

UNIVERSIDADE ESTADUAL DO MARANHÃO  
CENTRO DE CIÊNCIAS TECNOLÓGICAS  
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA MECÂNICA E PRODUÇÃO  
CURSO DE ENGENHARIA MECÂNICA

CALCULO DE CARGA TERMICA PARA CONFORTO E DIMENSIONAMENTO DE  
DUTOS AR ATRAVÉS DO MÉTODO DE IGUAL PERDA DE CARGA USANDO O  
EXCEL

ANTONIO AUGUSTO MORAES FERREIRA JUNIOR

São Luís – MA

2015

ANTONIO AUGUSTO MORAES FERREIRA JUNIOR

CALCULO DE CARGA TERMICA PARA CONFORTO E DIMENSIONAMENTO DE  
DUTOS AR ATRAVÉS DO MÉTODO DE IGUAL PERDA DE CARGA USANDO O  
EXCEL

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à  
Universidade Estadual do Maranhão, como parte dos  
requisitos necessários para a obtenção do Grau de  
Bacharel na área de Engenharia Mecânica.

São Luís - MA

2015

**CALCULO DE CARGA TERMICA PARA CONFORTO E DIMENSIONAMENTO  
DE DUTOS AR ATRAVÉS DO MÉTODO DE IGUAL PERDA DE CARGA USANDO  
O EXCEL**

**ANTONIO AUGUSTO MORAES FERREIRA JUNIOR**

Qualificação aprovada em, \_\_\_\_ de \_\_\_\_\_ de 2015.

---

Prof<sup>o</sup>. Msc. Valdirson Pereira Mendes.  
(Orientador)

---

Prof<sup>o</sup>. Msc. Paulino Cutrim Martins.  
(Membro da Banca Examinadora)

---

Prof<sup>o</sup>. Msc. Carlos Antônio Angelim de Meneses.  
(Membro da Banca Examinadora)

## RESUMO

O conforto térmico está relacionado com a facilidade com que um indivíduo mantém um balanço térmico entre ele e o ambiente, no qual se torna complicado devido a vários fatores como predisposição pessoal, sexo e idade. O trabalho apresenta o cálculo da carga térmica e o dimensionamento de dutos de ar para vários tipos de recinto e qualquer seja a cidade. Para isto são calculados a carga térmica do recinto, a quantidade ar de insuflamento, dimensões dos dutos e difusores e as perdas de carga do sistema.

**Palavras-chave:** Carga Térmica. Ar de insuflamento. Dutos de ar. Difusores. Perda de Carga.

## **ABSTRACT**

Thermal comfort is related to the ease with which an individual maintains a thermal balance between him and the environment in which it becomes complicated due to various factors such as personal predisposition, gender and age. The paper presents the calculation of the thermal load and the design of air ducts for various grounds and whatever the city. For this are calculated the thermal load of the room, the amount of air bag deployment, measurements of ducts and diffusers and system pressure drops.

**Keywords:** Heat Load. Supply air. Air ducts. Diffusers. Pressure drops.

## Sumário

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO</b> .....	8
<b>1.1</b>	<b>Objetivos</b> .....	8
1.1.1	<i>Objetivo Geral</i> .....	8
1.1.2	<i>Objetivo Específico</i> .....	9
<b>2</b>	<b>REVISÃO DE LITERATURA</b> .....	10
<b>2.1</b>	<b>Carga térmica em climatização</b> .....	10
2.1.1	<i>Cargas externas</i> .....	12
2.1.1.1	<i>Carga devido à condução</i> .....	13
2.1.1.2	<i>Carga devida à insolação</i> .....	14
2.1.1.2.1	<i>Transmissão de Calor do Sol através de superfícies transparentes</i> .....	15
2.1.1.2.2	<i>Transmissão de Calor do Sol através de superfícies opacas</i> .....	17
2.1.2	<i>Cargas internas</i> .....	17
2.1.2.1	<i>Carga devida às pessoas</i> .....	17
2.1.2.2	<i>Carga devida aos equipamentos</i> .....	18
2.1.2.3	<i>Carga devida à iluminação</i> .....	19
2.1.3	<i>Carga devida ao ar externo de ventilação</i> .....	19
2.1.3.1	<i>Calculando a carga térmica do ar exterior</i> .....	20
2.1.3.1.1	<i>Calor Sensível</i> .....	20
2.1.3.1.2	<i>Calor Latente</i> .....	20
<b>2.2</b>	<b>Dutos</b> .....	21
2.2.1	<i>Equação do fluxo de ar</i> .....	23
2.2.2	<i>Conceitos de pressão estática, dinâmica e total</i> .....	23
2.2.3	<i>Perda de pressão em um duto</i> .....	23
2.2.3.1	<i>Perdas de Pressão Estática (<math>P_e</math>)</i> .....	24
2.2.3.2	<i>Dutos Não-Circulares</i> .....	25
2.2.3.3	<i>Perdas de Pressão Dinâmica (<math>P_v</math>)</i> .....	27
2.2.3.4	<i>Perdas nos Elementos ou Conexões</i> .....	27
<b>2.3</b>	<b>Distribuição de ar</b> .....	29
2.3.1	<i>Perda de carga nas grelhas</i> .....	30
<b>3</b>	<b>MATERIAIS E MÉTODOS</b> .....	31
<b>3.1</b>	<b>Materiais</b> .....	31

<b>3.2</b>	<b>Métodos</b> .....	31
3.2.1	<i>Dimensionamento de dutos</i> .....	31
3.2.2	<i>Método de igual perda de carga</i> .....	32
<b>4</b>	<b>DESENVOLVIMENTO DA PLANILHA DE CÁLCULO PARA DIMENSIONAMENTO DE REDES</b> .....	32
<b>4.1</b>	<b>Carga Térmica</b> .....	32
4.1.1	<i>Calculo da Carga de Condução</i> .....	33
4.1.2	<i>Carga de Insolação</i> .....	34
4.1.3	<i>Carga devida às pessoas</i> .....	34
4.1.4	<i>Carga devido a Iluminação</i> .....	34
4.1.5	<i>Carga devido ao Ar Exterior</i> .....	35
4.1.6	<i>Carga Térmica Total e Ar de Insuflamento</i> .....	35
<b>4.2</b>	<b>Carga devido a Equipamentos</b> .....	36
<b>4.3</b>	<b>Dutos</b> .....	37
4.3.1	<i>Dados iniciais do duto</i> .....	37
4.3.2	<i>Ramais</i> .....	38
4.3.3	<i>Pré-dimensionamento da Rede</i> .....	38
<b>4.4</b>	<b>Perda de Carga</b> .....	39
<b>4.5</b>	<b>Legendas</b> .....	40
<b>5</b>	<b>RESULTADOS E DISCUSSÃO</b> .....	42
<b>5.1</b>	<b>Vazão do ar de insuflamento</b> .....	43
<b>5.2</b>	<b>Dutos</b> .....	47
<b>5.3</b>	<b>Roteiro de dimensionamento</b> .....	49
5.3.1	<i>Selecionar uma velocidade inicial</i> .....	49
5.3.2	<i>Determinação da área inicial do duto</i> .....	49
5.3.3	<i>Calcular as dimensões dos diversos trechos</i> .....	49
5.3.4	<i>Perda de Carga</i> .....	54
<b>5.4</b>	<b>Discussão</b> .....	58
<b>6</b>	<b>CONCLUSÃO</b> .....	60
<b>6.1</b>	<b>Proposta de trabalhos futuros</b> .....	60
	<b>REFERÊNCIAS</b> .....	62
	<b>ANEXOS</b> .....	64

# 1 INTRODUÇÃO

No mundo contemporâneo a palavra tempo e tecnologia estão constantemente correlacionado. Isto porque cada vez mais o homem tem buscado potencializar seu tempo utilizando a tecnologia. Tal afirmação está fundamentada na própria evolução da tecnologia e na expansão de novos produtos industriais que possibilite a redução de gasto, otimização de resultado, e por fim, a sustentabilidade, sendo este último termo, tema central dos grandes debates no qual a tecnologia é a palavra chave.

Foi assim, mediante a preocupação de evitar o desperdício e diminuir gasto com tempo e material, e conseqüentemente pensando em sustentabilidade que este projeto se propõe a elaborar um programa cujo objetivo é criar um software para dimensionar dutos nas instalações de condicionamento de ar e ventilação industrial. Isto porque se notou uma carência em programas no mercado voltados para tal tarefa. O que este projeto tem como pretensão é dimensionamento de dutos para climatização de ambientes utilizando o método de igual perda de carga com auxílio de softwares, Microsoft Office Excel.

Nesse enfoque pretende-se tomar como estrutura física um centro comercial (Supermercado), que está localizado na cidade de São Luís/MA, para através do mesmo investigar a carga térmica, assim em momento posterior dimensionar os dutos de forma analítica.

Os passos da nossa pesquisa serão inicialmente a pesquisa bibliográfica, seguido da experimentação referida acima e análise de dados, sistematização e preparação do programa para então finalizar com a produção textual.

## 1.1 Objetivos

### *1.1.1 Objetivo Geral*

Usar o programa Microsoft Excel para calcular a carga térmica e dimensionar dutos para climatização de ambientes utilizando o método de igual perda de carga sem a necessidade de desenvolvimento de calculo analítico, isto é com o lançamento somente dos valores das variáveis.



### *1.1.2 Objetivos Específicos*

- Identificar os parâmetros e variáveis que serão utilizadas no cálculo;
- Cálculo da carga térmica dos ambientes;
- Dimensionamento dos dutos necessários para a climatização dos ambientes;
- Testar a eficiência do programa.

## 2 REVISÃO DE LITERATURA

### 2.1 Carga térmica em climatização

A carga térmica é a quantidade de calor sensível e latente, que deve ser retirada (resfriamento) ou colocada (aquecimento) no recinto a fim de proporcionar as condições de conforto desejadas ou manter as condições ambientes adequadas para a conservação de um produto ou para realização de um processo de fabricação.

O conhecimento da carga térmica é básico para:

- Dimensionar a instalação;
- Selecionar equipamentos;
- Avaliar o funcionamento de equipamentos existentes ou a serem adquiridos;
- Avaliar as alterações necessárias ao sistema que beneficia o ambiente, cuja finalidade venha ser alterada.

Normalmente, a carga térmica varia com o tempo, pois os fatores que nela influem: temperatura externa, insolação, número de pessoas, etc., variam ao longo do dia.

O ganho de calor que é transmitido para o ambiente é devido aos seguintes fatores:

- Radiação solar através de superfícies transparentes tais como vidros das janelas;
- Condução de calor através das paredes externas e telhados;
- Condução de calor através das paredes internas, divisórias, tetos e pisos;
- Calor gerado dentro do ambiente pelos ocupantes, luzes, equipamentos, desenvolvimento de processos ou qualquer outra fonte geradora de calor;
- Calor proveniente da ventilação (ar exterior) e infiltração de ar exterior;
- Calor gerado por outras fontes.

Os tipos de ganho de calor são sensível e latente. A seleção correta do equipamento para umidificação ou desumidificação e resfriamento é feita levando-se em consideração os valores de calor sensível e latente.

O ganho de calor sensível é o ganho de calor de um determinado ambiente devido à transmissão por radiação, condução ou convecção, ou devido ainda a estas formas simultaneamente.

Quando a umidade é adicionada ao ambiente, como por exemplo, pelo vapor d'água liberado pelas pessoas, há uma quantidade de energia associada com esta umidade, que precisa ser considerada.

Neste caso se a umidade precisa ser mantida constante no ambiente, então o vapor d'água que precisa ser condensado no equipamento é igual ao valor que é produzido no ambiente. A quantidade de energia necessária para fazer isto é essencialmente igual ao produto da taxa de condensação por hora e o calor latente de condensação. Este produto é chamado ganho de calor latente.

A carga de calor sensível de resfriamento é definida como a quantidade de calor que precisa ser removida do ambiente para que a temperatura do recinto seja constante.

O projeto do sistema de ar condicionado requer a determinação do ganho de calor sensível e latente do ambiente e o ganho de calor total, sensível mais latente e do ar exterior usado para ventilação (renovação de ar).

A soma de todos os ganhos de calor sensível instantâneo, em um determinado momento não é necessariamente igual a carga de calor sensível de resfriamento do ambiente para aquele momento.

A carga latente, a ser considerada, entretanto, é essencialmente a carga latente instantânea de resfriamento. Há que distinguir, o ganho de calor instantâneo e o ganho de calor da estrutura (Figura 01), ou seja, quando o sol começa a incidir sobre uma parede, não quer dizer que a quantidade de calor ganho pelo ar da sala aumenta imediatamente; para o efeito da insolação se tornar carga do calor do ar, é necessário que, primeiramente, a parede se aqueça. Isto leva certo tempo, dependendo das dimensões e composição da parede. Já, por exemplo, o calor transmitido por uma pessoa dentro do recinto, para o ar é uma carga, praticamente instantânea. Levanta imediatamente a temperatura do ar e a sua umidade.

Para a energia radiante se transformar em carga sensível do ar, tem antes que ser absorvida por uma superfície sólida, que depois cede ao ar por convecção.

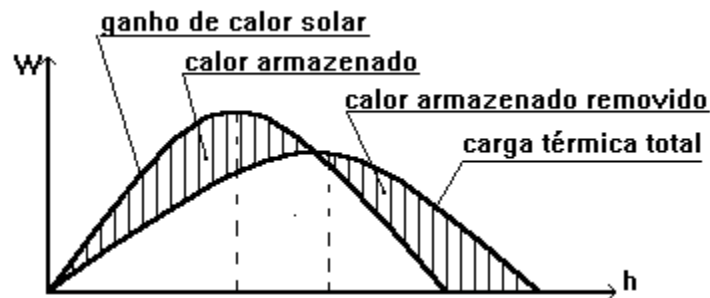


Figura 01 - Carga térmica na estrutura de uma edificação

A determinação da vazão de ar de insuflamento será função do tipo de sistema a ser usado.

O projeto do sistema quando prevê volume de ar variável (VAV) sua vazão de ar total corresponde a carga térmica máxima simultânea, embora esse valor seja inferior a soma das vazões de ar necessárias para cada ambiente nas horas de pico dos mesmos.

A utilização do sistema de volume de ar constante determina que a vazão de ar total, seja a soma das vazões de ar determinadas a partir das horas de pico de cada ambiente. Este sistema é de alto custo, embora seja largamente empregado no Brasil.

Após a estimativa da hora e mês do pico solar de cada ambiente e zonas, deverá ser determinado o maior ganho de calor simultâneo de todo o sistema.

A determinação da carga térmica de pico ou carga de pico será função do ganho de calor através das paredes externas, vidros e telhados.

A maioria das edificações com uma ou mais faces expostas ao exterior apresentam a carga de pico entre 13 h e 18 h, no caso da cidade de São Luís/MA, esse pico se dá as 14 h.

As parcelas que compõem o cálculo da carga térmica são:

- Cargas externas;
- Cargas internas;
- Carga de ventilação externa

### 2.1.1 Cargas externas

A carga de calor sensível devido às condições externas é:

- O efeito combinado da temperatura do ar exterior e a incidência da radiação solar que causa um fluxo de calor através das paredes externas e coberturas;

- A temperatura dos espaços adjacentes ocasionando um fluxo de calor para o espaço condicionado ou dele retirando calor;
- Ganho de calor solar, devido à radiação direta ou indireta (difusa), através dos vidros e portas.

Para o cálculo da carga externa, as seguintes informações são necessárias:

- Orientação e dimensões dos ambientes da edificação;
- Características dos materiais do piso, paredes, teto, forro falso e vidros das janelas e portas;
- Tamanho e utilização do espaço a ser condicionado;
- Condições externas do meio ambiente e condições dos ambientes adjacentes.

#### 2.1.1.1 Carga devido à condução:

A transmissão de calor por condução e por unidade de tempo, para materiais homogêneos, paredes planas e paralelas é:

$$q_s = \frac{A \times k \times \Delta T}{e} \quad (1)$$

onde:

$q_s$  = carga devido a condução, W;

$A$  = área da superfície normal ao fluxo, m<sup>2</sup>;

$k$  = coeficiente de condutividade térmica do material, W/m\*°C;

$\Delta T$  = diferença de temperatura entre as duas superfícies ou meios, °C;

$e$  = espessura do material, m.

Mas, quando se usam vários materiais nas paredes e coberturas que separam os ambientes, utilizam-se as resistências de cada material que opõe-se ao fluxo. Tais resistências são os inversos das condutividades e condutâncias dos materiais. Os valores dos coeficientes de condutividade,  $k$ , são dados pelo Anexo A.

$$R = \frac{e}{k} \quad (2)$$

Resistências essas que são somadas para que se possa encontrar o **coeficiente global de transmissão de calor**:

$$U = \frac{1}{R_T} \quad (3)$$

onde:

$U$  = é o coeficiente global de transmissão de calor,  $W/m^2 \cdot ^\circ C$ ;

$R_T$  = é a soma das resistências térmicas ( $R_T = R_1 + R_2 + \dots + R_n$ ).

Sendo assim, a equação de condução de calor pode ser reescrita em uma nova equação para paredes com vários materiais:

$$q_s = A \times U \times \Delta T \quad (4)$$

#### 2.1.1.2 Carga devida à insolação

A energia solar é concentrada na faixa visível da luz e na região infravermelha do espectro da radiação. Somente  $1,373 \text{ kW/m}^2$  da radiação, alcança a superfície da terra quando a direção dos raios solares é vertical, para um céu limpo (sem nuvens).

Fora da atmosfera terrestre a radiação solar direta é composta de: 5% ultravioleta, 52% de luz visível e 43% de infravermelho.

Na superfície da terra, sua composição aproximada é de 1% de ultravioleta, 39% de luz visível e 60% de infravermelho.

A radiação celeste é um tipo de radiação difusa, cuja presença constitui o ganho de calor na terra; a ela é adicionada à radiação solar direta, que é maior quando a atmosfera está translúcida.

A quantidade recebida depende das variações sazonais da constante de umidade, da distância Sol-Terra, da variação angular com as vizinhanças e das superfícies refletoras mais relevantes.

No Brasil a insolação ocorre de acordo com as seguintes orientações:

- Face N todo dia;
- Face, L pela manhã;

- Face, O pela tarde;
- Face, S nenhum sol direto.

A energia solar é, quase sempre, a responsável pela maior parcela da carga térmica nos cálculos de carga térmica, em geral como radiação e convecção. Para redução da insolação, utiliza-se como proteção:

- Janelas especiais ou elementos colocados junto a janela;
- Vidros duplos reduzem em 50 % da insolação;
- Vidros especiais em cor até 60 %;
- Pintar parte externa do vidro em branco ou vidros espelhados em 50 %;
- Elementos de sombra na face externa 75 % de redução;
- Cores claras nas superfícies externas;
- Cortinas e venezianas;
- Camadas de isolamento nas paredes;
- Espargir água no telhado constantemente.

#### *2.1.1.2.1 Transmissão de Calor do Sol através de superfícies transparentes*

Para a estimativa da carga térmica de insolação, é importante saber o horário de utilização da dependência e fazer o cálculo para a incidência máxima do sol. Embora se conheça com certa precisão a quantidade de calor por radiação e convecção oriundos do sol, a parcela que penetra nos recintos não é bem conhecida, todas as tabelas existentes dão uma estimativa para os cálculos satisfatórios na prática do ar condicionado.

A transmissão de calor do sol através de superfícies transparentes (vidro) subdivide-se em três partes:

- Uma que é refletida,  $q_1$ ;
- Uma que é absorvida pelo vidro,  $q_2$ ;
- Uma que atravessa o vidro,  $q_3$ .

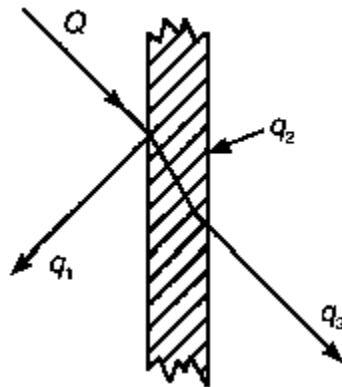


Figura 02 – Transmissão do calor solar através do vidro

A parcela  $q_3$  que penetra no recinto é a que interessa nos cálculos da carga térmica e pode ser calculada através da equação:

$$q_s = A \times I \quad (5)$$

onde:

$q_s$  = carga devida à insolação, W;

$A$  = área de exposição, m<sup>2</sup>;

$I$  = Intensidade de radiação ou Fator solar, W/m<sup>2</sup> (ver Anexo C).

Os valores do Anexo C são para janelas com esquadrias de madeira, caso a janela possua esquadrias metálicas multiplicar por 1,15. Se as janelas possuírem proteção externa ou interna a equação da carga térmica de radiação deve ser reescrita:

$$q_s = A \times I \times FS \quad (6)$$

Onde, **FS** é o Fator de sombreamento (ver tabela 01), um coeficiente de redução adimensional.

Tabela 01 – Fator de sombreamento

PROTEÇÃO	FATOR DE SOMBREAMENTO (FS)
<b>Toldos ou Persianas externas</b>	0,15 – 0,20
<b>Persianas internas e refletoras</b>	0,50 – 0,66
<b>Cortinas internas brancas (opacas)</b>	0,25 – 0,61

Fonte: HÉLIO CREDER, 2004



### 2.1.1.2.2 Transmissão de Calor do Sol através de superfícies opacas

As paredes, lajes e telhados transmitem a energia solar para o interior dos recintos por condução e convecção, segundo a fórmula:

$$q_s = A \times U \times [(T_e - T_i) + \Delta t] \quad (7)$$

onde:

$q_s$  = carga devido a insolação, W;

$A$  = área da superfície normal ao fluxo, m<sup>2</sup>;

$U$  = coeficiente de condutividade térmica do material, W/m\*°C;

$T_e$  = temperatura exterior, °C;

$T_i$  = temperatura interior, °C;

$\Delta t$  = acréscimo ao diferencial de temperatura, °C (veja Tabela 02).

Tabela 02 - Acréscimo ao diferencial de temperatura

Superfície	Cor Escura		Cor Média		Cor Clara	
	°F	°C	°F	°C	°F	°C
<b>Telhado</b>	45	25	30	16,6	15	2,7
<b>Parede Leste ou Oeste</b>	30	16,6	20	11,1	10	5,5
<b>Parede Norte</b>	15	8,3	10	5,5	5	2,7
<b>Parede Sul</b>	0	0	0	0	0	0

Fonte: HÉLIO CREDER, 2004

## 2.1.2 Cargas internas

### 2.1.2.1 Carga devida às pessoas

Todo ser humano emite calor latente e calor sensível, que variam conforme esteja o indivíduo em repouso ou em atividade, o Anexo D, dá os valores do calor liberado pelas pessoas em função da temperatura e da atividade.

### 2.1.2.2 Carga devida aos equipamentos

Os motores elétricos que estejam dentro do recinto, em qualquer ponto do fluxo de ar ou mesmo nos ventiladores, adicionam carga térmica sensível ao sistema devido às perdas nos enrolamentos, e esta carga precisa ser retirada pelo equipamento frigorífico. É preciso levar em conta se o motor está sempre em funcionamento ou se a sua utilização é apenas esporádica.

- Motor do ventilador dentro da corrente de ar:

$$q_s = \frac{P \times 733}{\eta} \quad \text{ou} \quad q_s = \frac{P \times 2.490}{\eta} \quad (8)$$

Onde:

$$\begin{array}{ll} q_s = W & q_s = \text{BTU/h} \\ P = \text{cv} & P = \text{HP} \\ \eta = \text{rendimento do motor} & \end{array}$$

- Motor do ventilador fora da corrente de ar:

$$q_s = P \times 733 \quad \text{ou} \quad q_s = P \times 2.490 \quad (9)$$

onde:

$$\begin{array}{ll} q_s = W & q_s = \text{BTU/h} \\ P = \text{cv} & P = \text{HP} \end{array}$$

Para outros motores que porventura permaneçam no recinto condicionado (elevadores, bombas, máquinas elétricas, perfuradoras etc.), temos:

$$q_s = \left( \frac{P}{\eta} - P \right) \times 733 \quad \text{ou} \quad q_s = \left( \frac{P}{\eta} - P \right) \times 2.490 \quad (10)$$

onde:

$$\begin{array}{ll} q_s = W & q_s = \text{BTU/h} \\ P = \text{cv} & P = \text{HP} \end{array}$$

$\eta$  = rendimento do motor

### 2.1.2.3 Carga devida à iluminação

A energia consumida pelas lâmpadas é praticamente toda ela transformada em carga térmica do ar do recinto, para a iluminação incandescente o ganho de calor sensível é dado por:

$$q_s = P \quad (11)$$

onde:

$q_s$  = ganho de calor devido à iluminação, W;

$P$  = potência das lâmpadas, W.

A iluminação fluorescente necessita de um equipamento adicional para prover a tensão necessária à partida e, após esta, a limitação de corrente. Esse equipamento é o reator, que adiciona cerca de 20% de carga, quando na instalação só se dispõe de reatores duplos e de alto fator de potência, pode-se reduzir essa carga adicional.

Deve-se levar em conta, no cálculo da carga térmica, que nem sempre todas as lâmpadas estão ligadas na hora que se tomou por base para o cálculo, geralmente na hora em que a carga térmica de insolação é máxima, muitas lâmpadas podem estar desligadas.

### 2.1.3 Carga devida ao ar externo de ventilação

A introdução de ar externo de ventilação nos ambientes é necessária para diluir os odores produzidos nos mesmos. As fontes mais comuns de contaminação do ar ambiente são: os odores emitidos pelas pessoas, fumaça de cigarros, os odores dos alimentos, etc. Segundo a NBR 16401-2, a vazão eficaz de ar exterior  $V_{ef}$  é constituída pela soma de duas partes: a vazão relacionada às pessoas e a vazão relacionada à área ocupada. É calculada pela equação:

$$V_{ef} = P_z \times F_p + A_z \times F_a \quad (12)$$

onde:

$V_{ef}$  = vazão eficaz de ar exterior, L/s;

$F_p$  = vazão por pessoa, L/s\*pessoa;

$F_a$  = vazão por área útil ocupada, L/s\*m<sup>2</sup>;

$P_z$  = número máximo de pessoas na zona de ventilação;

$A_z$  = área ocupada pelas pessoas, m<sup>2</sup>.

Os valores a adotar para  $F_p$  e  $F_a$  estão no Anexo D.

### 2.1.3.1 Calculando a carga térmica do ar exterior

#### 2.1.3.1.1 Calor Sensível

Ar exterior introduzido num edifício constitui uma grande parte da do total do espaço-condicionado (aquecimento, resfriamento, umidificação e desumidificação) de carga, que é uma razão para limitar a troca de ar tarifas em prédios ao mínimo exigido. Troca de ar tipicamente representa de 20 a 50% da carga térmica de um edifício.

A troca de ar aumenta a carga térmica de um edifício de vários modos. Em primeiro lugar, o ar que entra deve ser aquecido ou arrefecido a partir da temperatura do ar exterior para a temperatura do ar interior ou de fornecimento. A taxa de consumo de energia por este aquecimento ou arrefecimento sensível é dada por:

$$q_s = Q \times \rho \times c_p \times \Delta T \quad (13)$$

onde:

$q_s$  = calor sensível devido ao ar externo, (W);

$\rho$  = densidade do ar em kg/m<sup>3</sup> (cerca de 1,2 em ou perto do nível do mar);

$c_p$  = calor específico do ar seco, J/kg °C (cerca de 1000);

$Q$  = vazão de ar externo, m<sup>3</sup>/s;

$\Delta T$  = diferença de temperatura entre interior e exterior, °C.

No ou perto do ar ao nível do mar a densidade, com um ajuste da umidade do ar para uma sala típica, esta equação é comumente apresentada para o projeto usar como:

$$q_s = 1230 \times Q \times \Delta T \quad (14)$$

### 2.1.3.1.2 Calor Latente

A troca de ar também modifica o teor de humidade do ar numa edificação. A taxa de consumo de energia associado com estas cargas latentes (desprezando a energia associada com qualquer condensado) é dada por:

$$q_l = Q \times \rho \times \Delta W \times (2501 + 1,805T) \quad (15)$$

onde:

$q_l$  = calor latente, kW;

$\rho$  = densidade do ar, kg/m<sup>3</sup>

$Q$  = vazão de ar externo, m<sup>3</sup>/s;

$\Delta W$  = diferença da relação de umidade entre interior e exterior, massa de água/unidade de massa de ar seco, kg/kg;

$T$  = media das temperaturas interna e externa, °C.

A equação acima é conhecida como a **equação de calor latente**. Quando no ou perto do nível do mar, e para as temperaturas do ar de conforto comuns, o lado direito lado desta equação é de aproximadamente  $3,01 \times 106 Q\Delta W$ .

## 2.2 Dutos

A distribuição de ar aos diversos ambientes a serem condicionados é realizada através de tubulações fabricadas de chapas metálicas e denominadas de um modo geral de sistemas de dutos ou rede de dutos.

Dutos são condutores de ar que permitem sua circulação desde o ventilador até os pontos de insuflamento (aerofuses, grelhas etc.), bem como o retorno (HÉLIO CREDER, 2004, p 138). Para exercer esta função, o sistema de dutos precisa ser projetado dentro dos limites estabelecidos, considerando-se o espaço disponível para o seu trajeto, as perdas de carga, a velocidade, os níveis do ruído e as perdas e ganhos de calor.

Dutos são usados como condutores de ar para os fins a seguir:

- Insuflamento e retorno de ar;
- Ar exterior;

- Câmara misturadora de ar de retorno e exterior;
- Como carcaça cobrindo os filtros, serpentinas, eliminadores e ventiladores.

Para dimensionamento de dutos devemos levar em conta fatores como: volume do ar circulante, velocidade do ar através dos dutos e resistência a ser vencida. Há vários métodos para dimensionamento de dutos de sistema de ar condicionado – método da velocidade, método de igual perda de carga entre outros que serão exemplificados a frentes.

As velocidades máximas recomendadas pela CARRIER (referidas à condição padrão de densidade) para sistemas de baixa velocidade acham-se evidenciadas com valores em m/s na Tabela 03. Ao dimensionar um sistema de dutos deve-se analisar as pressões existentes considerando vazão e seção constante, existem duas pressões atuando no duto, a pressão estática e a pressão dinâmica, ou cinética.

Tabela 03 – Valores para velocidade máxima (m/s) em dutos. Velocidades determinadas em função da vazão volumétrica na condição padrão

Aplicações	Fator Principal				
	Velocidades máximas (m/s)				
	Ruído	Principal		Ramais	
		Insuflamento	Retorno	Insuflamento	Retorno
Residências	3,0	5,0	4,0	3,0	3,0
Hotéis (quartos) Apartamentos Hospitais (quartos)	5,0	7,5	6,5	6,0	5,0
Escritórios Particulares Salas de diretor Bibliotecas	6,0	10,0	7,5	8,0	6,0
Escritórios Restaurantes finos Lojas finas Bancos	7,5	10,0	7,5	8,0	6,0
Lojas Cafeterias	9,0	10,0	7,5	8,0	6,0
Indústrias	12,5	15,0	9,0	11,0	7,5

Fonte: CARRIER

### 2.2.1 Equação do fluxo de ar

A vazão de ar e a velocidade estão relacionadas através da seguinte equação:

$$Q = A \times v \quad (16)$$

onde:

$Q$  = vazão de ar, m<sup>3</sup>/s;

$A$  = área da seção transversal do duto, m<sup>2</sup>;

$v$  = velocidade do ar, m/s.

### 2.2.2 Conceitos de pressão estática, dinâmica e total.

Todo fluido, inclusive o ar, exerce uma pressão nas paredes do recipiente que o contem ou pelo seu deslocamento. Em um sistema de dutos de ar deve se considerar as seguintes pressões:

*Pressão estática* – é pressão que fluido exerce nas paredes do recipiente em que se encontra e não depende da velocidade.

*Pressão dinâmica* – proveniente da movimentação do ar, sempre exercida na direção do fluxo.

A pressão dinâmica é dada pela seguinte equação:

$$P_v = \frac{1}{2} \rho \times v^2 \quad (17)$$

onde:

$P_v$  = pressão dinâmica, Pa;

$v$  = velocidade do escoamento, m/s.

*Pressão total* – é a soma algébrica da pressão estática e dinâmica.

### 2.2.3 Perda de pressão em um duto.

Com escoamento do ar através de um duto, são encontradas resistências provocadas pelo atrito e a turbulência. Ao conjunto de perdas por atrito e perdas dinâmicas denomina-se de perda de pressão (pressão total) de um duto, sendo tal pressão a resistência

que ventilador-motor tem que vencer para manter o fluxo de ar na vazão e velocidade desejadas.

### 2.2.3.1 Perdas de Pressão Estática ( $P_e$ )

Esta é causada exatamente pelo atrito do ar com a superfície interna do duto. O ar possui semelhança com a água em se tratando de tais perdas, quanto maior a vazão do ar, maiores serão as perdas por atrito. As perdas por atrito ocorrem ao longo de todo comprimento do duto. Tais perdas podem ser calculadas usando a equação de Darcy-Weisbach:

$$\Delta p_e = \frac{1000fL}{D} \times \frac{\rho v^2}{2} \quad (18)$$

onde:

$\Delta p_e$  = perdas por atrito, Pa;

$f$  = fator de atrito, adimensional;

$L$  = comprimento do duto, m;

$D$  = diâmetro do duto, mm;

$\rho$  = densidade, kg/m<sup>3</sup>;

$v$  = velocidade, m/s.

Quanto ao  $f$ , fator de atrito, pode ser calculado de acordo com o tipo de escoamento do fluido:

Para escoamento laminar, Equação de Poiseuille:

$$f = \frac{16}{Re} \quad (19)$$

Para escoamento turbulento, Equação de Colebrook:

$$\frac{1}{\sqrt{f}} = -2 \log \left( \frac{\varepsilon}{3,7D} + \frac{2,51}{Re\sqrt{f}} \right)$$

$$f = \frac{0,25}{\left[ \log \left( \frac{\varepsilon}{3,7D} + \frac{5,74}{Re\sqrt{0,9}} \right) \right]^2} \quad (20)$$

Eq. Valida para  $10^{-6} < \varepsilon/D < 10^{-2}$  e  $5000 < Re < 10^8$



onde:

**Re** = Numero de Reynolds;

$\epsilon$  = fator de rugosidade absoluto do duto, mm (veja Tabela 4).

A perda de carga por atrito também pode ser determinada através de gráficos, como mostra a Figura 3.

Tabela 04 – Fator de rugosidade absoluta de dutos

<b>Material do Duto</b>	<b>Rugosidade Absoluta (mm)</b>
Aço carbono sem revestimento e limpo PVC Alumínio	0,03
Aço Galvanizado, com costura longitudinal e espaçamento de juntas de 1,2 m. Aço Galvanizado, constituído por rolamento, com costura em espiral e juntas a 3 m. Aço Galvanizado, com costura em espiral, com 1, 2 ou 3 nervuras e juntas a 3,6 m.	0,09
Aço Galvanizado, com costura longitudinal e juntas a 760 mm	0,15
Duto rígido de fibra de vidro Duto revestido internamente com fibra de vidro	0,9
Duto metálico flexível totalmente estendido. Duto flexível de tecido e fios, totalmente estendido Concreto	3

Fonte: ASHRAE 2009, cap. 21

### 2.2.3.2 Dutos Não-Circulares

Se tratando de dutos, não se trabalha apenas com dutos de seções circulares. Seja dutos retangulares ou ovais utiliza-se o conceito de diâmetro equivalente  $D_{eq}$ .

Utilizado no âmbito de ventilação industrial e condicionamento de ar, é calculado mantendo-se o mesmo comprimento, resistência e fluxo de massa.

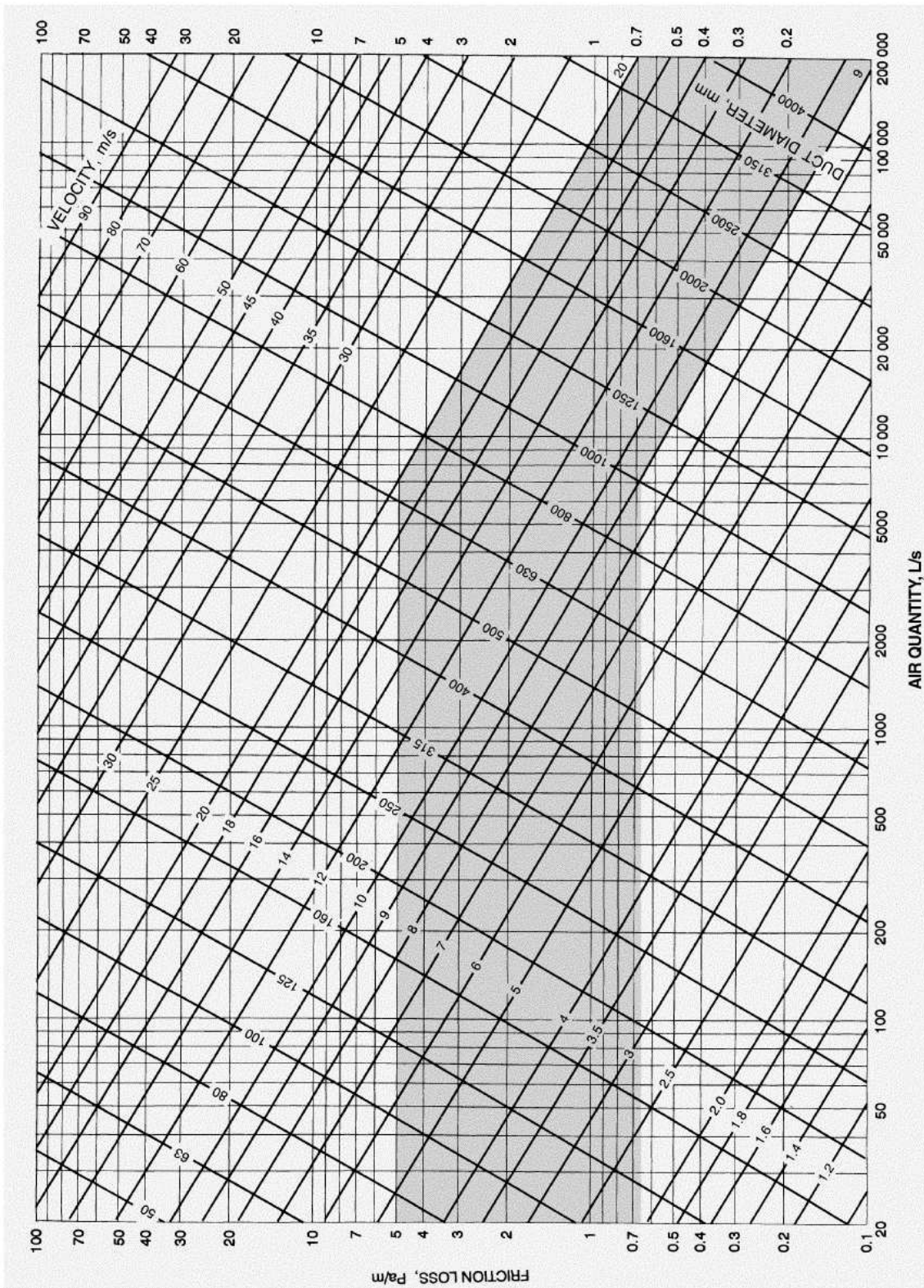


Figura 3 – Perda de carga em dutos retos

Fonte: ASHRAE 2009, cap. 21

$$D_{eq} = \frac{1,3(ab)^{0,625}}{(a+b)^{0,25}} \quad (21)$$

### 2.2.3.3 Perdas de Pressão Dinâmica ( $P_v$ )

Existe uma determinada pressão dinâmica para cada velocidade, então, quanto maior for a velocidade, maior será a pressão dinâmica, tais perdas são mostradas na Figura 4. As formulas para perda de pressão dinâmica são baseadas nas formulas para ar padrão.

$$v = 242,4\sqrt{P_v} \quad (22)$$

onde:

$v$  = velocidade, MPM;

$P_v$  = pressão dinâmica, mmC.A.

Ou, pela equação 16:

$$P_v = \rho \times \frac{v^2}{2}$$

onde:

$v$  = velocidade, m/s;

$P_v$  = pressão dinâmica, Pa.

As perdas dinâmicas também são conhecidas como perdas acidentais, que são causadas pelos elementos ou conexões (entradas, saídas, cotovelos, transições e junções).

### 2.2.3.4 Perdas nos Elementos ou Conexões

Para calcular a perda total dos elementos em determinada seção usa-se a equação abaixo:

$$\Delta p = c \times P_v \quad (23)$$

onde:

$\Delta p$  = perda de pressão total, Pa;

$c$  = coeficiente de perda de carga;

$P_v$  = pressão dinâmica, Pa.

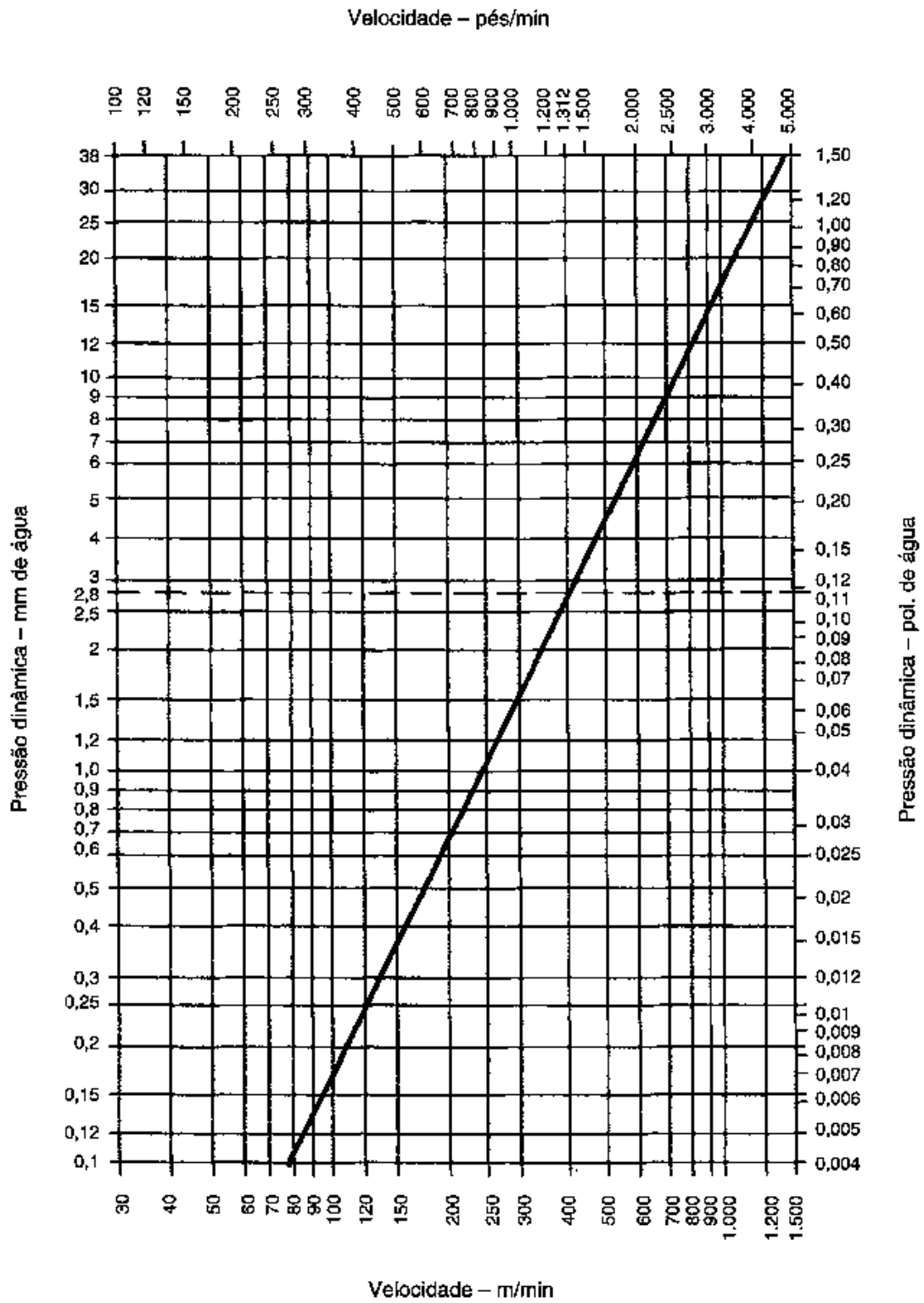


Figura 04 – Perdas de pressão dinâmica

Fonte: HELIO CREDER, 2004, p.145

Os valores de  $c$ , coeficiente de perda de carga, para os diferentes tipos de elementos podem ser encontrados no Anexo F.

### 2.3 Distribuição de ar

Após o ventilador impulsionar o ar através do sistema de dutos, esse ar deverá ser distribuído aos diversos ambientes a serem condicionados, de acordo com quantidade de ar que cada recinto necessita e da melhor maneira possível. Essa distribuição é feita através das grelhas ou difusores.

As grelhas ou difusores garantem uma distribuição uniforme do ar, mas para que isso aconteça esses elementos devem ser colocados a uma altura adequado do piso, para que as correntes de ar se formem acima da *linha de respiração*. A *linha de respiração* deve ficar a 5 pés (1,50m) acima do piso. Caso as áreas atendidas forem iguais para todos os difusores, a vazão de cada difusor pode ser dada pela seguinte equação:

$$Q_g = \frac{Q_t}{NG} \quad (24)$$

onde:

$Q_g$  = vazão da grelha, m<sup>3</sup>/s;

$Q_t$  = vazão total, m<sup>3</sup>/s;

$NG$  = numero de grelhas.

Para calcular as dimensões das grelhas de insuflamento usaremos o **Método da velocidade de face**. Usando a equação da continuidade:

$$Q_g = A \times v_f$$

onde:

$A$  = área da face da grelha, m<sup>2</sup>;

$v_f$  = velocidade de face, m/s.

Considerarmos o duto circular, temos:

$$D_f = \sqrt{\frac{4Q_g}{\pi v_f}} \quad (25)$$

onde:

$D_f$  = diâmetro de face da grelha, m.

A tabela 05 apresenta valores recomendados para este método. O diâmetro calculado na equação 25, no caso de dutos retangulares, é o diâmetro equivalente. O Anexo G também pode ser usado para encontrar as dimensões L x H do difusor.

Tabela 05 – Velocidades recomendadas para o Método da Velocidade de face

Velocidades (m/s)	Tipo de instalação
1,5	Instalações de conforto de baixo ruído
2 a 3	Instalações gerais
Maior que 3	Instalações industriais

Fonte: BEYER, 2010a

### 2.3.1 Perda de carga nas grelhas

As perdas de carga em grelhas podem ser calculadas pela equação (BEYER, 2010a):

$$\Delta P_d = C_d \times P_v \quad (26)$$

onde:

$\Delta P_d$  = perda de carga na grelha, mmC.A.;

$C_d$  = coeficiente de carga, calculado pela equação 27;

$P_v$  = pressão dinâmica, Pa.

$$C_d = C_a + C_b + 1 \quad (27)$$

Onde,  $C_a$  e  $C_b$  podem ser encontrados na Tabela 06.

Tabela 06 – Coeficiente para perda de carga em grelhas.

$V_b/V_a$	0	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1
$C_a$	1,4	1,2	0,96	0,82	0,68	0,56	0,49	0,47	0,48	0,5	0,54
Ral	0,3	0,4	0,5	0,55	0,6	0,65	0,7	0,75	0,8	0,9	1
$C_b$	6,2	3	1,7	1,3	0,97	0,75	0,58	0,44	0,32	0,14	0

Fonte: BEYER, 2010a

Sendo,  $V_b$  a velocidade de saída do ar na grelha,  $V_a$  a velocidade do ar no duto anterior à grelha e  $R_{al}$  é a relação de área livre da grelha.

### 3 MATERIAIS E MÉTODOS

#### 3.1 Materiais

O instrumento utilizado para inserção dos dados para cálculo da carga térmica e dimensionamento dos dutos é o **Microsoft Office Excel** é um editor de planilhas produzido pela Microsoft para computadores que utilizam o sistema operacional Microsoft Windows, além de computadores Macintosh da Apple Inc. e dispositivos móveis como o Windows Phone, Android ou o OS. Seus recursos incluem uma interface intuitiva e capacidades ferramentas de cálculo e de construção de gráficos.

#### 3.2 Métodos

##### 3.2.1 Dimensionamento de dutos

Métodos de projeto do duto para sistemas de climatização e para sistemas de exaustão transmitindo vapores, gases e fumaça são: o método de igual perda, o método recuperação estática e o T-método (ASHARE 2009). O método de igual perda e recuperação estática são métodos não-otimizados, e o Método T é um método prático otimização introduzida por Tsal et al. (1988).

Para garantir que os projetos de sistemas sejam acusticamente aceitáveis, a geração de ruído deve ser analisada e atenuadores de som devem ser alinhados com o duto desde quando necessário.

Estudo de caso foi realizado em um Supermercado na cidade de São Luís – MA, usando o Método de Igual Perda de Carga. Os dados foram retirados do projeto de ar condicionado do Supermercado em questão, projeto este fornecido pelo setor de engenharia do estabelecimento.

### 3.2.2 Método de igual perda de carga

Escolhida a velocidade máxima no trecho da rede próximo ao ventilador, a vazão de projeto deste mesmo trecho permite determinar a perda unitária de pressão (perda de pressão por unidade de comprimento) o dimensionamento dos demais trechos e feito conservando a mesma perda unitária inicialmente determinada. As velocidades resultam mais baixas com as reduções das respectivas vazões, conseqüentemente.

## **4 DESENVOLVIMENTO DA PLANILHA DE CÁLCULO PARA DIMENSIONAMENTO DE REDES**

O desenvolvido deste trabalho teve como base a ferramenta de cálculo o programa Microsoft Excel. As planilhas de calculo foram desenvolvidas para dimensionar os dutos através do Método de Igual Perda e está dividido em quatro partes:

- Carga Térmica;
- Equipamentos;
- Dutos;
- Perda de Carga;
- Legendas.

Este trabalho visa dimensionar os dutos desde a carga térmica do recinto a ser condicionado até as perdas de cargas nos dutos e elementos. Antes de iniciar o processo de dimensionamento dos dutos, é necessário conhecer e compreender cada função desta planilha.

### **4.1 Carga Térmica**

A instalação de uma rede de dutos pressupõe a existência de necessidades por parte do cliente. Essas devem ser tomadas em conta desde o início por parte do engenheiro. Para construção da rede de dutos uma das coisas importantes a se determinar é a vazão de ar a ser insuflado no recinto, mas para achar tal vazão devemos determinar a carga térmica inserido no ambiente.



Inicialmente selecionaremos os dados iniciais do projeto: o tipo de local, a área do recinto, o numero de ocupantes e as condições do ambiente (temperatura externa, interna e de insuflamento e umidade relativa).

Ocupação de recinto			
Local	pesoa/100 m <sup>2</sup>	Área do recinto (m <sup>2</sup> )	n° de ocupantes
Supermecardo (medio padrão)	10	5418	542
Lojas (exceto abaixo)			
Restaurantes			
Sala de aula			
Salões de Hotel			
Supermecardo (alto padrão)			
Supermecardo (medio padrão)			
Teatros-Cinemas			
Tribunal			

Figura 05 – Seleção do local a ser condicionado

Condições do Ambiente					
Externa			Interna		Insuflamento
TBS (°C)	TBU (°C)	UR (%)	TBS (°C)	UR (%)	TBS (°C)
36		50	26		15

Figura 06 – Condições externa e interna do ambiente

#### 4.1.1 Calculo da Carga de Condução

Nesta parte deverá escolher-se o tipo de material que constitui as paredes externas, internas e o telhado (Figura 07), para achar-se a Carga térmica de condução do recinto.

Ganho de Condução	Parede externa	Alvenaria	Argamassa	Isolamento	Dimensões		Carga térmica (W)
					comprimento (m)	altura (m)	
	N	tijolo de concreto (9 cm)	argamassa comum		68,00	10,00	20.239,14
S	tijolo de concreto (9 cm)	argamassa comum		80,30	10,00	23.900,05	
L							
O	tijolo de concreto (9 cm)	argamassa comum		58,90	10,00	17.530,67	
TOTAL							61.669,86
Ganho de Condução	Parede interna	Alvenaria	Argamassa	Isolamento	Dimensões		Carga térmica (W)
					comprimento (m)	altura (m)	
N							
S							
L	tijolo de concreto (9 cm)	argamassa comum		67,50	10,00	12.255,10	
O							
TOTAL							12.255,10
Telhado		Isolamento	Forro	Área (m <sup>2</sup> )	Carga Térmica (W)		
			laje de concreto (10 c	5.359,00	76.146,98		
fibro-cimento cerâmico galvalume							

Figura 07 – Carga térmica de condução através das paredes e telhado

#### 4.1.2 Carga de Insolação

Esta parte da tabela destina-se a calcular a energia oriunda do Sol incidente em superfícies opacas e transparente, como mostra a Figura 08.

Ganho de insolação	Parede externa	Alvenaria	Argamassa	Isolamento	Cor	Dimensões		Carga térmica (W)
						comprimento (m)	altura (m)	
						N		
S								
L								
O	tijolo de concreto (9 cm)		argamassa comum		Clara	58,90	10,00	27.172,54
<b>TOTAL</b>								<b>27.172,54</b>

Ganho de insolação	Janelas	Quantidade	Tipo	Mês	Horário	Proteção	Dimensões		Carga Térmica (W)
							comprimento (m)	altura (m)	
							N		
S			vidro comum						
L			vidro duplo						
O	12		vidro triplo						
			corina de vidro(simples)	tubro	16		1,00	3,00	24.094,80
			corina de vidro(duplo)						
<b>Total</b>								<b>24.094,80</b>	

Telhado	Isolamento	Forro	Cor	Área (m²)	Carga Térmica (W)
		laje de concreto (10 cm)	Clara	5.359,00	228.440,95

Figura 08 – Carga térmica através de superfícies opacas e transparentes.

#### 4.1.3 Carga devida às pessoas

Este tipo de carga térmica depende da temperatura ambiente e do tipo de atividade que as pessoas estão realizando como mostra o Anexo D. A Figura 09 mostra o cálculo da quantidade de carga térmica, especificamente o calor sensível, que é liberado pelas pessoas.

Temperatura Ambiente (°C)	Pessoa Sentada ou Movimento Lento			Pessoa em Exercício Físico Moderado		
	Nº de Pessoas	Calor Sensível (W)	Calor Latente (W)	Nº de Pessoas	Calor Sensível (W)	Calor Latente (W)
26	542	63,3	48,9		67,3	125,5
<b>Total de Calor Sensível (W)</b>						<b>34.308,60</b>
<b>Total de Calor Latente (W)</b>						<b>26.503,80</b>
<b>Total (W)</b>						<b>60.812,40</b>

Figura 09 – Carga térmica devido às pessoas

#### 4.1.4 Carga devido a Iluminação

A Figura 10 mostra o cálculo da carga térmica de iluminação, que depende do tipo de lâmpada e da quantidade existente no local.

<b>Lâmpadas no recinto</b>			
<b>Tipo</b>	<b>Quantidade</b>	<b>Potencia (W)</b>	<b>Carga Termica (W)</b>
<b>Fluorescente</b>	300	80	28.800,00
<b>Incandescente</b>			0
<b>Total</b>			<b>28.800,00</b>

Figura 10 – Carga térmica devido à iluminação.

#### 4.1.5 Carga devido ao Ar Exterior

Este ar exterior introduz calor sensível e latente ao ser misturado com o ar de retorno antes de passar pelo ventilador. Mas, para o nosso cálculo o que interessa é o calor sensível como mostra a Figura 11.

<b>Vazão de Ar Exterior</b>	
<b>Vazão p/ pessoas (L/s)</b>	3.088,26
<b>Vazão de área de ocupação (L/s)</b>	2.709,00
<b>Vazão Eficaz (L/s)</b>	5.797,26
<b>Calor Sensível (W)</b>	71.306,30

Figura 11 – Carga térmica devido ao Ar exterior

#### 4.1.6 Carga Térmica Total e Ar de Insuflamento

Nesta parte a Figura 12 mostra a Carga Sensível e Latente Total de sistema, sendo o primeiro o que realmente interessa para determinar o ar a ser insuflado no recinto, como apresentado na Figura 13.

<b>CALOR TOTAL DO SISTEMA</b>	
<b>W</b>	
<b>Calor Sensível</b>	<b>Calor Latente</b>
<b>619.065,70</b>	<b>26.503,80</b>

Figura 12 – Calor Sensível e Latente do Sistema

<b>Total de Ar de Insuflamento (m<sup>3</sup>/s)</b>	45,76
--	-------

Figura 13 – Ar de Insuflamento para o recinto

#### 4.2 Carga devido a Equipamentos

As Figuras 14, 15 e 16 mostram a planilha da carga dissipada pelos Equipamentos. Apesar de os valores estarem em uma planilha diferente tais valores fazem parte da carga térmica a ser obtida. Nesta parte são listados desde equipamentos de escritório a equipamentos de lanchonetes e restaurantes e também motores elétricos.

<b>Equipamentos de Escritório</b>	<b>Quantidade</b>	<b>Carga dissipada (W)</b>
Computadores		0
<b>Monitores</b>		
Pequeno (13 a 15 pol.)		0
Médio (16 a 18 pol.)		0
Grande (19 a 20 pol.)		0
<b>Impressoras a laser</b>		
De mesa, pequena		0
De mesa		0
De escritorio, pequena		0
De escritorio, grande		0
<b>Copiadoras</b>		

Figura 14 – Carga dissipada por equipamentos de escritório

Equipamentos de Restaurante e Lanchonete	Sem coifa		Com coifa	
	Quantidade	Carga dissipada (W)	Quantidade	Carga dissipada (W)
Cafeteira (12 xícaras)		0		0
Expositor refrigerado (0,17 a 1,9m <sup>3</sup> )	6	3840		0
Aquecedor de alimentos (lampadas infra-vermelhas)		0		0
Aquecedor de alimentos (tipo pratilheiras)		0		0
Aquecedor de alimentos (água quente)		0		0
Congelador (grande)		0		0
Congelador (pequeno)		0		0
Forno microondas (comercial)		0		0
Forno microondas (residencial)		0		0
Refrigerador (grande - 0,71 a 2,1m <sup>3</sup> )		0		0

Figura 15 – Carga dissipada por equipamentos de Restaurantes e lanchonetes.

Motores Elétricos				
	Quantidade	Potencia Nominal	$\eta$	Carga dissipada (W)
HP				
CV				
<b>Total</b>				-

Figura 16 – Carga dissipada por motores elétricos.

### 4.3 Dutos

Depois de todos os dados introduzidos na Planilha de Carga Térmica, inicia-se o dimensionamento dos dutos. A zona de cálculo está dividida em 3 partes: dados iniciais do duto (velocidade, vazão e área) ; seleção de ramais (quantidade, numero de bocas de insuflamento por ramal, etc.) e as dimensões da rede de dutos.

#### 4.3.1 Dados iniciais do duto

O dimensionamento inicial do duto principal é efetuado a partir da escolha da velocidade inicial do duto de acordo com a Tabela 02 e da vazão total de ar que obtido através da Planilha de Carga Térmica. Após estipulados esses dados podemos definir a área inicial do

duto. A área em destaque na Figura 17, em caso de a Planilha de Carga Térmica não ser utilizada, destina-se a uma vazão já pré-determinada pelo projetista.

Dados iniciais do duto			
Veloc. inicial (m/s)	Vazão (m <sup>3</sup> /s)	Vazão 2 (m <sup>3</sup> /s)	Area (m <sup>2</sup> )
10	45,76		4,58

Figura 17 – Dados iniciais do duto

#### 4.3.2 Ramais

Na segunda etapa do dimensionamento, o objetivo é determinar a quantidade de ramais que rede de dutos terá, além do numero de bocas de insuflamento, vazão por boca e a quantidade bocas por trecho do ramal (Figura 18).

Ramal	nº de bocas	Vazão p/ boca	nº de bocas p	Vazão em cada ramal
1	32	0,29	2	9,28
2	36	0,26	2	9,36
3	36	0,26	2	9,36
4	34	0,26	2	8,84
5	34	0,26	2	8,84

Figura 18 – Dados dos ramais e grelhas de insuflamento.

#### 4.3.3 Pré-dimensionamento da Rede

A terceira etapa destina-se a determinar as vazões, áreas, velocidades e as dimensões da rede de dutos sejam eles retangulares ou redondos (Figura 19). Esta etapa dimensiona os dutos em função dos valões estipulados nas duas etapas anteriores.

Trecho	Vazão	%Vazão	%Area	Area da seção (m²)	Diâmetro (mm)	Velocidade (m/s)	Dimensões		
							D	W	Diâmetro equivalente
Vent. ate A	45,76	100%	100,0%	4,58	2.413,65	10,00	2,40	1,91	2,33
Ramal 1									
1.1	9,28	20,3%	27,0%	1,24	1.254,17	7,51			
1.2	8,70	19,0%	26,0%	1,19	1.230,73	7,31			
1.3	8,12	17,7%	25,0%	1,14	1.206,83	7,10			
1.4	7,54	16,5%	23,0%	1,05	1.157,55	7,16			
1.5	6,96	15,2%	21,5%	0,98	1.119,16	7,08			
1.6	6,38	13,9%	20,5%	0,94	1.092,83	6,80			
1.7	5,80	12,7%	19,5%	0,89	1.065,84	6,50			
1.8	5,22	11,4%	17,5%	0,80	1.009,70	6,52			
1.9	4,64	10,1%	16,5%	0,75	980,43	6,15			
1.10	4,06	8,9%	14,5%	0,66	919,09	6,12			
1.11	3,48	7,6%	13,0%	0,59	870,25	5,85			
1.12	2,90	6,3%	10,5%	0,48	782,11	6,04			
1.13	2,32	5,1%	9,0%	0,41	724,10	5,63			
1.14	1,74	3,8%	7,0%	0,32	638,59	5,43			
1.15	1,16	2,5%	5,5%	0,25	566,05	4,61			
1.16	0,58	1,3%	2,0%	0,09	341,34	6,34			
1.17	-	0,0%	#N/D	#N/D	#N/D	#N/D			#N/D
1.18		#VALOR!	#VALOR!	#VALOR!	#VALOR!	#VALOR!			#VALOR!

Figura 19 – Dimensionamento da rede de dutos

#### 4.4 Perda de Carga

Para seleção do ventilador devemos determinar a perda de carga do percurso mais longo, a perda de carga dos elementos (transição, cotovelos, dampers, etc) ao longo deste percurso e a perda de carga das bocas de insuflamento. Primeiramente determinaremos a perda de carga por comprimento com base no diâmetro inicial do duto, velocidade, fator de atrito e rugosidade do duto, e o Numero de Reynolds (Figura 20). Após encontrar a perda de carga por comprimento, deve-se determinar o comprimento dos trechos de dutos retos para achar a perda de carga do percurso mais longo (Figura 21) e por ultimo calcular as perdas de carga dos elementos ao longo deste percurso (Figura 22).

Determinar a taxa de perda de carga no trecho inicial						
Diâmetro inicial (m)	Vazão inicial (m³/s)	Velocidade (m/s)	Re	Rugosidade, ε	f	Taxa de perda (mmC.A./m)
2,33	45,76	10,00	1550085,6	Aço galvanizad	0,09	0,01188
						0,031

Figura 20 – Taxa de perda de carga

Trecho mais longo do percurso	
Trecho	Duto reto (m)
A	6,18
B	13,83
C	13,42
D	13,10
E	12,43
5.1	6,43
5.2	4,04
5.3	4,04
5.4	4,04
5.5	4,04
5.6	4,04
5.7	4,04

Figura 21 – Perda de carga do trecho mais longo

Trecho	Elementos		Diâmetro (mm)	Le (m)	L (m)	r/W	H/W	Perda de Carga do Elementos			
	Redondo	Retangular						A <sub>1</sub> (m <sup>2</sup> )	A <sub>2</sub> (m <sup>2</sup> )	A <sub>3</sub> (m <sup>2</sup> )	Q <sub>1</sub> (m <sup>3</sup> /s)
1		CR3-1(90°)				1,5	1	4,58			45,76
2		SR5-11(1)						4,58	3,87		45,76
3		SR5-11(1)						3,87	3,04		36,48
		CR9-1					0,75	3,04			27,12
4		SR5-11(1)						3,04	2,15		27,12
		CR3-1(45°)				1,5	1	2,15			17,76
		CR3-1(45°)				1,5	1	2,15			17,76
		CR9-1					1	2,15			17,76

Figura 22 – Perda de carga dos elementos

#### 4.5 Legendas

Na planilha de perda de carga, a escolha dos elementos é feita através de códigos. Então, esta parte da planilha de calculo destina-se explicar o qual significado de um dos códigos para identificação dos elementos ou conexões e quais valores devem ser usados e cada um deles (Figuras 23 e 24).



CODIGO DE ELEMENTOS DE DUTOS			
Função	Geometria	Categoria	Numero Sequencial
S: Suprimento	D: Redondo	1: Entradas	1, 2, 3, ..., n
		2: Saídas	
E: Exaustão/Retorno	R: Retangular	3: Cotovelos	
		4: Transições	
C: Comum (suprimento e retorno)		5: Junções	
		6: Obstruções	
		7: Ventiladores	
		8: Equipamentos montados em dutos	
		9: Dampers	

Figura 23 – Significado do código dos elementos

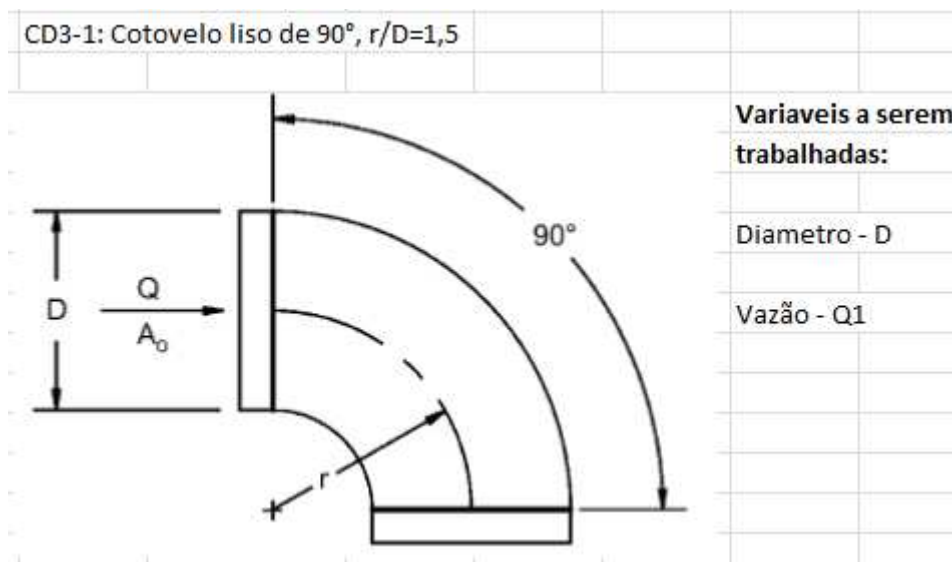


Figura 24 – Código de um elemento e as variáveis que devem ser trabalhadas na planilha de Perda de Carga

## 5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

O presente trabalho consiste em determinar a carga térmica do ambiente, para então, dimensionar a rede de dutos de um edifício para fins comerciais (Supermercado) que possui o pavimento térreo e subsolo, localizado na cidade de São Luís/MA. O ambiente a ser condicionado é apenas uma parte do pavimento térreo (local de exposição e venda de mercadorias) que possui uma área de 5.359 m<sup>2</sup>, com taxa de ocupação, como mostra o Anexo C, é de 10 pessoas por 100 m<sup>2</sup>.

- Área: 5359 m<sup>2</sup>;
- Pé-direito: 10 m;
- Temperatura externa: 36°C;
- Temperatura interna: 26°C;
- Temperatura de insuflamento: 15°C.

Como foi mencionado no item 3.2.1, os dados iniciais acima, para o cálculo da carga térmica, foram retirados do projeto de ar condicionado do Supermercado. Caso não seja feita medições no local ou não sejam fornecidos dados como o caso em questão para determinar as condições do ambiente, pode-se usar o Anexo B para determinar a temperatura exterior e a Tabela 07 para as condições de conforto para verão do local.

A temperatura do ar de insuflamento deve ser escolhida a mais baixa possível. Na prática, a temperatura do ar de insuflação seja cerca de 8 a 11°C abaixo da temperatura interna (JONES, W.P. 1983).

Tabela 07 – Condições de conforto para Verão

Finalidade	Local	Recomendável		Máxima	
		TBS (°C)	UR (%)	TBS (°C)	UR (%)
Conforto	Residências	23 a 25	40 a 60	26,5	65
	Hotéis				
	Escritórios				
	Escolas				

Tabela 07 – Condições de conforto para Verão (continuação)

Finalidade	Local	Recomendável		Máxima	
		TBS (°C)	UR (%)	TBS (°C)	UR (%)
Lojas de curto tempo de ocupação	Bancos	24 a 26	40 a 60	27	65
	Barbearias				
	Cabeleireiros				
	Lojas				
	Magazines				
Supermercados					
Ambiente com grandes cargas de calor	Teatros	24 a 26	40 a 65	27	65
	Auditórios				
	Templos				
	Cinemas				
	Estúdios de TV				
Locais de reuniões com movimento	Boates	24 a 26	40 a 65	27	65
	Salões de baile				
Ambientes de arte	Depósitos de livros, manuscritos, obras raras.	21 a 23	40 a 50	-	-
	Museus e galerias de arte	21 a 23	50 a 55	-	-
Acesso	Halls de elevadores	-	-	28	70

Fonte: HELIO CREDER, 2004, p.78.

### 5.1 Vazão do ar de insuflamento

Uma vez conhecida, a carga térmica sensível a ser retirada do recinto e as condições do ar interior e de insuflamento, podemos determinar tal vazão segundo ASHRAE 2009, pela expressão:

$$Q = \frac{q_s}{1230 \times \Delta T} \quad (27)$$

onde:

Q = vazão do ar, m<sup>3</sup>/s;

$q_s$  = carga térmica sensível do recinto, W;

$\Delta T$  = diferença de temperatura entre o recinto e o ar de insuflamento, °C.

Lembrando que este ar de insuflamento é uma mistura do ar de retorno, proveniente do recinto a ser condicionado, com o ar exterior, e sendo este ultimo seja de 10 a 40% do ar de insuflamento (ASHRAE 2009).

Tabela 08 – Ganho de Calor por Condução

<b>Itens</b>	<b>Área (m<sup>2</sup>)</b>	<b>Material e Equipamentos</b>	<b>U (W/m<sup>2</sup>*°C)</b>	<b>Carga Térmica Sensível (W)</b>
Parede Externa	803 (Norte) 803 (Sul) 639 (Oeste)	Tijolo de concreto (9 cm) Argamassa comum (2 cm)	2,98	66.818,93
Parede Interna	675 (Leste)	Tijolo de concreto (9 cm) Argamassa comum (2 cm)	2,98	12.255,10
Telhado	5.359	Laje de concreto (10 cm)	2,33	76.146,98
<b>Total</b>				<b>155.221,02</b>

Tabela 09 – Ganho de Calor por Insolação

<b>Itens</b>	<b>Área (m<sup>2</sup>)</b>	<b>Material</b>	<b>U (W/m<sup>2</sup>*°C)</b>	<b>Fator Solar (W/m<sup>2</sup>)</b>	<b>Carga Térmica Sensível (W)</b>
Parede Externa	803 (Norte) 589 (Oeste)	Tijolo de concreto (9 cm) Argamassa comum (2 cm)	2,98	-	59.832,26

Tabela 09 – Ganho de Calor por Insolação (continuação)

<b>Itens</b>	<b>Área (m<sup>2</sup>)</b>	<b>Material</b>	<b>U (W/m<sup>2</sup>*°C)</b>	<b>Fator Solar (W/m<sup>2</sup>)</b>	<b>Carga Térmica Sensível (W)</b>
Telhado	5.359	Laje de concreto (10 cm)	2,33	-	228.440,95
Superfícies Transparentes	36 (Oeste)	Vidro comum	7,01	599,2	24.094,80
<b>Total</b>					<b>312.368,01</b>

Obs.: O Fator Solar foi escolhido para o período com maior intensidade solar do ano. Segundo o Anexo C esse período se dá no mês de Outubro às 16h.

Tabela 10 – Ganho de Calor Diversos

<b>Item</b>	<b>Quantidade</b>	<b>Carga Térmica Sensível (W)</b>
Pessoas	542 pessoas	33.928,80
Iluminação	300 lâmpadas fluorescentes (2x40 W)	28.800,00
Equipamentos	18 caixas registradoras 6 expositores refrigerados	4.704,00
Ar Exterior	-	70.529,80
<b>Total</b>		<b>137.962,60</b>

Tabela 11 – Resumo da Carga Térmica Sensível

<b>Item</b>	<b>Carga Térmica Sensível (W)</b>	<b>Contribuição %</b>
Condução	155.221,02	25,63%
Insolação	312.368,01	51,58%
Pessoas	33.928,80	5,60%
Iluminação	28.800,00	4,76%
Equipamentos	4.704,00	0,78%
Ar Exterior	70.529,80	11,65%
<b>Total</b>	<b>567.742,83</b>	<b>100%</b>

Através de valores para taxas de ar exterior obtidas da NBR-16401 (Anexo D), do ASHRAE e as equações 12 e 28, obtivemos a quantidade de ar exterior, de retorno e o ar de insuflamento total. No caso do ar exterior, usamos os valores de nível 3 do Anexo D, que são valores de taxas de ar exterior onde há redução de reclamações e manifestações alérgicas.

Tabela 12 – Vazão de ar exterior, retorno e insuflamento.

	<b>Nº de pessoas</b>	<b>Área (m<sup>2</sup>)</b>	<b>F<sub>p</sub> (L/s*pessoas)</b>	<b>F<sub>a</sub> (L/s*m<sup>2</sup>)</b>	<b>Vazão (L/s)</b>	<b>Vazão (m<sup>3</sup>/s)</b>
<b>Vazão por pessoa</b>	536	-	5,7	-	3.054,63	3,05
<b>Vazão por área</b>	-	5359	-	0,5	2.679,50	2,68
<b>Ar Exterior</b>	-	-	-	-	5.734,13	5,73
<b>Ar de Insuflamento</b>	-	-	-	-	43.604,03	44,76
<b>Ar de Retorno</b>	-	-	-	-	37.869,90	39,03

## 5.2 Dutos

Para o caso em questão, o método a ser utilizado para dimensionamento da rede de dutos será: **O Método de Igual Perda.**

Este método baseia-se na circulação de ar e perdas em dutos redondos e cada trecho ou ramal possui as mesmas perdas. Tal método pode ser usado em dutos retangulares, mas será necessária a conversão da bitola do duto redondo em duto retangular equivalente com a mesma quantidade de ar e mesmas perdas. A Figura 25 e a Tabela 13 mostram o detalhamento da rede de dutos.

O método consiste em selecionar uma velocidade inicial no duto principal próximo do ventilador. Esta velocidade deduz-se da Tabela 02, para dutos de baixa pressão, em que o fator restritivo é o nível de ruído, de acordo com a vazão a ser atendida. Aqui segue um roteiro para dimensionamento de dutos:

- 1) Selecionar uma velocidade inicial (ver Tabela 3), para cada aplicação.
- 2) Determinar a área inicial do duto,  $A = Q/V$ .
- 3) Determinar as porcentagens de vazão, usando o Anexo E, nos diversos trechos do sistema com relação à vazão inicial.
- 4) Determinar as porcentagens da área (ver Anexo E).
- 5) Calcular as áreas dos diversos trechos do sistema por suas respectivas porcentagens determinadas no item 4, em relação à área inicial calculada no item 2.
- 6) Selecionar as dimensões dos diversos trechos usando o Anexo G.
- 7) Determinar a perda de carga total do percurso mais longo do sistema de dutos: calcular a taxa de perda no trecho inicial por metro para as seções de dutos retos.
- 8) Determinar as perdas de carga nos elementos do trecho mais longo: determinar  $P_v$  (pressão dinâmica) e  $P_e$  (pressão estática) usando o Anexo F.
- 9) Calcular a perda de carga da rede.

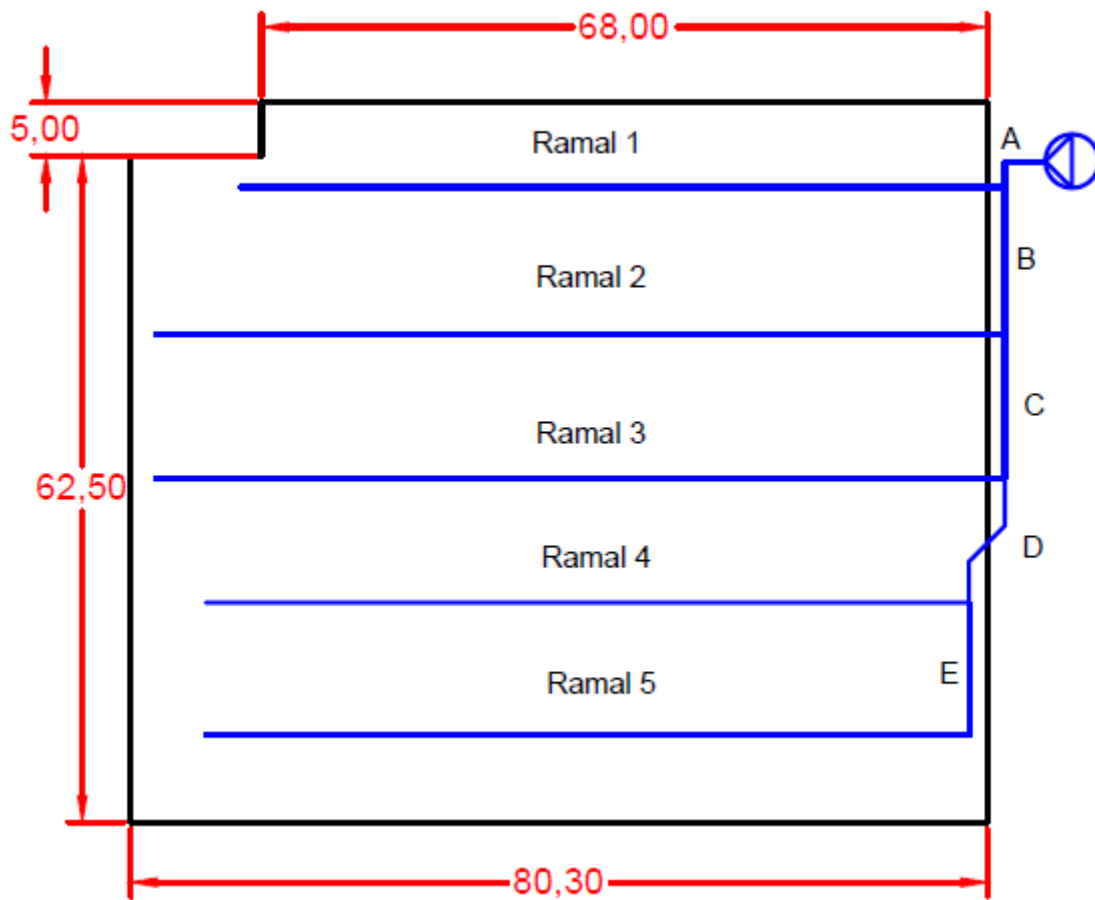


Figura 25 – Rede Proposta

Tabela 13 – Detalhamento da rede

Trecho	Comprimento (m)	Tipo de duto	Vazão (m <sup>3</sup> /s)	Nº de grelhas
<b>A</b>	6,18	Retangular	44,76	-
<b>Ramal 1</b>	70,70	Circular	8,35	32
<b>B</b>	13,83	Retangular	36,40	-
<b>Ramal 2</b>	78,70	Circular	9,36	36
<b>C</b>	13,42	Retangular	27,04	-
<b>Ramal 3</b>	78,70	Circular	9,36	36
<b>D</b>	13,10	Retangular	17,68	-
<b>Ramal 4</b>	70,8	Circular	8,84	34
<b>E</b>	12,43	Retangular	8,84	-
<b>Ramal 5</b>	70,8	Circular	8,84	34

Obs.: Nos trechos A e D, o comprimento total deles é soma dos percursos de dutos retos dos respectivos trechos.



### 5.3 Roteiro de dimensionamento

#### 5.3.1 Selecionar uma velocidade inicial.

Para selecionar a velocidade inicial, utilizou-se a Tabela 03, para o tipo de recinto em questão. A velocidade adotada foi de 10 m/s para *Lojas*.

#### 5.3.2 Determinação da área inicial do duto

Após a escolha da velocidade e calculada quantidade de ar de insuflamento podemos determinar a área inicial do duto.

Tabela 14 – Dados iniciais do duto

Vazão de ar (m <sup>3</sup> /s)	Velocidade inicial (m/s)	Área (m <sup>2</sup> )
44,76	10	4,48

#### 5.3.3 Calcular as dimensões dos diversos trechos

Nesta parte serão determinados os valores dos passos 3, 4, 5 e 6 do item 5.2 com a ajuda do Anexo E.

Tabela 15 – Dimensionamento do duto do trecho A e do Ramal 1

Trecho	Vazão (m <sup>3</sup> /s)	% Vazão	% Área	Área (m <sup>2</sup> )	D (mm)	L (mm)	H (mm)
A	44,76	100%	100,0%	4,48	2.387,16	2400	2000
1.1	8,35	18,7%	26,0%	1,16	1.217,22	-	-
1.2	7,83	17,5%	24,5%	1,10	1.181,58	-	-
1.3	7,31	16,3%	23,5%	1,05	1.157,22	-	-
1.4	6,79	15,2%	22,3%	1,00	1.126,02	-	-
1.5	6,26	14,0%	20,5%	0,92	1.080,83	-	-
1.6	5,74	12,8%	19,5%	0,87	1.054,14	-	-

Tabela 15 – Dimensionamento do duto do trecho A e do Ramal 1 (continuação)

<b>Trecho</b>	<b>Vazão (m<sup>3</sup>/s)</b>	<b>% Vazão</b>	<b>% Área</b>	<b>Área (m<sup>2</sup>)</b>	<b>D (mm)</b>	<b>L (mm)</b>	<b>H (mm)</b>
<b>1.7</b>	5,22	11,7%	18,5%	0,83	1.026,76	-	-
<b>1.8</b>	4,70	10,5%	17,0%	0,76	984,25	-	-
<b>1.9</b>	4,18	9,3%	15,5%	0,69	939,83	-	-
<b>1.10</b>	3,65	8,2%	13,8%	0,62	885,18	-	-
<b>1.11</b>	3,13	7,0%	11,5%	0,51	809,53	-	-
<b>1.12</b>	2,61	5,8%	10,5%	0,47	773,53	-	-
<b>1.13</b>	2,09	4,7%	9,0%	0,40	716,15	-	-
<b>1.14</b>	1,57	3,5%	6,3%	0,28	596,79	-	-
<b>1.15</b>	1,04	2,3%	4,5%	0,20	506,39	-	-
<b>1.16</b>	0,52	1,2%	2,8%	0,12	395,87	-	-

Tabela 16 – Dimensionamento do duto do trecho B e do Ramal 2

<b>Trecho</b>	<b>Vazão (m<sup>3</sup>/s)</b>	<b>% Vazão</b>	<b>% Área</b>	<b>Área (m<sup>2</sup>)</b>	<b>D (mm)</b>	<b>L (mm)</b>	<b>H (mm)</b>
<b>B</b>	36,40	81,34%	85,8%	3,84	2.210,54	2100	2000
<b>2.1</b>	9,36	20,9%	28,0%	1,25	1.263,17	-	-
<b>2.2</b>	8,84	19,8%	27,0%	1,21	1.240,41	-	-
<b>2.3</b>	8,32	18,6%	26,0%	1,16	1.217,22	-	-
<b>2.4</b>	7,80	17,4%	24,5%	1,10	1.181,58	-	-
<b>2.5</b>	7,28	16,3%	23,5%	1,05	1.157,22	-	-
<b>2.6</b>	6,76	15,1%	22,3%	1,00	1.126,02	-	-
<b>2.7</b>	6,24	13,9%	20,5%	0,92	1.080,83	-	-
<b>2.8</b>	5,72	12,8%	19,5%	0,87	1.054,14	-	-
<b>2.9</b>	5,20	11,6%	18,5%	0,83	1.026,76	-	-
<b>2.10</b>	4,68	10,5%	17,0%	0,76	984,25	-	-
<b>2.11</b>	4,16	9,3%	15,5%	0,69	939,83	-	-

Tabela 16 – Dimensionamento do duto do trecho B e do Ramal 2 (continuação)

<b>Trecho</b>	<b>Vazão (m<sup>3</sup>/s)</b>	<b>% Vazão</b>	<b>% Área</b>	<b>Área (m<sup>2</sup>)</b>	<b>D (mm)</b>	<b>L (mm)</b>	<b>H (mm)</b>
<b>2.12</b>	3,64	8,1%	13,8%	0,62	885,18	-	-
<b>2.13</b>	3,12	7,0%	11,5%	0,51	809,53	-	-
<b>2.14</b>	2,60	5,8%	10,5%	0,47	773,53	-	-
<b>2.15</b>	2,08	4,6%	9,0%	0,40	716,15	-	-
<b>2.16</b>	1,56	3,5%	6,3%	0,28	596,79	-	-
<b>2.17</b>	1,04	2,3%	4,5%	0,20	506,39	-	-
<b>2.18</b>	0,52	1,2%	2,8%	0,12	395,87	-	-

Tabela 17 – Dimensionamento do duto do trecho C e do Ramal 3

<b>Trecho</b>	<b>Vazão (m<sup>3</sup>/s)</b>	<b>% Vazão</b>	<b>% Área</b>	<b>Área (m<sup>2</sup>)</b>	<b>D (mm)</b>	<b>L (mm)</b>	<b>H (mm)</b>
<b>C</b>	27,04	60,43%	67,5%	3,02	1.961,25	2100	1600
<b>3.1</b>	9,36	20,9%	28,0%	1,25	1.263,17	-	-
<b>3.2</b>	8,84	19,8%	27,0%	1,21	1.240,41	-	-
<b>3.3</b>	8,32	18,6%	26,0%	1,16	1.217,22	-	-
<b>3.4</b>	7,80	17,4%	24,5%	1,10	1.181,58	-	-
<b>3.5</b>	7,28	16,3%	23,5%	1,05	1.157,22	-	-
<b>3.6</b>	6,76	15,1%	22,3%	1,00	1.126,02	-	-
<b>3.7</b>	6,24	13,9%	20,5%	0,92	1.080,83	-	-
<b>3.8</b>	5,72	12,8%	19,5%	0,87	1.054,14	-	-
<b>3.9</b>	5,20	11,6%	18,5%	0,83	1.026,76	-	-
<b>3.10</b>	4,68	10,5%	17,0%	0,76	984,25	-	-
<b>3.11</b>	4,16	9,3%	15,5%	0,69	939,83	-	-
<b>3.12</b>	3,64	8,1%	13,8%	0,62	885,18	-	-
<b>3.13</b>	3,12	7,0%	11,5%	0,51	809,53	-	-
<b>3.14</b>	2,60	5,8%	10,5%	0,47	773,53	-	-

Tabela 17 – Dimensionamento do duto do trecho C e do Ramal 3 (continuação)

Trecho	Vazão (m <sup>3</sup> /s)	% Vazão	% Área	Área (m <sup>2</sup> )	D (mm)	L (mm)	H (mm)
3.15	2,08	4,6%	9,0%	0,40	716,15	-	-
3.16	1,56	3,5%	6,3%	0,28	596,79	-	-
3.17	1,04	2,3%	4,5%	0,20	506,39	-	-
3.18	0,52	1,2%	2,8%	0,12	395,87	-	-

Tabela 18 – Dimensionamento do duto do trecho D e do Ramal 4

Trecho	Vazão (m <sup>3</sup> /s)	% Vazão	% Área	Área (m <sup>2</sup> )	D (mm)	L (mm)	H (mm)
D	17,68	39,51%	48,0%	2,15	1.653,87	2100	1200
4.1	8,84	19,8%	27,0%	1,21	1.240,41	-	-
4.2	8,32	18,6%	26,0%	1,16	1.217,22	-	-
4.3	7,80	17,4%	24,5%	1,10	1.181,58	-	-
4.4	7,28	16,3%	23,5%	1,05	1.157,22	-	-
4.5	6,76	15,1%	22,3%	1,00	1.126,02	-	-
4.6	6,24	13,9%	20,5%	0,92	1.080,83	-	-
4.7	5,72	12,8%	19,5%	0,87	1.054,14	-	-
4.8	5,20	11,6%	18,5%	0,83	1.026,76	-	-
4.9	4,68	10,5%	17,0%	0,76	984,25	-	-
4.10	4,16	9,3%	15,5%	0,69	939,83	-	-
4.11	3,64	8,1%	13,8%	0,62	885,18	-	-
4.12	3,12	7,0%	11,5%	0,51	809,53	-	-
4.13	2,60	5,8%	10,5%	0,47	773,53	-	-
4.14	2,08	4,6%	9,0%	0,40	716,15	-	-
4.15	1,56	3,5%	6,3%	0,28	596,79	-	-
4.16	1,04	2,3%	4,5%	0,20	506,39	-	-
4.17	0,52	1,2%	2,8%	0,12	395,87	-	-

Tabela 19 – Dimensionamento do duto do trecho E e do Ramal 5

Trecho	Vazão (m <sup>3</sup> /s)	% Vazão	% Área	Área (m <sup>2</sup> )	D (mm)	L (mm)	H (mm)
E	8,84	19,8%	27,0%	1,21	1.240,41	1200	1200
5.1	8,84	19,8%	27,0%	1,21	1.240,41	-	-
5.2	8,32	18,6%	26,0%	1,16	1.217,22	-	-
5.3	7,80	17,4%	24,5%	1,10	1.181,58	-	-
5.4	7,28	16,3%	23,5%	1,05	1.157,22	-	-
5.5	6,76	15,1%	22,3%	1,00	1.126,02	-	-
5.6	6,24	13,9%	20,5%	0,92	1.080,83	-	-
5.7	5,72	12,8%	19,5%	0,87	1.054,14	-	-
5.8	5,20	11,6%	18,5%	0,83	1.026,76	-	-
5.9	4,68	10,5%	17,0%	0,76	984,25	-	-
5.10	4,16	9,3%	15,5%	0,69	939,83	-	-
5.11	3,64	8,1%	13,8%	0,62	885,18	-	-
5.12	3,12	7,0%	11,5%	0,51	809,53	-	-
5.13	2,60	5,8%	10,5%	0,47	773,53	-	-
5.14	2,08	4,6%	9,0%	0,40	716,15	-	-
5.15	1,56	3,5%	6,3%	0,28	596,79	-	-
5.16	1,04	2,3%	4,5%	0,20	506,39	-	-
5.17	0,52	1,2%	2,8%	0,12	395,87	-	-

**Obs.:** Na coluna Trecho das Tabelas 15 a 19, as letras identificam os trechos do duto principal, quanto aos números pertencem aos trechos dos ramais. Lembrando que cada trecho do ramal possui duas bocas de insuflamento.

Tabela 20 – Dimensionamento das grelhas de insuflamento

	<b>NG</b>	<b>Q (m<sup>3</sup>/s)</b>	<b>v (m/s)</b>	<b>D<sub>f</sub> (m)</b>	<b>L (mm)</b>	<b>H (mm)</b>
Ramal 1	32	0,261	2	0,408	600	250
Ramal 2	36	0,260	2	0,407	600	250
Ramal 3	36	0,260	2	0,407	600	250
Ramal 4	34	0,260	2	0,407	600	250
Ramal 5	34	0,260	2	0,407	600	250

### 5.3.4 Perda de Carga

A perda de carga deve ser calculada para seleção dos ventiladores, sendo obtida pela soma das perdas de carga do percurso mais longo do duto, estende-se por todo duto principal e vai até a última grelha do Ramal 5, dos elementos (entradas, saídas, transições, filtros e outros), das perdas nas grelhas ou difusores e a pressão cinética do próprio ventilador.

Tabela 21 – Perda de Carga do trecho mais longo

<b>Trecho</b>	<b>Velocidade (m/s)</b>	<b>Area (m<sup>2</sup>)</b>	<b>D (mm)</b>	<b>L (mm)</b>	<b>H (mm)</b>	<b>ΔP linear (mmC.A./ m)</b>	<b>ΔP (mm C.A.)</b>
<b>A</b>	10,0	4,48	2.387,16	2400	2000	0,03	0,188
<b>B</b>	9,49	3,84	2.210,54	2100	2000	0,03	0,421
<b>C</b>	8,95	3,02	1.961,25	2100	1600	0,03	0,409
<b>D</b>	8,23	2,15	1.653,87	2100	1200	0,03	0,399
<b>E</b>	7,32	1,21	1.240,41	1200	1200	0,03	0,378
<b>5.1</b>	7,32	1,21	1.240,41	-	-	0,03	0,196
<b>5.2</b>	7,15	1,16	1.217,22	-	-	0,03	0,123
<b>5.3</b>	7,11	1,10	1.181,58	-	-	0,03	0,123
<b>5.4</b>	6,92	1,05	1.157,22	-	-	0,03	0,123



Tabela 22 – Perda de carga nos Elementos

Trecho	Transição		Curva		T (principal)		Damper		$\Delta P$ (mmC.A.)
	C	$\Delta P$	C	$\Delta P$	C	$\Delta P$	C	$\Delta P$	
A	-	-	0,17	1,04	-	-	-	-	1,04
B	-	-	-	-	0,04	0,22	-	-	0,22
C	-	-	-	-	0,04	0,20	0,04	0,20	0,40
D	-	-	0,1	0,82	0,08	0,33	0,04	0,17	1,32
E	-	-	-	-	0,10	0,33	0,04	0,13	0,46
5.1	-	-	0,19	0,62	-	-	-	-	0,62
5.2	0,0	0,0	-	-	-	-	-	-	0,0
5.3	0,0	0,0	-	-	-	-	-	-	0,0
5.4	0,0	0,0	-	-	-	-	-	-	0,0
5.5	0,0	0,0	-	-	-	-	-	-	0,0
5.6	0,0	0,0	-	-	-	-	-	-	0,0
5.7	0,0	0,0	-	-	-	-	-	-	0,0
5.8	0,0	0,0	-	-	-	-	-	-	0,0
5.9	0,0	0,0	-	-	-	-	-	-	0,0
5.10	0,0	0,0	-	-	-	-	-	-	0,0
5.11	0,0	0,0	-	-	-	-	-	-	0,0
5.12	0,0	0,0	-	-	-	-	-	-	0,0
5.13	0,0	0,0	-	-	-	-	-	-	0,0
5.14	0,0	0,0	-	-	-	-	-	-	0,0
5.15	0,0	0,0	-	-	-	-	-	-	0,0
5.16	0,0	0,0	-	-	-	-	-	-	0,0
5.17	0,07	0,08	-	-	-	-	-	-	0,08
<b>TOTAL</b>									<b>4,14</b>



Tabela 23 – Perda de carga nos Difusores

<b>Vb (m/s)</b>	<b>Va (m/s)</b>	<b>Vb/Va</b>	<b>Pv (Pa)</b>	<b>Ca</b>	<b>Ral</b>	<b>Cb</b>	<b>Cd</b>	<b>ΔP (mmC.A.)</b>
2	7,32	0,273	2,41	0,82	0,9	0,14	1,96	4,72

Tabela 24 – Calculo de Perda na rede

<b>P<sub>r</sub> (mmC.A.)</b>	<b>P<sub>e</sub> (mmC.A.)</b>	<b>P<sub>d</sub> (mmC.A.)</b>	<b>P<sub>total</sub> (mmC.A.)</b>
3,95	4,14	4,72	12,81

## 5.4 Discussão

No cálculo da carga térmica para conforto, a carga de insolação é, geralmente, a responsável pela maior parcela da carga térmica, o que é comprovado pela Tabela 09. A carga de insolação tem uma contribuição de 51,58% sobre carga térmica sensível, causada principalmente pelo fluxo de calor através do telhado. Esta carga térmica pode ser diminuída pelo projetista ao utilizar proteção de camadas de isolamento no teto e paredes.

A redução da carga térmica acarretaria na diminuição da quantidade de ar de insuflamento para o recinto, o que impactaria em uma redução das dimensões do duto. A redução das dimensões do duto pode ser útil, caso, haja restrição de espaço para a instalação do duto. Se houver uma restrição de espaço para a instalação do duto, pode-se ainda redimensionar o duto aumentando a velocidade de escoamento do ar, mas fazendo isso estaríamos trabalhando com uma velocidade acima daquela recomendada pela Tabela 03 para o recinto em questão, o que resultaria também em um aumento na geração de ruído e vibração.

Também se pôde observar que a vazão de ar exterior fornecida ao recinto (5,8 m<sup>3</sup>/s), equivale a 12,96% do ar de insuflamento (44,76 m<sup>3</sup>/s), isso a deixa dentro da faixa limite estabelecida pela literatura (ASHRAE 2009) que era de 10 a 40% do ar de insuflamento. Assim como a vazão, a velocidade de escoamento nos dutos de ar também manteve-se dentro dos limites estabelecidos pela Tabela 03 para recintos tipo *Lojas*, tanto para duto principal (10 m/s) quanto para os ramais (8 m/s), mas em alguns trechos tivemos velocidades que não eram condizentes com o método. Os trechos 5.6, 5.12 e 5.15 da Tabela 21 apresentaram velocidades maiores que os trechos anteriores a eles, o que não deveria acontecer já que este método resulta em velocidades mais baixas com reduções das respectivas vazões. Isso se deu pelo fato de não só termos redução da vazão, como redução de área. Apesar de termos a redução destas duas variáveis, a relação entre elas foi maior que a dos trechos anteriores a ele, que resultou em velocidades maiores.

No que se refere às grelhas de insuflamento, elas foram dimensionadas com altura no máximo de 250 mm e o menor trecho dos ramais tem o diâmetro de 395,87 mm, como mostra as tabelas 09, 10, 11, 12 e 13, portanto não será necessário o redimensionamento das grelhas. O dimensionamento dos difusores pode ser feito antes dos dutos, mas caso eles não possuam um tamanho coerente com os dutos, será necessário redimensioná-los. Aconselha-se começar com o cálculo dos dutos para evitar um redimensionamento. Como se

trata de uma instalação para conforto, evita-se dimensionar usando velocidades altas o que acarreta problemas de ruído.

Ao chegar ao ramal, observou-se que as perdas de carga nos elementos, mais precisamente as transições, diminuíram apesar da quantidade existente nele. Isso ocorreu devido à redução de área nas transições ter sido pequena, levando a perdas de cargas ínfimas, próximas de zero.

Os ventiladores são selecionados através de catálogos comerciais de fabricante, sendo necessário conhecer a perda de carga da rede de dutos e a pressão dinâmica do ventilador, que serão somados para encontrar a perda de carga do sistema. Não foi encontrado, no mercado, ventiladores com capacidade de vazão igual à vazão determinada neste trabalho (44,76 m<sup>3</sup>/s). Recomenda-se que use uma combinação de ventiladores para atender a capacidade desejada.

## 6 CONCLUSÃO

O insuflamento de ar para o recinto depende da carga térmica a ser retirada (resfriamento) ou colocada (aquecimentos). Determinam-se as condições do ambiente, que varia com a região, e o tipo de atividade que ele se destina e o tempo de permanência das pessoas no recinto. Determinando a carga térmica do sistema pode-se fazer uma melhor escolha para os equipamentos de umidificação ou desumidificação e resfriamento.

O calculo de carga térmica para conforto e dimensionamento de dutos não possui calculo complexos, mas apresentam uma grande quantidade de dados a serem determinados o que demanda tempo, tempo esse que foi reduzido com ajuda do programa Excel.

O programa Microsoft Excel mostrou-se de grande ajuda para trabalhar com as equações presentes neste trabalho. Apesar de existir uma limitação do programa para trabalhar com banco de dados, ele permitiu trabalhar com varias condições e rápida inserção de dados, o que proporcionou fazermos vários testes e correção de erros trazendo resultados satisfatórios com grande rapidez. E a utilização da base de dados dos coeficientes de perda de cargas dos elementos ou conexões do ASHRAE 2009 permitiu uma maior aproximação das perdas totais ao valor real. Enfim, conclui-se que a Planilha de Calculo criada pelo programa Microsoft Excel é precisa e compatível para trabalhar com as equações e método de dimensionamento escolhido para este trabalho.

O presente trabalho consistiu não só em obter resultados exatos do ponto de vista teórico para determinação da carga térmica e as dimensões de duto ar para recinto, mas também criar uma ferramenta, para estudantes e profissionais da área, que possa fornecer resultados precisos com maior rapidez.

### 6.1 Propostas de trabalho futuro

Ao longo da realização deste trabalho surgiram diversas ideias para implementação na ferramenta de cálculo. Assim, entre as quais, se destacam:

- Dimensionar os dutos de retorno e ar exterior;
- Utilização de outro método de dimensionamento, dando mais liberdade de escolher o método mais adequado ao recinto;

- Outro ponto a ser melhorado é quanto ao layout da rede de dutos. A planilha de calculo só é capaz de dimensionar rede de dutos que possuam ramais em paralelos, como é mostrado na Figura 23.

## REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 15220-2: **Desempenho térmico de edificações Parte 2: Métodos de cálculo da transmitância térmica, da capacidade térmica, do atraso térmico e do fator solar de elementos e componentes de edificações.** Rio de Janeiro, 2003.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 16401-1: **Instalações de ar condicionado – Sistemas centrais e unitários Parte 1: Projetos e instalações.** Rio de Janeiro, 2008.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 16401-2: **Instalações de ar condicionado – Sistemas centrais e unitários Parte 2: Parâmetros de conforto térmico.** Rio de Janeiro, 2008.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 16401-3: **Instalações de ar condicionado – Sistemas centrais e unitários Parte 3: Qualidade de ar interior.** Rio de Janeiro, 2008.

CREDER, Hélio. **Instalações de Ar Condicionado.** RJ:LTC, 2004

STOECKER, Wilbert F. JONES, J. W. **Refrigeração e Ar Condicionado.** Ed. McGraw-Hill do Brasil Ltda, 1985

Da Costa, Ennio C. **Refrigeração.** 4ª edição. Ed. Edgard Blucher, 2002

MENDES, Valdirson P. **Ar Condicionado,** Apostila, São Luís – UEMA, 2005.

JONES, W. P. **Engenharia de Ar Condicionado.** Rio de Janeiro. Editora Campus Ltda, 1983.

ASHARE, **Handbook HVC Fundamentals. Chapter 15 - Fenestration, 2009.**

ASHARE, **Handbook HVC Fundamentals. Chapter 16 - Ventilation and Infiltration, 2009.**

ASHRAE, **Handbook HVC Fundamentals. Chapter 21 - Duct design, 2009.**

TROX. **Ficha Técnica para seleção rápida de grelhas.** Disponível em: [http://www.contimetra.pt/catalogos/net\\_dep\\_arcondicionado/fichas/trox/grelhas/001\\_grelhas\\_selecao\\_trox.pdf](http://www.contimetra.pt/catalogos/net_dep_arcondicionado/fichas/trox/grelhas/001_grelhas_selecao_trox.pdf). Acesso em: 16/jun/2015.

TROX. **Ficha Técnica para seleção rápida de difusores.** Disponível em: [http://www.contimetra.com/catalogos/net\\_dep\\_arcondicionado/difusao/difusao.pdf](http://www.contimetra.com/catalogos/net_dep_arcondicionado/difusao/difusao.pdf). Acesso em: 16/jun/2015.

TRANE. **Catalogo de Produtos.** Disponível em: [http://www.trane.com/content/dam/Trane/Commercial/lar/br/produtos-sistemas/equipamentos/Unitarios/Sistemas\\_Divididos/Onix-CXPA/Catalogo\\_Produto-CXPA\(SS-PRC018E-PT1212\).pdf](http://www.trane.com/content/dam/Trane/Commercial/lar/br/produtos-sistemas/equipamentos/Unitarios/Sistemas_Divididos/Onix-CXPA/Catalogo_Produto-CXPA(SS-PRC018E-PT1212).pdf). Acesso em: 05/abril/2015.

TRANE. **Catalogo de Produtos.** Disponível em: [http://www.trane.com/content/dam/Trane/Commercial/lar/br/produtos-sistemas/equipamentos/Unitarios/Sistemas\\_Divididos/Onix-CXPA/Catalogo\\_IOM-CXPA\(SSC-SVN008C-PT1212\).pdf](http://www.trane.com/content/dam/Trane/Commercial/lar/br/produtos-sistemas/equipamentos/Unitarios/Sistemas_Divididos/Onix-CXPA/Catalogo_IOM-CXPA(SSC-SVN008C-PT1212).pdf). Acesso em: 05/abril/2015

**ANEXOS**



## ANEXO A - COEFICIENTES DE CONDUTIVIDADE TÉRMICA DE MATERIAIS

Material	$\rho$ (kg/m <sup>3</sup> )	$\lambda$ (W/(m.K))	$c$ (kJ/(kg.K))
<b>Argamassas</b>			
argamassa comum	1800-2100	1,15	1,00
argamassa de gesso (ou cal e gesso)	1200	0,70	0,84
argamassa celular	600-1000	0,40	1,00
<b>Cerâmica</b>			
tijolos e telhas de barro	1000-1300	0,70	0,92
	1300-1600	0,90	0,92
	1600-1800	1,00	0,92
	1800-2000	1,05	0,92
<b>Fibro-cimento</b>			
placas de fibro-cimento	1800-2200	0,95	0,84
	1400-1800	0,65	0,84
<b>Concreto (com agregados de pedra)</b>			
concreto normal	2200-2400	1,75	1,00
concreto cavernoso	1700-2100	1,40	1,00
<b>Concreto com pozolana ou escória expandida com estrutura cavernosa (<math>\rho</math> dos inertes <math>\sim</math>750 kg/m<sup>3</sup>)</b>			
com finos	1400-1600	0,52	1,00
	1200-1400	0,44	1,00
sem finos	1000-1200	0,35	1,00
<b>Concreto com argila expandida</b>			
dosagem de cimento > 300 kg/m <sup>3</sup> , $\rho$ dos inertes > 350 kg/m <sup>3</sup>	1600-1800	1,05	1,00
	1400-1600	0,85	1,00
	1200-1400	0,70	1,00
	1000-1200	0,46	1,00
dosagem de cimento < 250 kg/m <sup>3</sup> , $\rho$ dos inertes < 350 kg/m <sup>3</sup>	800-1000	0,33	1,00
	600-800	0,25	1,00
	< 600	0,20	1,00
concreto de vermiculite (3 a 6 mm) ou perlite expandida fabricado em obra	600-800	0,31	1,00
	400-600	0,24	1,00
dosagem (cimento/areia) 1:3	700-800	0,29	1,00
dosagem (cimento/areia) 1:6	600-700	0,24	1,00
	500-600	0,20	1,00
concreto celular autoclavado	400-500	0,17	1,00
<b>Gesso</b>			
projetado ou de densidade massa aparente elevada	1100-1300	0,50	0,84
placa de gesso; gesso cartonado	750-1000	0,35	0,84
com agregado leve (vermiculita ou perlita expandida)			
dosagem gesso:agregado = 1:1	700-900	0,30	0,84
dosagem gesso:agregado = 1:2	500-700	0,25	0,84
<b>Granulados</b>			
brita ou seixo	1000-1500	0,70	0,80
argila expandida	< 400	0,16	
areia seca	1500	0,30	2,09
areia (10% de umidade)	1500	0,93	
areia (20% de umidade)	1500	1,33	
areia saturada	2500	1,88	
terra argilosa seca	1700	0,52	0,84

**ANEXO A - COEFICIENTES DE CONDUTIVIDADE TÉRMICA DE MATERIAIS**  
(continuação)

Material	$\rho$ (kg/m <sup>3</sup> )	$\lambda$ (W/(m.K))	$c$ (kJ/(kg.K))
<b>Impermeabilizantes</b>			
membranas betuminosas	1000-1100	0,23	1,46
asfalto	1600	0,43	0,92
asfalto	2300	1,15	0,92
betume asfáltico	1000	0,17	1,46
<b>Isolantes térmicos</b>			
lã de rocha	20-200	0,045	0,75
lã de vidro	10-100	0,045	0,70
poliestireno expandido moldado	15-35	0,040	1,42
poliestireno extrudado	25-40	0,035	1,42
espuma rígida de poliuretano	30-40	0,030	1,67
<b>Madeiras e derivados</b>			
madeiras com densidade de massa aparente elevada	800-1000	0,29	1,34
carvalho, freijó, pinho, cedro, pinus	600-750	0,23	1,34
	450-600	0,15	1,34
	300-450	0,12	1,34
aglomerado de fibras de madeira (denso)	850-1000	0,20	2,30
aglomerado de fibras de madeira (leve)	200-250	0,058	2,30
aglomerado de partículas de madeira	650-750	0,17	2,30
	550-650	0,14	
placas prensadas	450-550	0,12	2,30
	350-450	0,10	2,30
placas extrudadas	550-650	0,16	2,30
compensado	450-550	0,15	2,30
	350-450	0,12	2,30
aparas de madeira aglomerada com cimento em fábrica	450-550	0,15	2,30
	350-450	0,12	2,30
	250-350	0,10	2,30
palha (capim Santa Fé)	200	0,12	
<b>Metais</b>			
aço, ferro fundido	7800	55	0,46
alumínio	2700	230	0,88
cobre	8900	380	0,38
zinco	7100	112	0,38
<b>Pedras (incluindo junta de assentamento)</b>			
granito, gneisse	2300-2900	3,00	0,84
ardósia, xisto	2000-2800	2,20	0,84
basalto	2700-3000	1,60	0,84
calcários/mármore	> 2600	2,90	0,84
outras	2300-2600	2,40	0,84
	1900-2300	1,40	0,84
	1500-1900	1,00	0,84
	< 1500	0,85	0,84
<b>Plásticos</b>			
borrachas sintéticas, poliamidas, poliésteres, polietilenos	900-1700	0,40	
polimetacrílicos de metila (acrílicos) policloreto de vinila (PVC)	1200-1400	0,20	
<b>Vidro</b>			
vidro comum	2500	1,00	0,84

Fonte: NBR 15220 – Desempenho térmico de edificações Parte 2

## ANEXO B – CONDIÇÕES EXTERNAS RECOMENDADAS PARA VERÃO (°C)

<i>Cidades</i>	<i>TBS</i>	<i>TBU</i>	<i>Temperatura Máxima</i>
<i>1. Região Norte</i>			
Macapá (AP)	34	28,5	34,7
Manaus (AM)	35	29,0	36,9
Santarém (PA)	35	28,5	37,3
Belém (PA)	33	27,0	34,9
<i>2. Região Nordeste</i>			
João Pessoa (PB)	32	26,0	—
São Luís (MA)	33	28,0	33,9
Parnaíba (PI)	34	28,0	35,2
Teresina (PI)	38	28,0	40,3
Fortaleza (CE)	32	26,0	32,4
Natal (RN)	32	27,0	32,7
Recife (PE)	32	26,0	32,6
Petrolina (PE)	36	25,5	38,4
Maceió (AL)	33	27,0	35,0
Salvador (BA)	32	26,0	33,6
Aracaju (SE)	32	26,0	—
<i>3. Região Sudeste</i>			
Vitória (ES)	33	28,0	36,1
Belo Horizonte (MG)	32	24,0	35,5
Uberlândia (MG)	33	23,5	37,6
Rio de Janeiro (RJ)	35	26,5	39,4
São Paulo (SP)	31	24,0	34,9
Santos (SP)	33	27,0	37,7
Campinas (SP)	33	24,0	37,4
Pirassununga (SP)	33	24,0	37,8
<i>4. Região Centro-Oeste</i>			
Brasília (DF)	32	23,5	34,8
Goiânia (GO)	33	26,0	37,3
Cuiabá (MT)	36	27,0	39,0
Campo Grande (MS)	34	25,0	37,0
Ponta-Porã (MS)	32	26,0	35,8
<i>5. Região Sul</i>			
Curitiba (PR)	30	23,5	33,3
Londrina (PR)	31	23,5	34,0
Foz de Iguaçu (PR)	34	27,0	38,0
Florianópolis (SC)	32	26,0	36,0
Joinville (SC)	32	26,0	36,0
Blumenau (SC)	32	26,0	36,0
Porto Alegre (RS)	34	26,0	39,0
Santa Maria (RS)	35	25,5	40,0
Rio Grande (RS)	30	24,5	—
Pelotas (RS)	32	25,5	—
Caxias do Sul (RS)	29	22,0	—
Uruguaiana (RS)	34	25,5	—

Fonte: HÉLIO CREDER, 2004

## ANEXO C – FATOR SOLAR ATRAVÉS DE VIDROS

**Tabela 3.5 Coeficientes de Transmissão do Calor Solar Através de Vidros (Fator Solar)**

22° 54' Latitude Sul	kcal/h · m <sup>2</sup> (Fator Solar) de Áreas de Vidro													Valores Máximos em Cada Orientação entre Setembro e Março			
														kcal/h · m <sup>2</sup>	W/m <sup>2</sup>		
	Verão	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18			
Hora Local																	
Dia do Ano																	
Face do Prédio																	
22 DEZEMBRO	S	87	98	68	54	49	43	41	43	49	54	65	98	87	98	113,5	
	SE	260	421	388	290	190	73	41	38	38	38	38	38	27	11	420	488,8
	E	263	440	475	426	277	122	38	38	38	38	38	38	27	11	474	551,8
	NE	95	193	222	214	157	84	43	38	38	38	38	38	27	11	222	358,6
	N	11	27	33	38	41	49	49	49	41	38	38	38	27	11	49	56,7
	NO	11	27	33	38	38	38	43	84	157	214	217	193	95	217	217	352,2
	O	11	27	33	38	38	38	38	122	277	426	434	440	263	440	440	510,8
SO	11	27	33	38	38	38	41	73	190	290	364	421	260	420	420	488,8	
CLARABÓIA	41	176	361	515	629	684	738	412	629	515	429	176	41	740	740	857,8	
21 JANEIRO	S	60	65	49	41	41	38	38	38	41	41	43	65	60	65	75,6	
	SE	228	383	372	279	160	65	38	38	38	38	35	24	11	384	444,6	
	E	244	442	480	431	296	130	38	38	38	38	35	24	11	480	558,2	
	NE	100	214	260	250	193	109	49	38	38	35	35	24	11	245	302,7	
	N	11	24	33	38	46	54	57	54	46	38	35	24	11	57	66,2	
	NO	11	24	33	35	38	38	38	109	193	250	247	214	100	250	290,1	
	O	11	24	33	35	38	38	38	130	296	431	440	442	244	443	514,0	
SO	11	24	33	35	38	38	38	65	160	279	334	383	228	384	444,6		
CLARABÓIA	30	171	347	515	624	692	733	692	624	515	407	171	30	734	851,4		
20 FEVEREIRO	S	16	24	30	35	38	38	38	38	38	35	35	24	16	38	44,1	
	SE	141	342	307	214	103	43	38	38	38	35	35	22	5	342	397,3	
	E	168	415	488	440	285	138	38	38	38	35	35	22	5	489	567,6	
	NE	92	269	342	334	304	187	79	41	38	35	35	22	5	343	397,3	
	N	5	22	33	38	52	84	106	114	106	84	52	38	22	114	132,4	
	NO	5	22	30	35	38	41	79	187	304	334	331	269	92	334	387,9	
	O	5	22	30	35	38	38	38	152	285	440	448	415	168	448	520,3	
SO	5	22	30	35	38	38	38	43	103	214	269	342	168	342	397,3		
CLARABÓIA	16	138	320	472	597	662	692	662	597	472	372	138	16	691	804,1		
22 MARÇO	S	0	16	30	35	38	38	38	38	38	35	35	16	0	38	44,1	
	SE	0	225	255	136	49	38	38	38	38	35	35	16	0	255	296,4	
	E	0	366	458	426	309	133	38	38	38	35	35	16	0	458	532,9	
	NE	0	285	385	418	369	274	147	52	38	35	35	16	0	418	485,6	
	N	0	24	57	128	179	220	228	179	128	73	24	0	229	229	264,9	
	NO	0	16	30	35	38	52	147	274	369	418	388	285	0	418	485,6	
	O	0	16	30	35	38	38	38	133	309	426	440	366	0	439	510,8	
SO	0	16	30	35	38	38	38	38	49	136	201	225	0	225	261,7		
CLARABÓIA	0	79	247	410	543	605	635	605	543	410	309	79	0	636	737,9		

Fonte: HÉLIO CREDER, 2004

## ANEXO D

Tabela D.1 – Calor liberado pelas pessoas

Temperatura Ambiente		Pessoa Sentada ou em Movimento Lento						Pessoa em Exercício Físico Moderado					
		Calor Sensível		Calor Latente		Calor Total		Calor Sensível		Calor Latente		Calor Total	
°C	°F	kcal/h	BTU/h	kcal/h	BTU/h	kcal/h	BTU/h	kcal/h	BTU/h	kcal/h	BTU/h	kcal/h	BTU/h
29	84,2	45,1	179	54,9	218	100	397	38,1	151	128	508	166,1	659
28	82,4	50,2	199	50,2	199	100	397	45,1	179	121	480	166,1	659
27	80,6	54,9	218	45,1	179	100	397	51,9	206	144,1	572	166,1	659
26	78,8	58	230	42,1	167	100	397	58	230	108,1	429	166,1	659
25	77,0	62	246	38,1	151	100	397	64	254	101,8	404	166,1	659
24	75,2	66	262	34	135	100	397	72,1	286	94	373	166,1	659
23	73,4	69,1	274	31	123	100	397	77,1	306	89	353	166,1	659
22	71,6	72,1	286	28	111	100	397	82,2	326	83,9	333	166,1	659
21	69,8	75,1	298	24,9	99	100	397	88	349	78,1	310	166,1	659

Fonte: HÉLIO CREDER, 2004, p 100.

Tabela D.2 – Vazão mínima de ar exterior para ventilação

Local	D pessoas/ 100 m <sup>2</sup>	Nível 1		Nível 2		Nível 3		Exaustão mecânica L/s* m <sup>2</sup> a
		F <sub>p</sub> L/s*pess.	F <sub>a</sub> L/s*m <sup>2</sup>	F <sub>p</sub> L/s*pess.	F <sub>a</sub> L/s*m <sup>2</sup>	F <sub>p</sub> L/s*pess.	F <sub>a</sub> L/s*m <sup>2</sup>	
<b>Comércio varejista</b>								
Supermercado de alto padrão	8	3,8	0,3	4,8	0,4	5,7	0,5	--
Supermercado de padrão médio	10	3,8	0,3	4,8	0,4	5,7	0,5	--
Supermercado popular	12	3,8	0,3	4,8	0,4	5,7	0,5	--
Mall de centros comerciais	40	3,8	0,3	4,8	0,4	5,7	0,5	--
Lojas (exceto abaixo)	15	3,8	0,6	4,8	0,8	5,7	0,9	--
Salão de beleza e/ou barbearia <sup>b</sup>	25	10	0,6	12,5	0,8	15,0	0,9	--
Animais de estimação <sup>b</sup>	10	3,8	0,9	4,8	1,1	5,7	1,4	4,5
Lavanderia "self-service"	20	3,8	0,3	4,8	0,4	5,7	0,5	--
<b>Edifícios de escritórios</b>								
Hall do edifício, recepção	10	2,5	0,3	3,1	0,4	3,8	0,5	--
Escritórios de diretoria	6	2,5	0,3	3,1	0,4	3,8	0,5	--
Escritório com baixa densidade	11	2,5	0,3	3,1	0,4	3,8	0,5	--
Escritório com média densidade	14	2,5	0,3	3,1	0,4	3,8	0,5	--
Escritório com alta densidade	20	2,5	0,3	3,1	0,4	3,8	0,5	--
Sala de reunião	50	2,5	0,3	3,1	0,4	3,8	0,5	--
CPD (exceto impressoras)	4	2,5	0,3	3,1	0,4	3,8	0,5	--
Sala impressoras, copiadoras	--	--	--	--	--	--	--	2,5
Sala digitação	60	2,5	0,3	3,1	0,4	3,8	0,5	--
"Call center"	60	3,8	0,6	4,8	0,8	5,7	0,9	--
<b>Bancos</b>								
Bancos (área do público)	41	3,8	0,3	4,8	0,4	5,7	0,5	--
Caixa forte	5	2,5	0,3	3,1	0,4	3,8	0,5	--

Tabela D.2 – Vazão mínima de ar exterior para ventilação (continuação)

Local	D pessoas/ 100 m <sup>2</sup>	Nível 1		Nível 2		Nível 3		Exaustão mecânica L/s* m <sup>2</sup> a
		F <sub>p</sub> L/s*pess.	F <sub>a</sub> L/s*m <sup>2</sup>	F <sub>p</sub> L/s*pess.	F <sub>a</sub> L/s*m <sup>2</sup>	F <sub>p</sub> L/s*pess.	F <sub>a</sub> L/s*m <sup>2</sup>	
<b>Edifícios públicos</b>								
Aeroporto – saguão <sup>c</sup>	15	3,8	0,3	5,3	0,4	5,7	0,5	--
Aeroporto – sala de embarque <sup>c</sup>	100	3,8	0,3	5,3	0,4	5,7	0,5	--
Biblioteca	10	2,5	0,6	3,5	0,8	3,8	0,9	--
Museu, galeria de arte <sup>d</sup>	40	3,8	0,3	5,3	0,4	5,7	0,5	--
Local de culto	120	2,5	0,3	3,5	0,4	3,8	0,5	--
Legislativo – plenário	50	2,5	0,3	3,5	0,4	3,8	0,5	--
Teatro, cinema, auditório – lobby	150	2,5	0,3	3,5	0,4	3,8	0,5	--
Teatro, cinema, auditório e platéia	150	2,5	0,3	3,5	0,4	3,8	0,5	--
Teatro, cinema, auditório – palco	70	5	0,3	6,3	0,4	7,5	0,5	--
Tribunal – sala de audiências	70	2,5	0,3	3,5	0,4	3,8	0,5	--
<b>Esportes</b>								
Boliche – área do público	40	5	0,6	6,3	0,8	7,5	0,9	--
Ginásio coberto (área do público)	150	3,8	0,3	4,8	0,4	5,7	0,5	--
Ginásio coberto (quadra)	--	--	0,3	--	0,4	--	0,5	--
Piscina coberta <sup>e</sup>	--	--	2,4	--	3,0	--	3,6	2,5
"Fitness center" – aeróbica	40	10	0,3	12,5	0,4	15,0	0,5	--
"Fitness center" – aparelhos	10	5	0,6	6,3	0,8	7,5	0,9	--
<b>Estabelecimentos de ensino</b>								
Sala de aula	35	5	0,6	6,3	0,8	7,5	0,9	--
Laboratório de informática	25	5	0,6	6,3	0,8	7,5	0,9	--
Laboratório de ciências	25	5	0,9	6,3	1,1	7,5	1,4	5,0
<b>Hotéis</b>								
Apartamento de hóspedes	.	5,5	--	6,9	--	10,3	--	--
Banheiro privativo	--	--	--	--	--	--	--	2,5/unid.
Lobby, sala de estar	30	3,8	0,3	4,8	0,4	5,7	0,5	--
Sala de convenções	120	2,5	0,3	3,1	0,4	3,8	0,5	--
Dormitório coletivo	20	2,5	0,3	3,1	0,4	3,8	0,5	--
<b>Restaurantes, bares, diversão</b>								
Restaurante – salão de refeições	70	3,8	0,9	4,8	1,1	5,7	1,4	--
Bar, salão de coquetel	100	3,8	0,9	4,8	1,1	5,7	1,4	--
Cafeteria, lanchonete, refeitório	100	3,8	0,9	4,8	1,1	5,7	1,4	--
Salão de jogos	120	3,8	0,9	4,8	1,1	5,7	1,4	--
Discoteca, danceteria	100	10,0	0,3	12,5	0,4	15,0	0,5	--
Jogos eletrônicos	20	3,8	0,9	4,8	1,1	5,7	1,4	--

Fonte: NBR 16401-3: Qualidade de ar interior

**ANEXO E – RELAÇÃO DE PORCENTAGEM ENTRE VAZÃO E ÁREA**

<b>CFM CAPACITY %</b>	<b>DUCT AREA %</b>	<b>CFM CAPACITY %</b>	<b>DUCT AREA %</b>	<b>CFM CAPACITY %</b>	<b>DUCT AREA %</b>	<b>CFM CAPACITY %</b>	<b>DUCT AREA %</b>
1	2.0	26	33.5	51	59.0	76	81.0
2	3.5	27	34.5	52	60.0	77	82.0
3	5.5	28	35.5	53	61.0	78	83.0
4	7.0	29	36.5	54	62.0	79	84.0
5	9.0	30	37.5	55	63.0	80	84.5
6	10.5	31	39.0	56	64.0	81	85.5
7	11.5	32	40.0	57	65.0	82	86.0
8	13.0	33	41.0	58	65.5	83	87.0
9	14.5	34	42.0	59	66.5	84	87.5
10	16.5	35	43.0	60	67.5	85	88.5
11	17.5	36	44.0	61	68.0	86	89.5
12	18.5	37	45.0	62	69.0	87	90.0
13	19.5	38	46.0	63	70.0	88	90.5
14	20.5	39	47.0	64	71.0	89	91.5
15	21.5	40	48.0	65	71.5	90	92.0
16	23.0	41	49.0	66	72.5	91	93.0
17	24.0	42	50.0	67	73.2	92	94.0
18	25.0	43	51.0	68	74.5	93	94.5
19	26.0	44	52.0	69	75.5	94	95.0
20	27.0	45	53.0	70	76.5	95	96.0
21	28.0	46	54.0	71	77.0	96	96.5
22	29.5	47	55.0	72	78.0	97	97.5
23	30.5	48	56.0	73	79.0	98	98.0
24	31.5	49	57.0	74	80.0	99	99.0
25	32.5	50	58.0	75	80.5	100	100.0

Fonte: MENDES, Valdirson P. 1995

**ANEXO F – COEFICIENTE DE PERDA DE CARGA DOS ELEMENTOS**

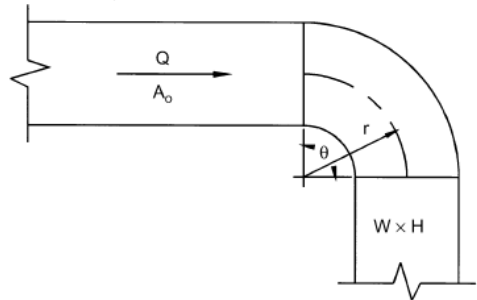
**CR3-1 Elbow, Smooth Radius, Without Vanes**

		$C_p$ Values										
		$H/W$										
$r/W$		0.25	0.50	0.75	1.0	1.50	2.0	3.0	4.0	5.0	6.0	8.0
0.50		1.53	1.38	1.29	1.18	1.06	1.00	1.00	1.06	1.12	1.16	1.18
0.75		0.57	0.52	0.48	0.44	0.40	0.39	0.39	0.40	0.42	0.43	0.44
1.00		0.27	0.25	0.23	0.21	0.19	0.18	0.18	0.19	0.20	0.21	0.21
1.50		0.22	0.20	0.19	0.17	0.15	0.14	0.14	0.15	0.16	0.17	0.17
2.00		0.20	0.18	0.16	0.15	0.14	0.13	0.13	0.14	0.14	0.15	0.15

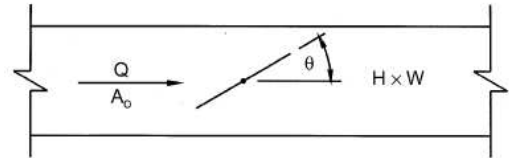
		Angle Factor $K$										
$\theta$		0	20	30	45	60	75	90	110	130	150	180
$K$		0.00	0.31	0.45	0.60	0.78	0.90	1.00	1.13	1.20	1.28	1.40

$C_o = KC_p$  where  $K$  = angle factor



**CR9-1 Damper, Butterfly**

		$C_o$ Values									
		$\theta$									
$H/W$		0	10	20	30	40	50	60	65	70	90
0.10		0.04	0.30	1.10	3.0	8.0	23.0	60.	100.	190.	9999
0.50		0.04	0.30	1.10	3.0	8.0	23.0	60.	100.	190.	9999
1.0		0.04	0.30	1.10	3.0	8.0	23.0	60.	100.	190.	9999
1.5		0.04	0.35	1.25	3.6	10.0	29.0	80.	155.	230.	9999
2.0		0.04	0.35	1.25	3.6	10.0	29.0	80.	155.	230.	9999

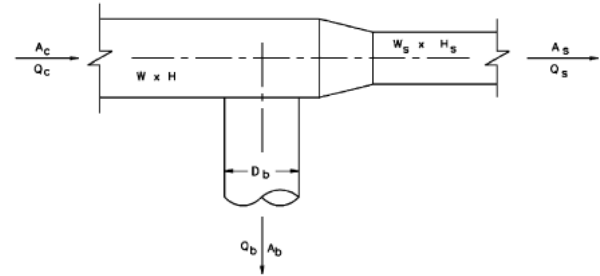


**SR5-11 Tee, Rectangular Main to Round Tap, Diverging**

		$C_b$ Values								
		$Q_b/Q_c$								
$A_b/A_c$		0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9
0.1		1.58	0.94	0.83	0.79	0.77	0.76	0.76	0.76	0.75
0.2		4.20	1.58	1.10	0.94	0.87	0.83	0.80	0.79	0.78
0.3		8.63	2.67	1.58	1.20	1.03	0.91	0.88	0.85	0.83
0.4		14.85	4.20	2.25	1.58	1.27	1.10	1.00	0.94	0.90
0.5		22.87	6.19	3.13	2.07	1.58	1.32	1.16	1.06	0.99
0.6		32.68	8.63	4.20	2.67	1.96	1.58	1.35	1.20	1.10
0.7		44.30	11.51	5.48	3.38	2.41	1.89	1.58	1.38	1.24
0.8		57.71	14.85	6.95	4.20	2.94	2.25	1.84	1.58	1.40
0.9		72.92	18.63	8.63	5.14	3.53	2.67	2.14	1.81	1.58

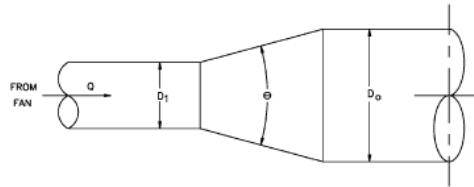
		$C_s$ Values								
		$Q_s/Q_c$								
$A_s/A_c$		0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9
0.1		0.04	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0.2		0.98	0.04	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0.3		3.48	0.31	0.04	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0.4		7.55	0.98	0.18	0.04	0.02	0.00	0.00	0.00	0.00
0.5		13.18	2.03	0.49	0.13	0.04	0.00	0.01	0.00	0.00
0.6		20.38	3.48	0.98	0.31	0.10	0.04	0.02	0.01	0.00
0.7		29.15	5.32	1.64	0.60	0.23	0.09	0.04	0.02	0.01
0.8		39.48	7.55	2.47	0.98	0.42	0.18	0.08	0.04	0.02
0.9		51.37	10.17	3.48	1.46	0.67	0.31	0.15	0.07	0.04





**ANEXO F – COEFICIENTE DE PERDA DE CARGA DOS ELEMENTOS**  
**(continuação)**

**SD4-1 Transition, Round to Round, Supply Air Systems**



$A_2/A_1$	$C_p$ Values												
	$\theta$												
	0	3	5	10	15	20	30	45	60	90	120	150	180
0.10	0.0	0.12	0.09	0.05	0.05	0.05	0.05	0.06	0.08	0.19	0.29	0.37	0.43
0.167	0.0	0.11	0.08	0.05	0.04	0.04	0.04	0.06	0.07	0.18	0.28	0.36	0.42
0.25	0.0	0.10	0.07	0.05	0.04	0.04	0.04	0.06	0.07	0.17	0.27	0.35	0.41
0.39	0.0	0.10	0.07	0.05	0.05	0.05	0.05	0.06	0.06	0.16	0.25	0.32	0.36
0.50	0.0	0.07	0.06	0.05	0.05	0.05	0.05	0.06	0.07	0.13	0.18	0.23	0.24
0.64	0.0	0.07	0.07	0.05	0.04	0.04	0.04	0.05	0.06	0.09	0.13	0.17	0.19
1.0	0.0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
2.0	0.0	0.59	0.51	0.43	0.52	0.76	1.26	1.32	1.30	1.26	1.23	1.21	1.19
4.0	0.0	3.15	2.78	2.51	3.38	4.77	7.38	9.70	10.88	10.29	10.08	9.96	9.84
6.0	0.0	6.55	6.08	6.44	9.14	11.92	17.35	23.58	27.58	26.71	26.32	26.15	25.99
10.0	0.0	19.50	18.25	20.00	27.30	38.00	58.50	76.00	80.00	83.40	84.00	83.35	82.70
16.0	0.0	45.82	44.80	50.18	73.73	96.77	153.60	215.04	225.28	225.28	225.28	225.28	225.28

Fonte: ASHRAE, 2009

**ANEXO G – DIÂMETRO EQUIVALENTE PARA DUTOS RETANGULARES**

Lgth Adj. <sup>b</sup>	Length of One Side of Rectangular Duct <i>a</i> , mm																			
	100	125	150	175	200	225	250	275	300	350	400	450	500	550	600	650	700	750	800	900
100	109																			
125	122	137																		
150	133	150	164																	
175	143	161	177	191																
200	152	172	189	204	219															
225	161	181	200	216	232	246														
250	169	190	210	228	244	259	273													
275	176	199	220	238	256	272	287	301												
300	183	207	229	248	266	283	299	314	328											
350	195	222	245	267	286	305	322	339	354	383										
400	207	235	260	283	305	325	343	361	378	409	437									
450	217	247	274	299	321	343	363	382	400	433	464	492								
500	227	258	287	313	337	360	381	401	420	455	488	518	547							
550	236	269	299	326	352	375	398	419	439	477	511	543	573	601						
600	245	279	310	339	365	390	414	436	457	496	533	567	598	628	656					
650	253	289	321	351	378	404	429	452	474	515	553	589	622	653	683	711				
700	261	298	331	362	391	418	443	467	490	533	573	610	644	677	708	737	765			
750	268	306	341	373	402	430	457	482	506	550	592	630	666	700	732	763	792	820		
800	275	314	350	383	414	442	470	496	520	567	609	649	687	722	755	787	818	847	875	
900	289	330	367	402	435	465	494	522	548	597	643	686	726	763	799	833	866	897	927	984
1000	301	344	384	420	454	486	517	546	574	626	674	719	762	802	840	876	911	944	976	1037
1100	313	358	399	437	473	506	538	569	598	652	703	751	795	838	878	916	953	988	1022	1086
1200	324	370	413	453	490	525	558	590	620	677	731	780	827	872	914	954	993	1030	1066	1133
1300	334	382	426	468	506	543	577	610	642	701	757	808	857	904	948	990	1031	1069	1107	1177
1400	344	394	439	482	522	559	595	629	662	724	781	835	886	934	980	1024	1066	1107	1146	1220
1500	353	404	452	495	536	575	612	648	681	745	805	860	913	963	1011	1057	1100	1143	1183	1260
1600	362	415	463	508	551	591	629	665	700	766	827	885	939	991	1041	1088	1133	1177	1219	1298
1700	371	425	475	521	564	605	644	682	718	785	849	908	964	1018	1069	1118	1164	1209	1253	1335
1800	379	434	485	533	577	619	660	698	735	804	869	930	988	1043	1096	1146	1195	1241	1286	1371
1900	387	444	496	544	590	633	674	713	751	823	889	952	1012	1068	1122	1174	1224	1271	1318	1405
2000	395	453	506	555	602	646	688	728	767	840	908	973	1034	1092	1147	1200	1252	1301	1348	1438
2100	402	461	516	566	614	659	702	743	782	857	927	993	1055	1115	1172	1226	1279	1329	1378	1470
2200	410	470	525	577	625	671	715	757	797	874	945	1013	1076	1137	1195	1251	1305	1356	1406	1501
2300	417	478	534	587	636	683	728	771	812	890	963	1031	1097	1159	1218	1275	1330	1383	1434	1532
2400	424	486	543	597	647	695	740	784	826	905	980	1050	1116	1180	1241	1299	1355	1409	1461	1561
2500	430	494	552	606	658	706	753	797	840	920	996	1068	1136	1200	1262	1322	1379	1434	1488	1589
2600	437	501	560	616	668	717	764	810	853	935	1012	1085	1154	1220	1283	1344	1402	1459	1513	1617
2700	443	509	569	625	678	728	776	822	866	950	1028	1102	1173	1240	1304	1366	1425	1483	1538	1644
2800	450	516	577	634	688	738	787	834	879	964	1043	1119	1190	1259	1324	1387	1447	1506	1562	1670
2900	456	523	585	643	697	749	798	845	891	977	1058	1135	1208	1277	1344	1408	1469	1529	1586	1696

Lgth Adj. <sup>b</sup>	Circular Duct Diameter, mm																			
	1000	1100	1200	1300	1400	1500	1600	1700	1800	1900	2000	2100	2200	2300	2400	2500	2600	2700	2800	2900
1000	1093																			
1100	1146	1202																		
1200	1196	1256	1312																	
1300	1244	1306	1365	1421																
1400	1289	1354	1416	1475	1530															
1500	1332	1400	1464	1526	1584	1640														
1600	1373	1444	1511	1574	1635	1693	1749													
1700	1413	1486	1555	1621	1684	1745	1803	1858												
1800	1451	1527	1598	1667	1732	1794	1854	1912	1968											
1900	1488	1566	1640	1710	1778	1842	1904	1964	2021	2077										
2000	1523	1604	1680	1753	1822	1889	1952	2014	2073	2131	2186									
2100	1558	1640	1719	1793	1865	1933	1999	2063	2124	2183	2240	2296								
2200	1591	1676	1756	1833	1906	1977	2044	2110	2173	2233	2292	2350	2405							
2300	1623	1710	1793	1871	1947	2019	2088	2155	2220	2283	2343	2402	2459	2514						
2400	1655	1744	1828	1909	1986	2060	2131	2200	2266	2330	2393	2453	2511	2568	2624					
2500	1685	1776	1862	1945	2024	2100	2173	2243	2311	2377	2441	2502	2562	2621	2678	2733				
2600	1715	1808	1896	1980	2061	2139	2213	2285	2355	2422	2487	2551	2612	2672	2730	2787	2842			
2700	1744	1839	1929	2015	2097	2177	2253	2327	2398	2466	2533	2598	2661	2722	2782	2840	2896	2952		
2800	1772	1869	1961	2048	2133	2214	2292	2367	2439	2510	2578	2644	2708	2771	2832	2891	2949	3006	3061	
2900	1800	1898	1992	2081	2167	2250	2329	2406	2480	2552	2621	2689	2755	2819	2881	2941	3001	3058	3115	3170

<sup>a</sup>Table based on  $D_e = 1.30(ab)^{0.625}/(a+b)^{0.25}$ .

<sup>b</sup>Length adjacent side of rectangular duct *b*, mm.

Fonte: ASHRAE, 2009

## ANEXO H – EQUAÇÕES UTILIZADAS NESTE TRABALHO

$$q_s = \frac{A \times k \times \Delta T}{e} \quad (1)$$

$$R = \frac{e}{k} \quad (2)$$

$$U = \frac{1}{R_T} \quad (3)$$

$$q_s = A \times U \times \Delta T \quad (4)$$

$$q_s = A \times I \quad (5)$$

$$q_s = A \times I \times FS \quad (6)$$

$$q_s = A \times U \times [(T_e - T_i) + \Delta t] \quad (7)$$

$$q_s = \frac{P \times 733}{\eta} \quad \text{ou} \quad q_s = \frac{P \times 2.490}{\eta} \quad (8)$$

$$q_s = P \times 733 \quad \text{ou} \quad q_s = P \times 2.490 \quad (9)$$

$$q_s = \left(\frac{P}{\eta} - P\right) \times 733 \quad \text{ou} \quad q_s = \left(\frac{P}{\eta} - P\right) \times 2.490 \quad (10)$$

$$q_s = P \quad (11)$$

$$V_{ef} = P_z \times F_p + A_z \times F_a \quad (12)$$

$$q_s = Q \times \rho \times c_p \times \Delta T \quad (13)$$

$$q_s = 1230 \times Q \times \Delta T \quad (14)$$

$$q_l = Q \times \rho \times \Delta W \times (2501 + 1,805T) \quad (15)$$

$$Q = A \times v \quad (16)$$

$$P_v = \frac{1}{2} \rho \times v^2 \quad (17)$$

$$\Delta p_e = \frac{1000fL}{D} \times \frac{\rho v^2}{2} \quad (18)$$

$$f = \frac{16}{Re} \quad (19)$$

$$f = \frac{0,25}{\left[\log\left(\frac{\varepsilon}{3,7D} + \frac{5,74}{Re^{0,9}}\right)\right]^2} \quad (20)$$

$$D_{eq} = \frac{1,3(ab)^{0,625}}{(a+b)^{0,25}} \quad (21)$$

$$v = 242,4 \sqrt{P_v} \quad (22)$$

**ANEXO H – EQUAÇÕES UTILIZADAS NESTE TRABALHO (continuação)**

$$\Delta p = c \times P_v \quad (23)$$

$$Q_g = \frac{Q_t}{NG} \quad (24)$$

$$D_f = \sqrt{\frac{4Q_g}{\pi v_f}} \quad (25)$$

$$\Delta P_d = C_d \times P_v \quad (26)$$

$$C_d = C_a + C_b + 1 \quad (27)$$