3 + 34380L^2 - 31995L + 11336$	1	-0,2	0,0
	0,75	1,2	490			-0,1	0,0
	0,75	1,5	575			0,1	0,0
	0,75	1,7	625			0,4	0,1
	0,75	1,9	725			0,6	0,1
	1	1,0	630	$V = 5833,3L^3 - 20250L^2 + 23617L - 8570$	1	0,3	0,0
1	1,1	670	0,3			0,0	
1	1,2	690	0,3			0,0	
1	1,3	725	0,4			0,0	

Tabela AP.1 – Parâmetros de entrada e resultados dos ajustes para as funções V(L)
(continuação)

TAM.	VL _i	L _i	V _i	EQUAÇÃO (AJUSTE POLINOMIAL)	R ²	RESÍDUO	DESVIO %
	(m/s)	(m)	(m ³ /h)			$r_i = V_{calc} - V_i$	
5	0,3	1,0	250	$V = 55,949L^4 - 614,42L^3 + 2389,7L^2 - 3488,1L + 1906,9$	1	0,0	0,0
	0,3	1,8	375			0,0	0,0
	0,3	2,6	750			-0,1	0,0
	0,3	3,4	1000			-0,2	0,0
	0,3	4,2	1300			-0,3	0,0
	0,4	1,0	350	$V = -336,95L^4 + 2640,1L^3 - 7143,7L^2 + 8219,5L - 3028,9$	1	0,1	0,0
	0,4	1,6	435			0,1	0,0
	0,4	2,1	625			0,3	0,0
	0,4	2,7	1100			0,6	0,1
	0,4	3,2	1300			1,0	0,1
	0,5	1,0	430	$V = -498,08L^4 + 3501,2L^3 - 8615,6L^2 + 9188,4L - 3146$	1	-0,1	0,0
	0,5	1,4	530			-0,2	0,0
	0,5	1,9	700			-0,3	0,0
	0,5	2,3	1050			-0,6	-0,1
	0,5	2,7	1300			-0,9	-0,1
	0,75	1,0	620	$V = -205,76L^4 + 1687,2L^3 - 4475,3L^2 + 5167,5L - 1553,7$	1	-0,1	0,0
	0,75	1,3	720			-0,1	0,0
	0,75	1,6	820			-0,2	0,0
	0,75	1,9	1000			-0,3	0,0
	0,75	2,2	1300			-0,4	0,0
1	1,0	850	$V = 10156L^4 - 56563L^3 + 116344L^2 - 104138L + 35050$	1	-1,0	-0,1	
1	1,2	940			-1,6	-0,2	
1	1,4	1100			-2,5	-0,2	
1	1,6	1150			-3,8	-0,3	
1	1,8	1300			-5,6	-0,4	
6	0,3	1,3	330	$V = 49,337L^4 - 612,18L^3 + 2711,1L^2 - 4585,5L + 2913,4$	1	0,0	0,0
	0,3	2,1	530			-0,1	0,0
	0,3	2,9	975			-0,1	0,0
	0,3	3,7	1300			-0,2	0,0
	0,3	4,5	1625			-0,2	0,0
	0,4	1,0	380	$V = -15,019L^4 - 23,552L^3 + 691,43L^2 - 1323,5L + 1050,6$	1	0,0	0,0
	0,4	1,6	520			-0,1	0,0
	0,4	2,3	920			-0,1	0,0
	0,4	2,9	1375			-0,1	0,0
	0,4	3,5	1625			-0,2	0,0
	0,5	1,0	430	$V = -871,69L^4 + 6585,4L^3 - 17587L^2 + 20142L - 7839$	1	-0,3	-0,1
	0,5	1,5	615			-0,4	-0,1
	0,5	2,0	790			-0,5	-0,1
	0,5	2,4	1350			-0,6	0,0
	0,5	2,9	1625			-0,5	0,0
	0,75	1,0	620	$V = -1923,4L^4 + 12803L^3 - 30430L^2 + 31135L - 10965$	1	-0,4	-0,1
	0,75	1,3	720			-0,8	-0,1
	0,75	1,7	820			-1,5	-0,2
	0,75	2,0	1200			-2,8	-0,2
	0,75	2,3	1625			-4,7	-0,3
1	1,0	990	$V = -7306,7L^4 + 44027L^3 - 97423L^2 + 94318L - 32625$	1	0,3	0,0	
1	1,3	1200			0,7	0,1	
1	1,5	1250			1,2	0,1	
1	1,8	1500			1,9	0,1	
1	2,0	1625			2,8	0,2	

Tabela AP.1 – Parâmetros de entrada e resultados dos ajustes para as funções V(L)
(continuação)

TAM.	VL _i	L _i	V _i	EQUAÇÃO (AJUSTE POLINOMIAL)	R ²	RESÍDUO	DESVIO %
	(m/s)	(m)	(m ³ /h)			$r_i = V_{calc} - V_i$	
7	0,3	1,8	500	$V = -41,975L^4 + 636,56L^3 - 3473,9L^2 + 8503,5L - 6760,2$	1	0,0	0,0
	0,3	2,6	1150			0,0	0,0
	0,3	3,5	1450			0,0	0,0
	0,3	4,4	1900			0,1	0,0
	0,3	5,3	2375			0,3	0,0
	0,4	1,2	500	$V = 147,04L^4 - 1651,6L^3 + 6619,4L^2 - 10392L + 5987$	1	-0,5	-0,1
	0,4	1,9	750			-0,9	-0,1
	0,4	2,7	1450			-1,4	-0,1
	0,4	3,4	1900			-2,0	-0,1
	0,4	4,1	2375			-3,0	-0,1
	0,5	1,0	580	$V = 120,07L^4 - 1201,3L^3 + 4394L^2 - 6004,2L + 3271,4$	1	0,0	0,0
	0,5	1,6	760			0,0	0,0
	0,5	2,2	1300			0,3	0,0
	0,5	2,7	1850			0,7	0,0
	0,5	3,3	2375			1,4	0,1
	0,75	1,0	850	$V = -1041,2L^4 + 8100,8L^3 - 21907L^2 + 25302L - 9604,1$	1	0,5	0,1
	0,75	1,4	1100			0,7	0,1
	0,75	1,7	1200			1,1	0,1
	0,75	2,1	1600			1,6	0,1
	0,75	2,4	2375			2,3	0,1
1	1,0	1230	$V = 25,72L^4 + 282,92L^3 - 1199,8L^2 + 2038,3L + 82,881$	1	0,0	0,0	
1	1,3	1400			0,0	0,0	
1	1,6	1600			0,1	0,0	
1	1,9	1900			0,1	0,0	
1	2,2	2375			0,1	0,0	
8	0,3	1,8	530	$V = -24,003L^4 + 377,88L^3 - 2138,9L^2 + 5638L - 4586,1$	1	0,1	0,0
	0,3	2,7	1200			0,3	0,0
	0,3	3,6	1600			0,6	0,0
	0,3	4,6	2100			1,1	0,1
	0,3	5,5	2625			1,7	0,1
	0,4	1,2	540	$V = 69,643L^4 - 855,92L^3 + 3767,8L^2 - 6195,3L + 3883,4$	1	0,1	0,0
	0,4	2,0	800			0,1	0,0
	0,4	2,7	1500			0,2	0,0
	0,4	3,5	2100			0,3	0,0
	0,4	4,3	2625			0,3	0,0
	0,5	1,0	625	$V = -109,23L^4 + 727,04L^3 - 1259,1L^2 + 800,64L + 465,64$	1	0,0	0,0
	0,5	1,6	800			0,0	0,0
	0,5	2,3	1375			-0,1	0,0
	0,5	2,9	2175			-0,3	0,0
	0,5	3,5	2625			-0,6	0,0
	0,75	1,0	900	$V = 621,56L^4 - 3300,1L^3 + 6243,5L^2 - 4298,5L + 1633,5$	1	0,0	0,0
	0,75	1,4	1170			0,0	0,0
	0,75	1,8	1375			-0,1	0,0
	0,75	2,1	1700			-0,1	0,0
	0,75	2,5	2625			-0,3	0,0
1	1,0	1300	$V = 3670,6L^4 - 21667L^3 + 47001L^2 - 43696L + 15991$	1	-0,4	0,0	
1	1,3	1500			-0,9	-0,1	
1	1,7	1750			-2,1	-0,1	
1	2,0	2000			-3,4	-0,2	
1	2,2	2625			-4,6	-0,2	

ANEXO A – DIFUSOR MODELO A

Todas as informações contidas neste anexo foram retiradas do catálogo técnico de 2010 da empresa TROX e se referem ao difusor de ar modelo DLR-ADLR-SZR, comercializado no Brasil. Não há informações disponíveis a respeito das incertezas de dados.

Difusor de ar – Modelo A

Tipo: Circular
 Instalação: Forro
 Insuflamento: Radial
 Retorno: Axial

Faixa de operação: 170 – 2700 m³/h
 Velocidade terminal: 0,3 – 1 m/s
 Alcance do jato: 1 – 7 m
 Material: Aço ou aço e alumínio



Tabela AN.1: Dimensões do difusor modelo A (Fonte: TROX, 2010)

Tam	A (mm)	D1 (mm)	D2 (mm)	D3 (mm)	H (mm)
3	356	143	255	148	298
4	412	199	311	178	328
5	468	199	367	198	348
6	542	255	423	223	373
7	598	255	479	273	423
8	654	311	535	298	448

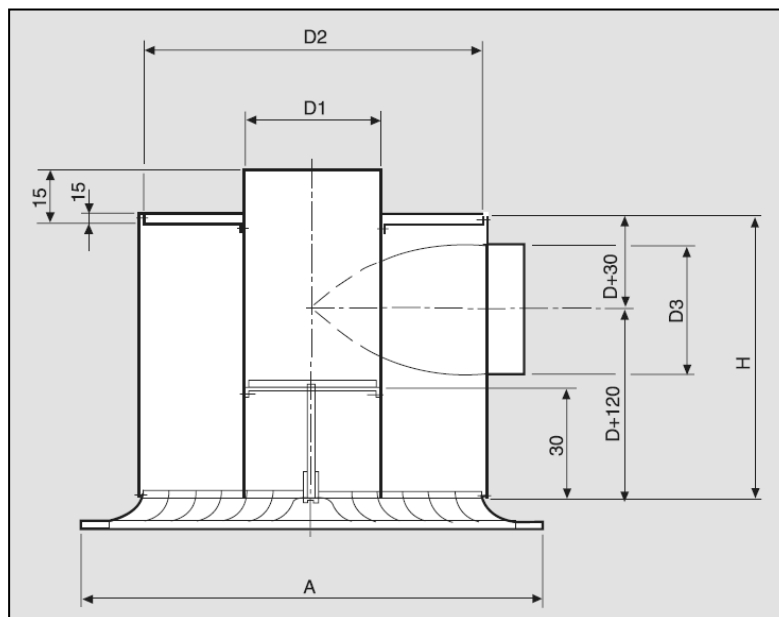


Figura AN.1: Dimensões do difusor modelo A (Fonte: TROX, 2010)

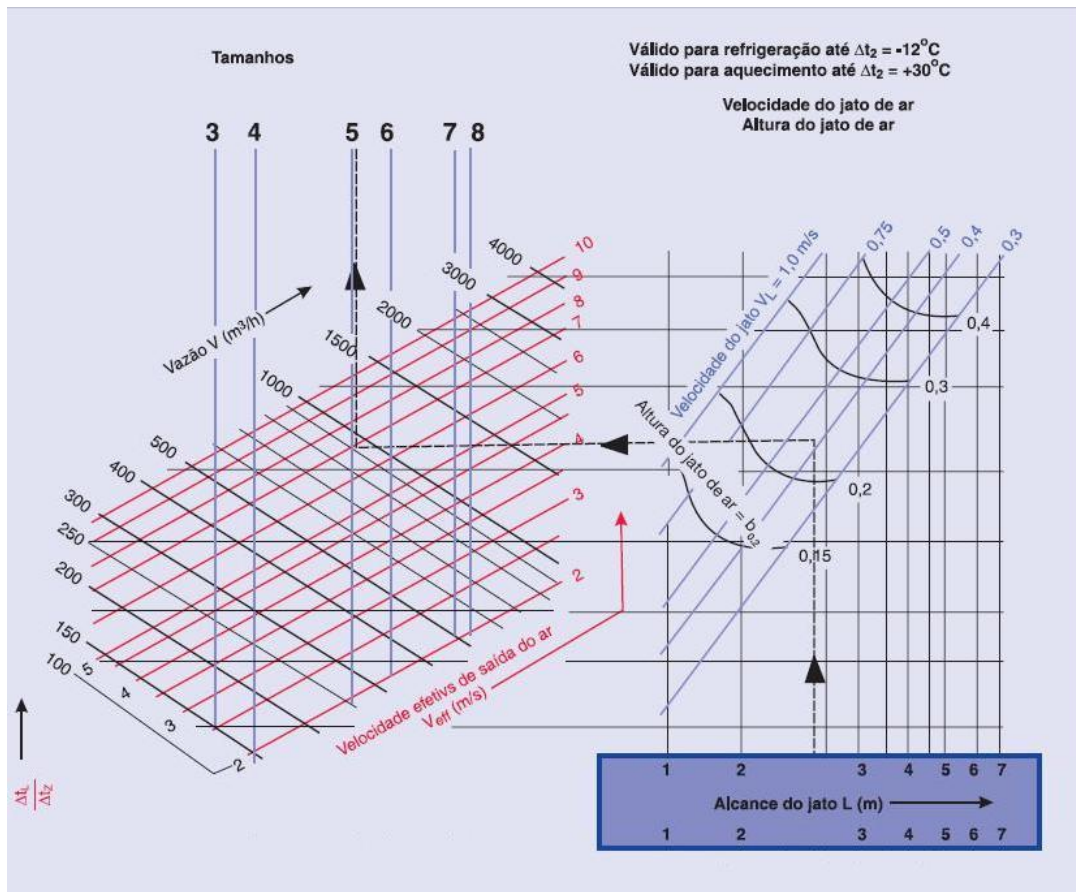


Figura AN.2: Curvas de desempenho do difusor modelo A (Fonte: TROX, 2010)

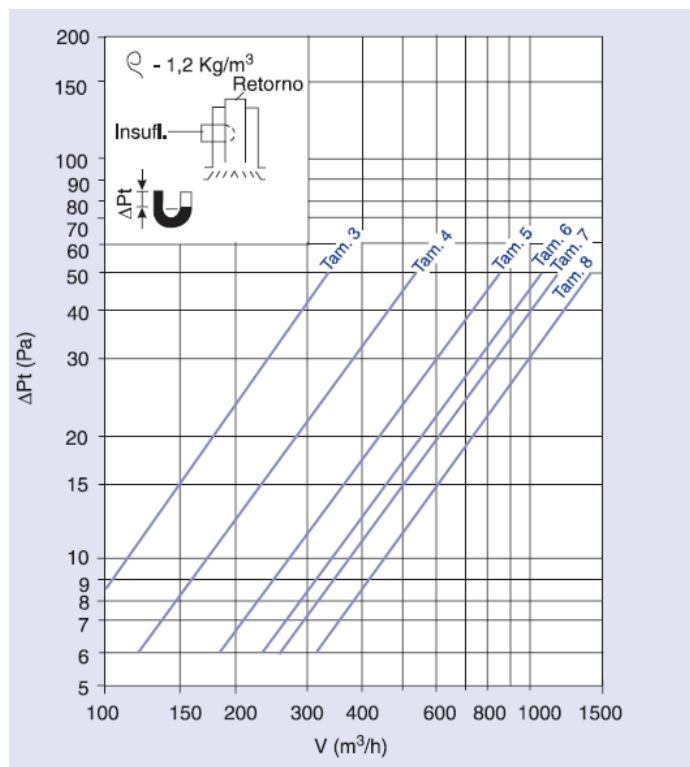


Figura AN.3: Perdas de carga em função da vazão do difusor modelo A (Fonte: TROX, 2010)