



**UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ
CENTRO DE TECNOLOGIA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA MECÂNICA
CURSO DE ENGENHARIA MECÂNICA**

LUCAS MESQUITA MORENO

**CONCEPÇÃO E DIMENSIONAMENTO DE REDES DE DUTOS DE VENTILAÇÃO
PARA UNIDADES DE TRATAMENTO INTENSIVO**

FORTALEZA

2017

LUCAS MESQUITA MORENO

CONCEPÇÃO E DIMENSIONAMENTO DE REDES DE DUTOS DE VENTILAÇÃO
PARA UNIDADES DE TRATAMENTO INTENSIVO

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de Graduação em Engenharia Mecânica da Universidade Federal do Ceará, como requisito parcial para obtenção do grau de Bacharel em Engenharia Mecânica.

Orientador: Prof. Dr. Clodoaldo de Oliveira Carvalho Filho.

FORTALEZA

2017

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação
Universidade Federal do Ceará
Biblioteca Universitária
Gerada automaticamente pelo módulo Catalog, mediante os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

- M842c Moreno, Lucas Mesquita.
Concepção e dimensionamento de redes de dutos de ventilação para unidades de tratamento intensivo /
Lucas Mesquita Moreno. – 2017.
56 f. : il. color.
- Trabalho de Conclusão de Curso (graduação) – Universidade Federal do Ceará, Centro de Tecnologia,
Curso de Engenharia Mecânica, Fortaleza, 2017.
Orientação: Prof. Dr. Clodoaldo de Oliveira Carvalho Filho.
1. Rede de dutos. 2. ABNT NBR 7256. 3. Unidades de tratamento intensivo. 4. Dimensionamento de
dutos. I. Título.

CDD 620.1

LUCAS MESQUITA MORENO

CONCEPÇÃO E DIMENSIONAMENTO DE REDES DE DUTOS DE VENTILAÇÃO
PARA UNIDADES DE TRATAMENTO INTENSIVO.

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de Engenharia Mecânica do Departamento de Engenharia Mecânica da Universidade Federal do Ceará, como requisito parcial para obtenção do grau de Bacharel em Engenharia Mecânica.

Aprovada em: 15/12/2017.

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr. Clodoaldo de Oliveira Carvalho Filho (Orientador)
Universidade Federal do Ceará (UFC)

Prof. Dr. Claus Franz Wehmann
Universidade Federal do Ceará (UFC)

Prof. Dr. Roberto de Araújo Bezerra
Universidade Federal do Ceará (UFC)

A Deus.

Aos meus pais, Marcelo e Débora.

À minha querida avó paterna, Francisca.

À Juliana, e a todos os meus amigos.

AGRADECIMENTOS

Ao professor Clodoaldo por toda a orientação fornecida durante a elaboração do trabalho, como também à banca examinadora por ter aceitado o convite.

À minha família que sempre me forneceu apoio nos momentos bons e ruins durante o período de graduação. À Juliana por todo o apoio e por sempre ter acreditado em mim e em minhas capacidades.

Aos colegas de trabalho Pedro Lisboa e Assis Feitosa, os quais auxiliaram durante as atividades de estágio supervisionado.

Aos meus amigos de graduação e de vida: Eliezer Batista, Gilderlânio Barbosa, Handerson Rodrigues, Levi Pio, Augusto Adolfo, Rafael Marques, Rodrigo Chaves, Uenes Silva, Francisco Lucas, Raiane Costa e Pâmela Soares, os quais me ajudaram durante a jornada acadêmica.

“Otimismo é esperar pelo melhor. Confiança é saber lidar com o pior”

(Roberto Simonsen)

RESUMO

A qualidade do ar interior (QAI) de hospitais deve ser garantida para que os ocupantes estejam protegidos de infecções por micro-organismos presentes no ar. A garantia dessa qualidade ocorre pela integração de diversos fatores, que incluem desde a etapa de projeto da edificação e de seus sistemas de condicionamento de ar até a operação e manutenção desses sistemas. O presente trabalho propõe estabelecer e aplicar uma metodologia adequada que deve ser seguida para uma boa prática de concepção e dimensionamento de redes de dutos de ventilação para unidades de tratamento intensivo (UTI), de forma a garantir a qualidade do ar interior. A metodologia de dimensionamento foi aplicada para os ambientes de UTI de um hospital público da cidade de Fortaleza-CE utilizando o método da fricção constante e posterior redimensionamento para que a rede de dutos ficasse balanceada. O desenho da rede foi feito na planta baixa dos ambientes da UTI do hospital após a determinação das dimensões de cada duto. Além de fornecer resultados referentes às dimensões da rede, o processo de dimensionamento também forneceu dados acerca do grau de desbalanceamento presente em alguns trechos do sistema concebido, fornecendo um indicativo de que deve ser promovida uma abertura ou fechamento de registros na rede de dutos.

Palavras-chave: rede de dutos, ABNT NBR 7256, unidades de tratamento intensivo, dimensionamento de dutos.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1	- Divisão e numeração de uma rede de dutos.	24
Figura 2	- Carta de atrito para dutos circulares.	25
Figura 3	- Logo do Hospital Geral Waldemar Alcântara.	30
Figura 4	- Entrada do hospital.	30
Figura 5	- Unidade evaporadora da UTI Adulto.	31
Figura 6	- Unidade evaporadora da UTI Pediátrica e Neonatal.	32
Figura 7	- Unidades condensadoras.	32
Figura 8	- Planta baixa fornecida para o projeto dos dutos de climatização.	33
Figura 9	- Localização da nova UTA	35
Figura 10	- Disposição dos componentes da UTA.	35
Figura 11	- Localização das grelhas e difusores (berçário e neonatal).	37
Figura 12	- Localização das grelhas e difusores (UTI pediátrica).	38
Figura 13	- Esboço da rede de dutos (berçário e neonatal).	39
Figura 14	- Esboço da rede de dutos (UTI pediátrica).	39
Figura 15	- Esboço da rede de dutos.	40
Figura 16	- Numeração dos dutos (retorno).	40
Figura 17	- Numeração dos dutos (insuflamento).	41
Figura 18	- Desenho da rede de dutos (retorno).	43
Figura 19	- Desenho da rede de dutos (insuflamento).	44
Figura 20	- Desenho da rede de dutos.	44

LISTA DE TABELAS

Tabela 1	- Parâmetros de projeto segundo ABNT NBR 7256.	16
Tabela 2	- Requisitos de vazão segundo ANSI/ASHRAE 62.1.	17
Tabela 3	- Requisitos de vazão segundo ABNT NBR 16401-3.	18
Tabela 4	- Características da UTA.	33
Tabela 5	- Requisitos dos ambientes a serem climatizados.	34
Tabela 6	- Área dos ambientes.	34
Tabela 7	- Vazões mínimas de renovação e total de cada ambiente.	36
Tabela 8	- Especificações das grelhas e difusores utilizadas no projeto.	37
Tabela 9	- Vazões nos dutos de retorno.	41
Tabela 10	- Vazões nos dutos de insuflamento.	42
Tabela 11	- Balanceamento dos dutos de retorno.	43

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
NBR	Norma Brasileira Regulamentar
UTI	Unidade de Tratamento Intensivo
QAI	Qualidade do Ar Interno
ANSI	<i>American National Standards Institute</i>
ASHRAE	<i>American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers</i>
UTA	Unidade de Tratamento de Ar
OMS	Organização Mundial da Saúde
ANVISA	Agência Nacional de Vigilância Sanitária
EAS	Estabelecimentos Assistenciais de Saúde
SMACNA	<i>Sheet Metal and Air-Conditioning Contractors National Association</i>
HVAC	<i>Heating, Ventilation and Air-Conditioning</i>
SUS	Sistema Único de Saúde
DAE	Departamento de Arquitetura e Engenharia
TR	Tonelada de Refrigeração

LISTA DE SÍMBOLOS

\dot{Q}	Vazão volumétrica [m ³ /h]
Q''	Vazão volumétrica por unidade de área [m ³ /h/m ²]
Δp	Perda de carga [Pa]
μ	Perda de carga unitária [Pa/m]
ρ	Densidade [kg/m ³]
ε	Rugosidade absoluta [mm]
ν	Viscosidade cinemática [m ² /s]

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	14
1.1	Objetivos.....	15
<i>1.1.1</i>	<i>Objetivos gerais.....</i>	<i>15</i>
<i>1.1.2</i>	<i>Objetivos específicos.....</i>	<i>15</i>
2	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	16
3	METODOLOGIA.....	19
3.1	Localização das máquinas e equipamentos.....	19
3.2	Distribuição do ar.....	20
3.3	Seleção dos dutos.....	21
3.4	Esboço do <i>layout</i> dos dutos.....	22
3.5	Numeração dos dutos e determinação das vazões em cada seção.....	24
3.6	Dimensionamento dos dutos.....	25
<i>3.6.1</i>	<i>Perdas de carga distribuídas em um duto.....</i>	<i>26</i>
<i>3.6.2</i>	<i>Perdas de carga localizadas em dutos.....</i>	<i>28</i>
3.7	Elaboração do desenho.....	29
4	ESTUDO DE CASO.....	30
4.1	O Hospital.....	30
4.2	A questão do condicionamento de ar.....	31
4.3	Parâmetros e dados de projeto.....	33
5	RESULTADOS E DISCUSSÃO	35
5.1	Localização das máquinas e equipamentos.....	35
5.2	Distribuição do ar.....	36
5.3	Seleção dos dutos.....	38
5.4	Esboço do <i>layout</i> dos dutos.....	38
5.5	Numeração dos dutos e determinação das vazões em cada seção.....	40
5.6	Dimensionamento dos dutos.....	42
5.7	Elaboração do desenho.....	43
6	CONCLUSÃO.....	45
	REFERÊNCIAS.....	46

ANEXO A – ACESSÓRIOS E SINGULARIDADES UTILIZADAS.....	47
ANEXO B – MEMORIAL DE CÁLCULO DO DIMENSIONAMENTO DA REDE.....	50
ANEXO C – DADOS DE BALANCEAMENTO DA REDE DE DUTOS...	57

1 INTRODUÇÃO

Garantir a qualidade do ar interno (QAI) nos recintos é importante para que os ocupantes estejam protegidos e seguros de efeitos prejudiciais de determinados contaminantes (sejam de origem física, química ou biológica). Em ambientes hospitalares, por exemplo, a QAI deve ser garantida com a principal finalidade de se evitar que doenças infecciosas venham a criar um surto generalizado.

Um dos fatores que garantem a QAI de um ambiente hospitalar é a realização de um projeto e manutenção adequados do sistema de ventilação de forma a minimizar a contaminação bacteriana. (OMS, 2002) Em ambientes de isolamento, o sistema de ventilação deve estar equipado com filtros e deve pressurizar negativamente o ambiente de forma a evitar que correntes de ar escapem, fazendo assim com que doenças bacterianas como a tuberculose e varicela não sejam transmitidas para os ocupantes do hospital. (CALIL, 2015)

O presente trabalho propõe apresentar uma metodologia adequada que deve ser seguida para a concepção e o dimensionamento de uma rede de dutos de ventilação para uma unidade de tratamento intensivo (UTI) de forma a garantir a QAI do ambiente. O projeto dessa rede é semelhante aos projetos de redes de dutos presentes em outros ambientes, entretanto, alguns requisitos especiais precisam ser atendidos. (DRAKE, 2006) Estes requisitos se referem a questões relacionadas ao controle de infecções, e se encontram presentes em diretrizes e normas técnicas. (DRAKE, 2006)

Segundo Silva et al (2013), os ventiladores e os ar-condicionados são fontes internas geradoras de partículas capazes de carrear microrganismos causadores de infecção hospitalar. Entre os microrganismos, encontram-se *Aspergillus* spp, *Mycobacterium tuberculosis* e *Legionella* spp, bactéria responsável por surtos de pneumonia graves, doenças febris benignas, pericardites, endocardites e abscessos de pele. O surgimento de *Legionella* em ambientes hospitalares é associado às coleções de água em umidificadores e nebulizadores e, principalmente, ao acúmulo de água em bandejas de condensado do ar-condicionado.

Embora o percentual de infecções transmitidas pelo ar em ambientes hospitalares seja pequeno, o número é significativo o bastante para justificar o cuidado no projeto de sistemas de condicionamento de ar para estes ambientes. (ASHRAE, 2013). Segundo dados do Estado de São Paulo, em 2008, a cada 1000 dias de uso de ventilador em Unidades de Tratamento Intensivo (UTI) de adultos, a mediana da incidência de pneumonia associada à ventilação mecânica foi de 16,25 casos. (ANVISA, 2009).

1.1 Objetivos

1.1.1 Objetivo Geral

- Estabelecer uma metodologia adequada para a concepção e o dimensionamento de redes de dutos de ventilação para garantir a qualidade do ar interior de unidades de tratamento intensivo de ambientes hospitalares.

1.1.2 Objetivos Específicos

- Determinar as vazões de ar requeridas pelos ambientes das UTI;
- Fazer o memorial de cálculo para o dimensionamento dos dutos de ventilação;
- Traçar o desenho da rede de dutos para os ambientes das UTI.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

No Brasil, as normas técnicas ABNT NBR 16401-1 (Instalações de ar-condicionado – Sistemas centrais e unitários Parte 1: Projetos das instalações) e ABNT NBR 16401-3 (Instalações de ar-condicionado – Sistemas centrais e unitários Parte 3: Qualidade do ar interior) norteiam o projeto de dutos para fins de ventilação e climatização. A última publicação dessas normas foi no ano de 2008.

Tratando de ambientes hospitalares, a norma técnica ABNT NBR 7256 (Tratamento de ar em estabelecimentos assistenciais de saúde (EAS) - Requisitos para projeto e execução das instalações) norteia projetos de condicionamento de ar em estabelecimentos de saúde. Esta norma, a qual foi publicada no ano de 2005, tem como objetivo estabelecer os requisitos mínimos necessários para projeto e execução de instalações de tratamento de ar em EAS. Esses requisitos referem-se a faixas de temperatura, umidade, nível de pressurização do ambiente, nível de filtragem, nível de ruído e taxas de vazão de ar que devem ser utilizadas no projeto dos sistemas de condicionamento de ar dos ambientes dos EAS. A tabela 1 apresenta alguns desses requisitos.

Tabela 1: Parâmetros de projeto segundo ABNT NBR 7256.

Tabela A.1 - Parâmetros de projeto									
Ambientes (01)	Nível de risco (02)	Situação a controlar (03)	Temperatura °C (04)	Umidade relativa % (04)	Vazão mín. de ar exterior (m ³ /h) / m ² (05)	Vazão mín. de ar total (m ³ /h) / m ² (06)	Nível de pressão (07)	Filtragem mínima Insuflam (08)	Nível de ruído dB(A) (09)
Atendimento ambulatorial									45
Enfermagem									
Sala de inalação ^{4) 5) 10)}	2	AgB, AgQ	21 - 24 (op)	-		18		G4	
Atendimento imediato									45
Atendimento de urgências e emergências									
Sala de procedimentos invasivos	2	AgB	21 - 24	40 - 60	6	18	(+)	G3 + F7	
Sala de emergência (politraumatismo, parada cardíaca)	2	AgB	21 - 24	40 - 60	6	18		G4	
Sala de isolamento ^{4) 5) 10)}	2	AgB	21 - 24 (op)	-		18		G4	
Internação									40
Internação geral									
Quarto para internação de TMO e outros transplantados ²⁾	3	AgB	21 - 24	40 - 60	6	36	(+)	G3 + F7 + A3	
Quarto para paciente com infecção transmitida pelo ar ^{2) 4) 5) 8) 10)}	3	AgB	21 - 24	40 - 60		18	(-)	G4	
Internação de recém-nascido									
Berçário de cuidados intensivos (UTI neonatal) ¹⁾	2	AgB, TE	22 - 26	40 - 60	6	18	(+)	G4	
Internação intensiva (UTI/CTI)							(+)		
Quarto ou área coletiva	2	AgB	21 - 24	40 - 60	6	18	(+)	G3 + F7	
Quarto para isolamento de TMO e outros transplantados ²⁾	3	AgB	21 - 24	40 - 60	6	38	(+)	G3 + F7 + A3	

Fonte: ABNT (2008).

Para a realização de um projeto de condicionamento de ar de ambientes hospitalares, é necessário utilizar os parâmetros de projeto e atender os requisitos apresentados pela norma técnica ABNT NBR 7256. Além disso, o projeto também deve atender alguns requisitos apresentados pelas normas técnicas ABNT NBR 16401-1 e ABNT

NBR 16401-3.

A nível internacional, tem-se as normas ANSI/ASHRAE 62.1 (*Ventilation for acceptable indoor air quality*) e ANSI/ASHRAE 170 (*Ventilation of Health Care Facilities*). As duas últimas edições das normas internacionais ANSI/ASHRAE 62.1 e 170 foram publicadas nos anos de 2016 e 2013, respectivamente.

Ambas as normas também tratam do desenvolvimento e elaboração de projetos de condicionamento de ar, estando a ANSI/ASHRAE 62.1 para a ABNT NBR 16401-3 como a ANSI/ASHRAE 170 para a ABNT NBR 7256. Os requisitos de vazão apresentados pelas normas brasileiras são baseados nos requisitos de vazão presentes nas normas internacionais da ASHRAE (*American Society of Heating, Refrigerating and Air Conditioning Engineers*). As tabelas 2 e 3 apresentam alguns requisitos de vazão para ambientes selecionados.

Tabela 2: Requisitos de vazão segundo ANSI/ASHRAE 62.1.

TABLE 6.2.2.1 Minimum Ventilation Rates in Breathing Zone (Continued)
(This table is not valid in isolation; it must be used in conjunction with the accompanying notes.)

Occupancy Category	People Outdoor Air Rate R_p		Area Outdoor Air Rate R_a		Notes	Default Values			Air Class
	cfm/person	L/s-person	cfm/ft ²	L/s·m ²		Occupant Density (see Note 4)	Combined Outdoor Air Rate (see Note 5)		
						#/1000 ft ² or #/100 m ²	cfm/person	L/s-person	
Retail									
Sales (except as below)	7.5	3.8	0.12	0.6		15	16	7.8	2
Mall common areas	7.5	3.8	0.06	0.3		40	9	4.6	1
Barbershop	7.5	3.8	0.06	0.3		25	10	5.0	2
Beauty and nail salons	20	10	0.12	0.6		25	25	12.4	2
Pet shops (animal areas)	7.5	3.8	0.18	0.9		10	26	12.8	2
Supermarket	7.5	3.8	0.06	0.3		8	15	7.6	1
Coin-operated laundries	7.5	3.8	0.12	0.6		20	14	7.0	2

Fonte: ASHRAE (2013).

Além das normas técnicas mencionadas, há também a resolução RDC nº50 da ANVISA, a qual dispõe sobre o Regulamento Técnico para planejamento, programação, elaboração e avaliação de projetos físicos de Estabelecimentos Assistenciais de Saúde. As disposições presentes nesta resolução devem ser atendidas pelos projetos de EAS, e a falta de conformidade entre os projetos e as disposições resultam em infrações sanitárias.

Tabela 3: Requisitos de vazão segundo ABNT NBR 16401-3.

Tabela 1 — Vazão eficaz mínima de ar exterior para ventilação

Local	D pessoas/ 100 m ²	Nível 1		Nível 2		Nível 3		Exaustão mecânica L/s* m ² a
		F _p L/s*peess.	F _a L/s*m ²	F _p L/s*peess	F _a L/s*m ²	F _p L/s*peess	F _a L/s*m ²	
Comércio varejista								
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 ^b	25	10	0,6	12,5	0,8	15,0	0,9	--
Animais de estimação ^b	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	--

Fonte: ABNT (2008)

3 METODOLOGIA

O projeto de dutos de ventilação para um ambiente hospitalar segue os mesmos princípios de projeto de dutos para ambientes de utilização comum com o acréscimo de alguns requisitos referentes ao controle de infecções. Entre os requisitos encontram-se os níveis de pressurização que alguns ambientes devem ter para evitar que doenças transmissíveis pelo ar se espalhem pelos ambientes do hospital. Além disso, os requisitos também se referem à questão da distribuição do ar entre os dutos de insuflamento e retorno, não permitindo que o ar seja recirculado entre alguns ambientes.

A metodologia apresentada seguirá as etapas pertinentes à concepção e dimensionamento de dutos propostas pela ASHRAE. À medida que as etapas forem apresentadas e detalhadas, serão levados em consideração os requisitos previstos nas normas técnicas citadas anteriormente, de forma que se possa conceber e dimensionar uma rede de dutos que garanta a qualidade do ar ambiente.

3.1 Localização das máquinas e equipamentos

Nessa etapa, deve ser prevista a localização das máquinas e equipamentos previstos pela rede de dutos. Entre esses equipamentos, pode-se citar ventiladores, filtros, caixas de filtragem, serpentinas de aquecimento e resfriamento, umidificadores e atenuadores.

A recomendação geral de projeto é que as máquinas e equipamentos sejam locados a partir da tomada de ar externo na edificação para a qual se está projetando a rede de dutos. A locação da tomada de ar externo deve ser feita de maneira a garantir que contaminantes que podem estar presentes no ar não venham a diminuir a QAI do interior da edificação. Os contaminantes incluem partículas e gases, os quais podem vir a causar problemas respiratórios e cardiovasculares caso estejam em altas concentrações no ar.

Geralmente, os equipamentos da rede são locados em uma sala de máquinas no interior da edificação. Tratando-se de ambientes hospitalares, alguns requisitos quanto à sala de máquinas devem ser atendidos de acordo com a norma ABNT NBR 7256:

- As salas de máquinas devem ser acessíveis para manutenção sem que seja necessário penetrar em ambientes de nível de risco 2 ou 3. Sua localização em piso técnico separado é recomendada;

- As salas de máquinas devem ter acabamento liso e lavável, e ser pintadas de cor clara e mantidas limpas, não sendo admissível seu uso como depósito ou outras finalidades;

- Todos os componentes devem ser projetados e instalados de forma a facilitar ao máximo o acesso para limpeza e manutenção, inclusive a substituição dos filtros;

- As salas de máquinas para equipamentos não podem servir de *plenum* de mistura de ar exterior e de retorno, que devem ser conduzidos por dutos até a caixa de mistura do condicionador.

3.2 Distribuição do ar

Nessa etapa, deve ser definida como será realizada a distribuição do ar pelos ambientes servidos pelas redes de dutos. De uma forma geral, deve-se planejar os pontos de insuflamento e de retorno de ar, e os tipos e as quantidades de grelhas e difusores que devem ser utilizados. Essa é uma etapa que envolve um estudo e uma seleção cuidadosa dos equipamentos e de sua localização nos ambientes de forma a garantir uma distribuição uniforme de ar.

Inicialmente, deve-se verificar os requisitos de vazão de ar externo e de vazão de ar total (ar externo mais ar de retorno) na norma técnica ABNT 7256. A norma traz vários requisitos de vazão de ar por m², a depender do ambiente a ser ventilado. Um quarto ou área coletiva de internação intensiva, por exemplo, deve ter uma vazão mínima de ar externo de 6m³/h para cada m², e de 18m³/h de vazão de ar total para cada m².

Com a área total do ambiente a ser ventilado pelo sistema de dutos, pode-se calcular as vazões mínimas de ar externo e de ar total por meio de:

$$\dot{Q}_{\text{externo}} = A_{\text{ambiente}} \cdot Q''_{\text{mínima de ar externo}} \quad (1)$$

$$\dot{Q}_{\text{ar total}} = A_{\text{ambiente}} \cdot Q''_{\text{mínima de ar total}} \quad (2)$$

- \dot{Q}_{externo} : vazão mínima de ar externo requisitada pelo ambiente, em m³/h;
- $\dot{Q}_{\text{ar total}}$: vazão mínima de ar total requisitada pelo ambiente, em m³/h;
- A_{ambiente} : área do ambiente a ser ventilado, em m²;
- $Q''_{\text{mínima de ar externo}}$: vazão mínima de ar externo requisitada por m², em m³/h/m²;
- $Q''_{\text{mínima de ar total}}$: vazão mínima de ar total requisitada por m², em m³/h/m².

As vazões de ar calculadas por meio de (1) e (2) promoverão uma diluição dos gases e odores gerados no ambiente, como também garantirão o transporte das partículas e microrganismos para o sistema de filtragem presente no sistema de dutos.

Após o cálculo das vazões de ar, deve-se determinar a localização das grelhas e difusores no ambiente, como também seus tipos e quantidades. A localização de cada um

desses componentes deve ser feita em função dos seguintes requisitos presentes na norma 7256:

- As entradas e saídas de ar devem promover a movimentação do ar ambiente sempre no sentido da área menos contaminada para a área mais contaminada do ambiente ;
- Devem ser evitados curtos-circuitos de ar entre insuflamento e retirada mecânica, para que todo o ar insuflado atinja e percorra toda a área ocupada antes de ser retirado do recinto;
- O insuflamento do ar deve ser projetado de forma e minimizar a turbulência do ar ambiente;
- O ar de retorno deve ser captado por grelhas situadas na periferia do recinto. A maior parte do ar retirado (aproximadamente 70%) deve ser tomada por grelhas próximas ao piso e o restante por grelhas no teto ou próximas ao teto. Havendo um sistema separado de exaustão, as grelhas de exaustão devem ser sempre as situadas junto ao piso.

Os tipos de difusores e grelhas a serem escolhidos dependerão da disposição dos espaços a serem ventilados e da distribuição espacial das pessoas que ocuparão os ambientes, como também dos requisitos de vazão. Esses equipamentos devem ser selecionados de acordo com as instruções de fabricantes presentes em catálogos e manuais.

Para um projeto adequado, deve-se ter os dados de perda de carga e do nível de ruído que as grelhas e os difusores adicionam ao sistema de dutos. Esses dados geralmente estão presentes em catálogos de fabricantes, e devem ser utilizados para que os resultados do projeto estejam mais próximos da realidade.

3.3 Seleção dos dutos

Nessa etapa, deve ser feita a seleção dos dutos no que se refere ao tipo de material construtivo, como também a forma destes que será utilizada. Essa seleção se dá em função de requisitos presentes em normas técnicas, como também em fatores que são convenientes e adequados à aplicação.

Quanto ao tipo de material a ser utilizado na construção de dutos para ambientes hospitalares, a norma 7256 apresenta os seguintes requisitos:

- Os dutos devem ser de construção metálica, de acordo com as recomendações do manual *SMACNA – HVAC Duct Construction Standards, Metal and Flexible*;
- Materiais de revestimento, para isolamento térmico, acústico ou para vedação devem apresentar índice de propagação de chama classe A de acordo com a ABNT NBR

9442;

- Os dutos devem apresentar superfície interna isenta de rugosidade. Revestimentos internos só são admissíveis a montante do segundo estágio de filtragem, sendo vetado o uso de revestimento que impossibilite ou prejudique a limpeza ou libere partículas;

- A jusante do terceiro estágio de filtragem, os dutos devem ser construídos de materiais resistentes à corrosão, como o alumínio ou aço inoxidável, e ter suas superfícies internas acessíveis para limpeza.

Quanto à seleção da forma dos dutos, dutos circulares, por exemplo, possuem perímetro menor como também são mais leves em relação a dutos retangulares que possuem mesmo diâmetro equivalente. Esses tipos de dutos são preferíveis a serem utilizados em aplicações em que não há restrição de espaço para instalação dos dutos. Quando há restrição de espaço para instalação, seja devido à altura do forro como também à presença de obstruções, os dutos retangulares e ovais são mais indicados.

A norma 7256 traz o seguinte requisito referente à seleção dos dutos que deve ser atendido na elaboração do projeto:

- Componentes como dutos flexíveis ou espiralados não podem ser instalados a jusante do último estágio de filtragem em ambientes de nível de risco 2 ou 3.

3.4 Esboço do *layout* dos dutos

Essa etapa se refere ao traçado do esboço dos dutos na planta baixa do ambiente a ser ventilado. O esboço deve conter os trechos dos dutos e todos os acessórios, incluindo joelhos, cotovelos, curvas e cruzetas, como também mudanças de seção dos dutos. Os acessórios devem ser esboçados de maneira que os cálculos de perda de carga sejam presumíveis e estejam tabelados na literatura.

As mudanças de seção devem ser esboçadas em função das ramificações ou nos pontos onde o fluxo de ar irá se dividir na rede de dutos. O trecho principal da rede, por exemplo, deve ter sua seção reduzida após a distribuição do ar por entre ramificações, pois dessa maneira a velocidade do ar na seção do trecho não tenderá a ficar baixa. A seção do trecho principal deve ser aumentada ao se aumentar a vazão de ar presente por meio da junção de várias ramificações em que o fluxo de ar é convergente.

Além disso, deve-se verificar no esboço possíveis locais em que o nível de ruído será elevado. Isso ocorrerá em locais onde a velocidade do ar no interior dos dutos atingirá valores altos, valores estes acima de 10m/s, por exemplo.

Alguns requisitos presentes nas normas ABNT NBR 16401-1 e ABNT NBR 7256, referentes ao traçado do esboço da rede de dutos, são:

- O caminhamento dos dutos deve ser o mais curto e direto possível, considerando as interferências com a estrutura e as demais instalações e serviços do edifício;
- Recomenda-se que o duto tronco de insuflação seja ramificado de forma a facilitar o ajuste das vazões e/ou permitir a instalação de dispositivos de controle automático. Em particular, evitar servir diversos recintos por grelhas ou difusores conectados em série no mesmo ramal, ou servir com o mesmo ramal recintos pertencentes a zonas térmicas diferentes;
- Não devem ser instaladas bocas de ar diretamente em duto tronco de insuflação, exceto quando atender a um único ambiente;
- Nas bifurcações de dutos não devem ser utilizados divisores tipo *splitters*;
- Registros corta-fogo e fumaça devem ser instalados nas interseções ou terminais entre dutos e todos os pisos, paredes e divisões, a fim de evitar a quebra da compartimentação definida pelo projeto de prevenção de incêndio da edificação;
- Os dutos devem ser projetados e instalados de forma a minimizar o risco de incêndio e inibir a propagação de fogo e fumaça em caso de incêndio;
- Trechos contaminados de dutos de exaustão devem ser o mais curto possível;
- Dutos flexíveis devem ser utilizados apenas para conexões a terminais, com comprimento máximo de 2m.;
- As curvas, derivações e outras conexões devem ter desenho aerodinâmico, a fim de minimizar a possibilidade de acumulação de partículas e evitar aspiração de ar em dutos de insuflamento, devido à existência de pressões negativas localizadas;
- Devem ser instaladas tampas de inspeção junto a cada cotovelo, registro corta-fogo ou corta-fumaça, detector de fumaça, registro de regulagem e serpentina inseridos nos dutos, e no mínimo a cada 15 m de duto reto;
- Aberturas em paredes ou forros devem ser coordenadas com a instalação das tampas de inspeção, permitindo o acesso a estas;
- Registros corta-fogo e corta-fumaça (*dampers*) devem ser instalados nas interseções ou terminações entre dutos de ar e aberturas em paredes, entrepisos ou divisões solicitadas a resistência contra fogo e/ou fumaça;

3.5 Numeração dos dutos e determinação das vazões em cada seção

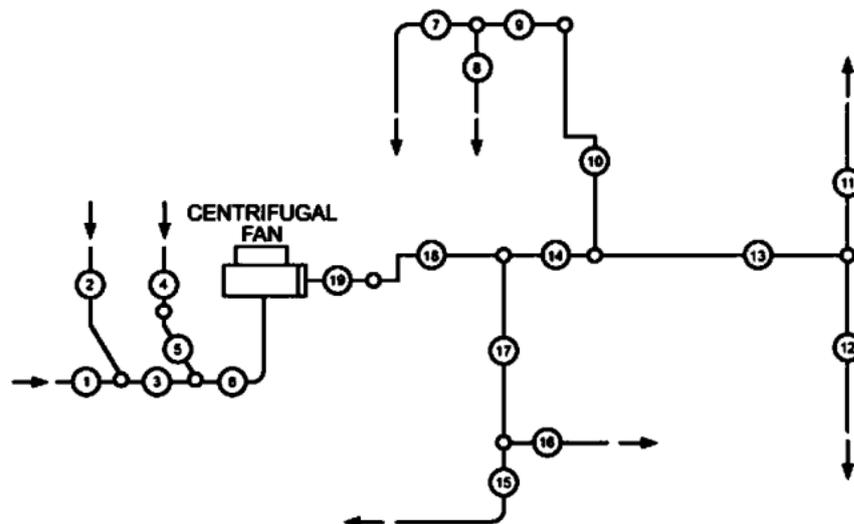
Nessa etapa, deve-se dividir os dutos que foram esboçados na etapa anterior e numerá-los. Além disso, deve-se também determinar as vazões presentes em cada seção após a divisão.

Essa divisão e numeração se dá em todos os pontos do esboço onde há mudança de escoamento, tamanho, ou forma. Essa etapa é bastante importante para que as etapas seguintes, que tratam do dimensionamento, sejam executadas em ordem e com organização.

A convenção adotada pela ASHRAE é a de que os dutos são divididos e numerados dos pontos de captação de retorno do ar (como também dos pontos de insuflamento) até o ventilador no sistema. A partir dessa divisão, pode-se iniciar os cálculos referentes ao dimensionamento da rede.

Como exemplo, a figura 1 traz um esboço onde pode-se ver a numeração das seções entre o retorno e o insuflamento:

Figura 1: Divisão e numeração de uma rede de dutos.



Fonte: ASHRAE (2013).

Para a determinação das vazões em cada seção, basta iniciar dos valores de vazão de retorno e insuflamento das grelhas e difusores que foram determinados anteriormente e, a partir destes, aplicar a equação (3) em cada ponto de encontro (nó) de ramificações na rede de dutos:

$$\sum \dot{Q}_{convergem} = \sum \dot{Q}_{divergem} \quad (3)$$

Com a determinação das vazões de cada trecho, pode-se iniciar o dimensionamento do sistema.

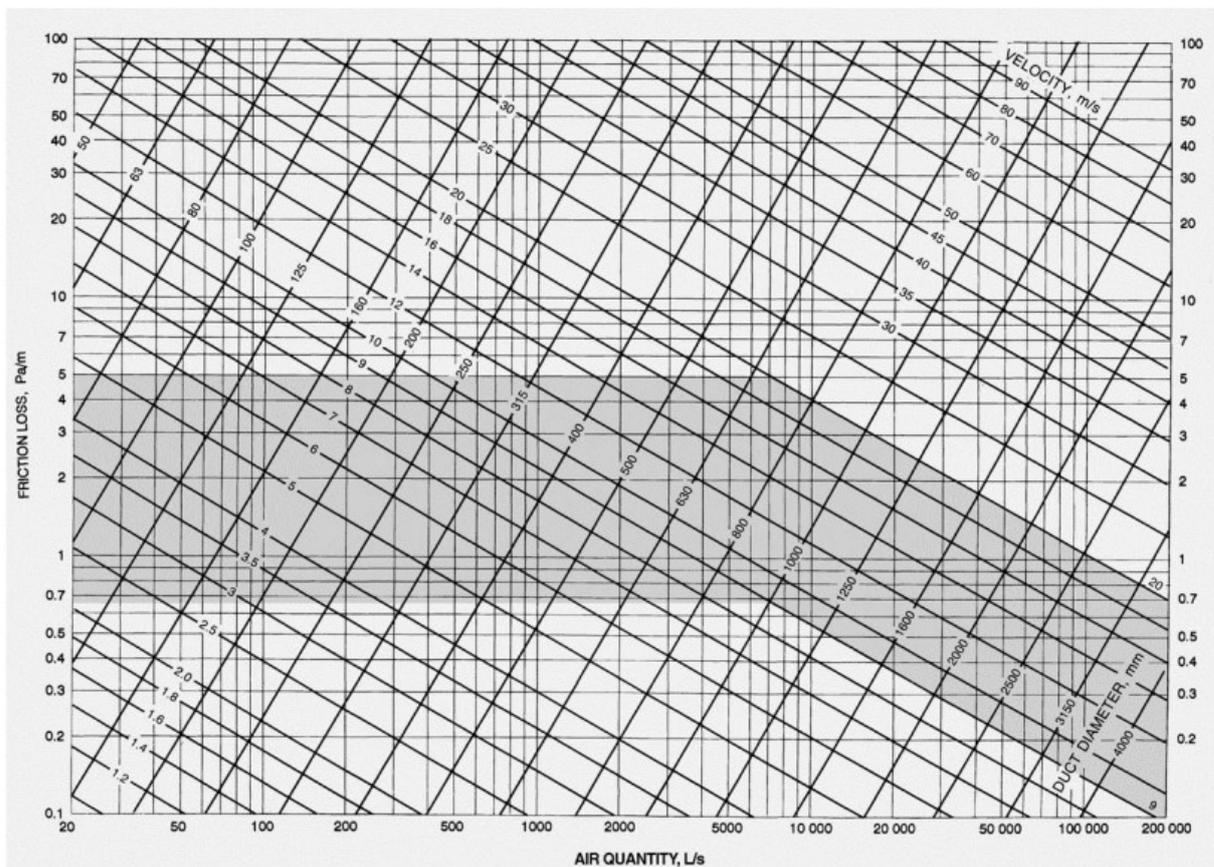
3.6 Dimensionamento dos dutos

Nessa etapa, deve-se dimensionar os dutos utilizando um método de dimensionamento. A ASHRAE apresenta os seguintes métodos:

- Método de fricção constante;
- Recuperação da pressão estática;
- Método T.

Será detalhado o método da fricção constante, pois segundo a SMACNA este é o método que apresenta melhores vantagens em termos de custos operacionais, de economia de material e de balanceamento do sistema como um todo. Nesta metodologia, os dutos são dimensionados com uma perda de carga por unidade de comprimento constante, e isso é realizado com o auxílio da carta de atrito para dutos circulares (figura 2).

Figura 2: Carta de atrito para dutos circulares.



Fonte: ASHRAE (2013).

Inicialmente, deve-se escolher um fator de perda de carga unitária, preferencialmente que esteja na faixa sombreada na carta de atrito.

$$0,7 Pa/m \leq \mu \leq 5,0 Pa/m \quad (4)$$

A faixa sombreada se refere a combinações de valores entre diâmetros de duto e velocidades para as quais não haverá nível de ruído excessivo nos ambientes. Após a escolha do fator de perda de carga unitária para a rede, deve-se dimensionar os dutos por meio dos valores de diâmetros correspondentes na carta.

Para dutos retangulares, pode-se calcular um diâmetro equivalente, o qual é definido por meio de (5):

$$D_e = \frac{1,30 (ab)^{0,625}}{(a+b)^{0,250}} \quad (5)$$

Na equação (5), “a” e “b” referem-se aos lados da seção retangular em mm. Há também uma expressão de diâmetro equivalente para dutos ovais:

$$D_e = \frac{1,55 AR^{0,625}}{P^{0,250}} \quad (6)$$

Em (6), “AR” se refere à área da seção transversal do duto oval, e “P” ao perímetro da seção. “AR” é calculada por:

$$AR = \frac{\pi a^2}{4} + a(A-a) \quad (7)$$

O perímetro “P” é calculado por meio de (8):

$$P = \pi a + 2(A-a) \quad (8)$$

Nas equações (6) e (7), “a” é o raio do semi-eixo menor da seção oval, enquanto “A” é o raio do semi-eixo maior. Com (6) e (7), pode-se estabelecer as dimensões de dutos de seções não-retangulares por meio dos valores de diâmetros equivalentes presentes na carta de atrito.

Após a realização de um dimensionamento inicial por meio da utilização da carta de atrito, deve-se calcular a resistência (perda de carga) total de cada duto da rede. Isso é feito em função do cálculo das perdas de carga distribuídas e localizadas em cada trecho.

3.6.1 Perda de carga distribuída em um duto

A perda de carga distribuída em um duto é calculada por meio da equação (9), a qual é conhecida como equação de Darcy:

$$\Delta p_f = \frac{1000 f L}{D_h} \times \frac{\rho V^2}{2} \quad (9)$$

- Δp_f : perda de carga total em Pa ao longo do comprimento do duto;
- L: comprimento do duto, em mm;
- f: fator de atrito (adimensional);
- D_h : diâmetro hidráulico da seção, em mm;
- ρ : densidade do ar, em kg/m³;
- V: velocidade do ar na seção, em m/s.

Para o cálculo de (9), é necessário realizar alguns cálculos prévios. A velocidade na seção do duto é calculada em função da vazão e da área da seção transversal por meio de (10):

$$V = \frac{\dot{Q}}{A} \quad (10)$$

Para seções circulares, (10) pode ser simplificada para (11):

$$V = \frac{10000 \dot{Q}}{9 \pi D^2} \quad (11)$$

- \dot{Q} : vazão volumétrica, em m³/h;
- D : diâmetro da seção circular, ou diâmetro equivalente da seção, em mm.

O diâmetro hidráulico, D_h , é calculado em função da área da seção transversal “A” e do perímetro “P” por meio de (12):

$$D_h = \frac{4 A}{P} \quad (12)$$

O fator de atrito “f” pode ser calculado por meio da equação (13), a qual é conhecida como equação do fator de atrito modificada de Altshul-Tsal:

$$f' = 0,11 \left(\frac{\varepsilon}{D_h} + \frac{68}{Re_D} \right)^{0,25}$$

$$\text{Se } f' \geq 0,018 : f = f' \quad (13)$$

$$\text{Se } f' < 0,018 : f = 0,85 f' + 0,0028$$

- ε : rugosidade absoluta do material do duto, em mm;
- Re_D : número de Reynolds do escoamento do ar, adimensional;

O número de Reynolds é calculado por meio de (14):

$$Re_D = \frac{D_h V}{1000 \nu} \quad (14)$$

Na equação (14), ν é a viscosidade cinemática do ar, em m²/s. Para o ar em condições padrão, Reynolds pode ser calculado simplificada por meio de (15):

$$Re_D = 66,4 D_h V \quad (15)$$

3.6.2 Perdas de carga localizadas em dutos

As perdas de carga localizadas devem ser calculadas para cada transição de seção transversal, curvas, joelhos e cotovelos, e outras singularidades presentes na rede de dutos.

Genericamente, a perda de carga localizada é calculada por meio da equação (16):

$$\Delta p_s = C_s \times \frac{\rho V^2}{2} \quad (16)$$

- Δp_s : perda de carga total localizada no duto de seção “s”, em Pa;

- C_s : coeficiente de perda da singularidade presente na seção “s”, adimensional.

O coeficiente de perda das singularidades é retirado de tabelas presentes na literatura de mecânica dos fluidos sobre escoamento em dutos. A ASHRAE e a SMACNA apresentam um vasto conjunto de dados referentes a esses coeficientes para várias configurações e singularidades.

As perdas de carga localizadas também devem ser conhecidas para os acessórios inerentes à rede como difusores, grelhas, e dampers. Os dados referentes a essas perdas devem ser retirados de manuais de fabricantes.

A perda de carga total presente em um duto pode, então, ser calculada por meio de (17):

$$\Delta p = \left(\frac{1000 f L}{D_h} + \sum C \right) \times \frac{\rho V^2}{2} \quad (17)$$

“ Δp ” denota a perda de carga total presente no duto, em Pa, e o somatório representa a soma de todos os coeficientes de perda de todas as singularidades presentes no trecho.

Com o dimensionamento inicial e todas as perdas de carga calculadas, deve-se iniciar o redimensionamento buscando garantir o balanceamento do sistema em cada junção da rede. O balanceamento se refere à garantia em projeto de que todos os caminhos possíveis do ar do ambiente até o ventilador, como também do ventilador até o ambiente, possuam a mesma perda de carga. Isso deve ser previsto no projeto, pois garantirá que as vazões projetadas serão alcançadas na realidade.

Tomando a figura 1 como exemplo, os caminhos 1 e 2 devem possuir a mesma perda de carga até a junção, como também os caminhos 1-3 e 4-5. Isso pode ser feito alterando-se as dimensões dos dutos, como também pela abertura ou fechamento de um

damper ou registro presente. Isso é bastante importante em todo o projeto, pois está essencialmente relacionado a uma distribuição uniforme do ar por todos os recintos para os quais a rede de dutos está sendo projetada.

Não é recomendado utilizar as equações acima para cálculos manuais, pois como foi visto o processo de dimensionamento é puramente iterativo. É recomendado implementar as equações em uma planilha eletrônica, pois os resultados devidos a alterações de dimensões e constante adição de dados podem ser verificados dinamicamente e rapidamente, poupando tempo e esforço no projeto.

3.7 Elaboração do desenho

Com todas as etapas anteriores concluídas, deve ser elaborado o desenho da rede nas plantas baixa dos ambientes para os quais o sistema está sendo projetado. Esse desenho deve conter todos os detalhes pertinentes para a execução correta do projeto.

Segundo a norma técnica ABNT NBR 16401-1, tem-se os seguintes requisitos para a elaboração do desenho referente ao projeto de dutos:

- O modelo e tamanho adotados de grelhas e difusores devem ser especificados no projeto e mostrados nos desenhos, acompanhados da vazão de projeto;

- As configurações que determinam os coeficientes de perdas localizadas das singularidades assumidas no cálculo das perdas de carga, tais como veios direcionadores nas curvas e cotovelos, o raio mínimo das curvas, o tipo e ângulo das derivações, o ângulo das transformações e outras, devem ser indicadas no projeto a fim de garantir a sua correta execução;

- Singularidades mais complexas e trechos de dutos de difícil execução devem ser individualmente detalhados no desenho;

- Os registros corta-fogo e corta-fumaça devem ser mostrados nos desenhos e listados, com todas suas especificações, na documentação do projeto.

Além disso, há outros requisitos que devem ser atendidos na elaboração do desenho:

- Devem ser indicadas as dimensões referentes a diâmetros e lados dos dutos. Os diâmetros devem ser indicados em mm, enquanto que os lados de dutos retangulares devem ser indicados em cm;

- Deve também ser indicado no desenho todos os detalhes pertinentes a subidas ou descidas de dutos.

4 ESTUDO DE CASO

4.1 O Hospital

Como estudo de caso para a metodologia apresentada, será proposta a concepção e o dimensionamento dos dutos de ventilação para os ambientes de UTI de um hospital público da cidade de Fortaleza-CE, o Hospital Geral Waldemar Alcântara, o qual fica localizado no bairro Messejana. As figuras 3 e 4 retratam a logo e a entrada do Hospital, respectivamente.

Figura 3: Logo do Hospital Geral Waldemar Alcântara.



Fonte: ISGH(2002).

Figura 4: Entrada do hospital.



Fonte: G1 (2017).

O Hospital Geral Dr. Waldemar Alcântara é um estabelecimento assistencial público, funcionando sob o modelo de gestão de Organização Social, atendendo exclusivamente a clientela do SUS e custeado unicamente com recursos públicos. Possui como missão prestar serviços de saúde com qualidade, em nível secundário, aos usuários do SUS referenciados pelas Centrais de Leitos do Estado do Ceará e do Município de Fortaleza.

4.2 A questão do condicionamento de ar

Segundo laudo técnico emitido em Julho de 2017 pelo DAE, órgão do governo do Estado do Ceará, as condições termoigrométricas nos ambientes das UTI do hospital não estavam em conformidade com os requisitos presentes na norma técnica ABNT NBR 7256. Foi apontado que as máquinas responsáveis pelo condicionamento de ar dos ambientes estavam com o funcionamento comprometido devido à oxidação, desbalanceamento dinâmico acentuado, circuitos expostos, excesso de sujeira e falta de filtros. Além disso, a ocorrência constante de manutenções corretivas nas máquinas indicava o desgaste e o comprometimento no funcionamento destas.

Também foi apontado pelo laudo as seguintes inconformidades com a norma técnica 7256:

- Recirculação de ar entre ambientes com nível de risco distintos;
- Não há controle de umidade relativa do ambiente;
- Não possui portas de inspeção que permitam a limpeza dos dutos;
- Utiliza o entreferro como duto de retorno;
- Utiliza a sala de máquinas como *plenum*.

O condicionamento de ar era realizado por uma unidade de tratamento de ar, a qual promovia a distribuição de ar para os ambientes por meio de uma rede de dutos. Os componentes da UTA são mostrados nas figuras 5, 6 e 7.

Figura 5: Unidade evaporadora da UTI Adulto.



Fonte: DAE (2017).

Figura 6: Unidade evaporadora da UTI Pediátrica e Neonatal.



Fonte: DAE (2017).

Figura 7: Unidades condensadoras.



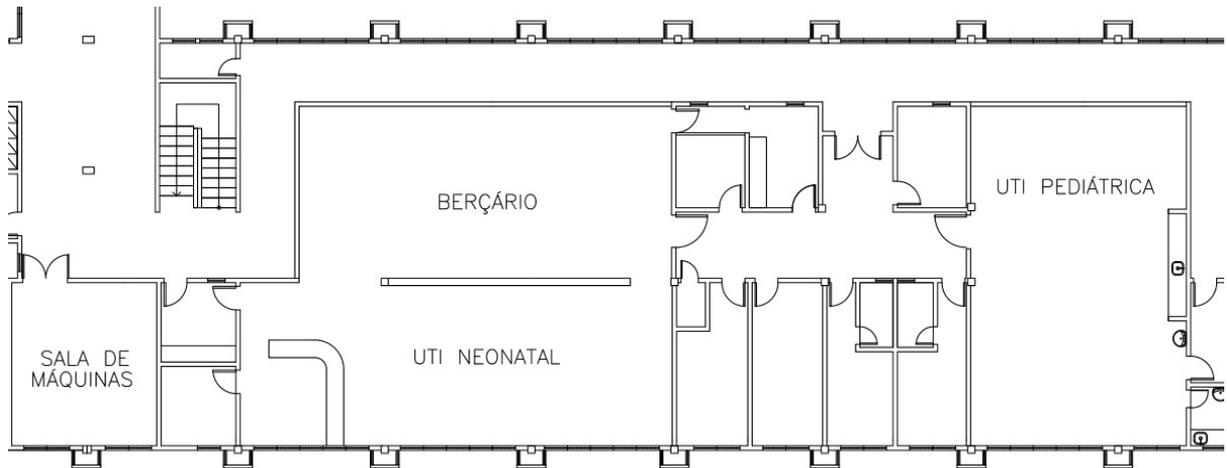
Fonte: DAE (2017).

O laudo técnico emitiu como solução para o problema proposto que todo o sistema de climatização fosse trocado por um sistema novo, de forma a atender os requisitos da norma técnica 7256. Isso significa projetar uma nova rede de dutos para os ambientes das UTI do hospital em função de novas unidades de tratamento de ar.

4.3 Parâmetros e dados de projeto

Para a realização do projeto, foi disponibilizado o desenho da planta baixa dos ambientes (figura 8) em formato dwg. Entre os ambientes, encontravam-se um berçário, uma UTI pediátrica e uma UTI neonatal.

Figura 8: Planta baixa fornecida para o projeto dos dutos de climatização.



Fonte: DAE (2017).

Além disso, baseado em cálculos de cargas térmicas, foi definido que seria utilizado uma UTA para realizar o condicionamento de ar dos ambientes com as seguintes características:

Tabela 4: Características da UTA.

Unidade de tratamento de ar	
Capacidade (TR)	10
Vazão nominal (m ³ /h)	7200
Porcentagem de ar de retorno (%)	85
Porcentagem de ar externo (%)	15
Vazão de ar de retorno (m ³ /h)	6120
Vazão de ar externo (m ³ /h)	1080

Fonte: elaborada pelo autor.

Segundo a tabela 4, será insuflado nos ambientes um total de 7200m³/h. Essa vazão também é vista como a soma da vazão de retorno com a vazão de ar de renovação da rede de dutos.

A norma ABNT NBR 7256 apresenta as seguintes classificações e requisitos

quanto aos ambientes a serem condicionados:

Tabela 5: Requisitos dos ambientes a serem climatizados.

Berçário de cuidados intensivos (UTI neonatal)	
Nível de risco	2
Vazão mínima de ar exterior (m ³ /h/m ²)	6
Vazão mínima de ar total (m ³ /h/m ²)	18
Nível de pressão	+
Nível de filtragem	G4

Fonte: elaborada pelo autor.

A norma ABNT NBR 7256 não apresenta uma classificação específica sobre ambientes de UTI pediátrica. Subtende-se então que os requisitos apresentados na tabela 5 são idênticos para uma UTI pediátrica.

Quanto à área ocupada pelos ambientes, a tabela 6 apresenta os seguintes dados:

Tabela 6: Área dos ambientes.

Área dos ambientes (m ²)	
UTI neonatal	76
Berçário	84
UTI pediátrica	87

Fonte: elaborada pelo autor.

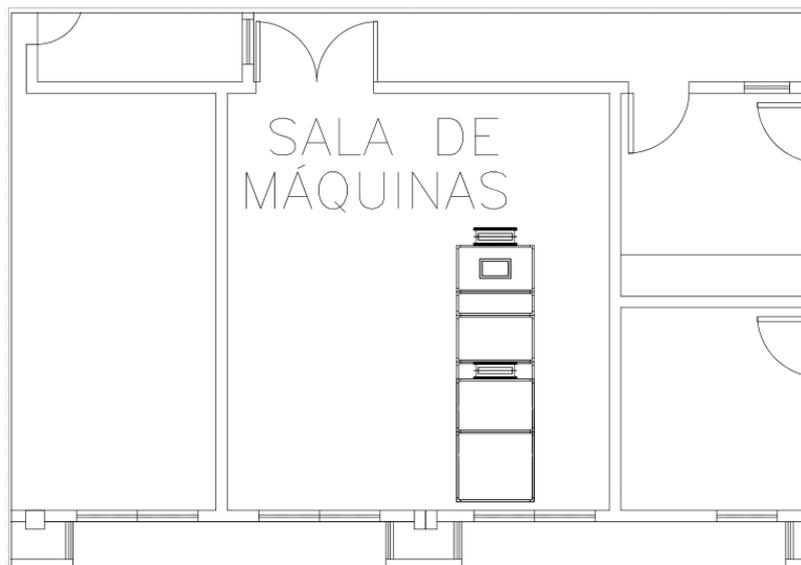
Por último, tem-se que foi determinado que os dutos seriam fabricados em aço galvanizado grau B, de acordo com o requisito da Norma ABNT NBR 16401-1. A partir dos parâmetros e dados colocados, a metodologia proposta foi realizada para a concepção e dimensionamento dos dutos de ventilação.

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1 Localização das máquinas e equipamentos.

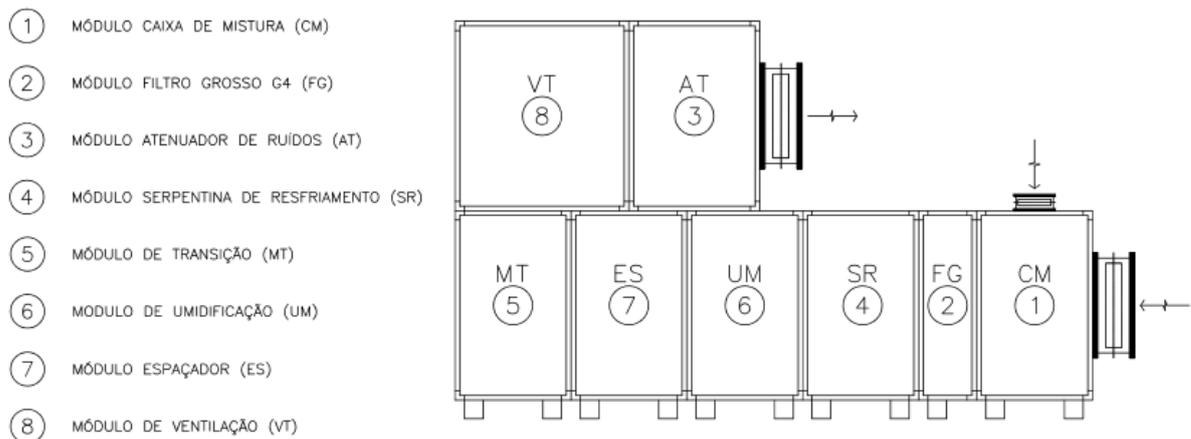
A unidade de tratamento de ar, com todos os seus módulos e componentes, ficarão alocados na sala de máquinas, tal qual como as máquinas antigas estavam. A figura 9 retrata a localização da nova UTA, e a figura 10 retrata a disposição de seus componentes.

Figura 9: Localização da nova UTA.



Fonte: elaborado pelo autor.

Figura 10: Disposição dos componentes da UTA.



Fonte: DAE (2017).

Os componentes da UTA incluem:

- Caixa de mistura;
- Filtro plano G4;
- Atenuador de ruídos;
- Serpentina de resfriamento;
- Módulo de transição;
- Umidificador;
- Espaçador;
- Módulo Ventilador.

O desenho da UTA foi baseado nas dimensões de cada módulo fornecido pelo catálogo do fabricante da UTA selecionada. Foi decidido utilizar um filtro G4 para atender ao requisito da norma 7256.

5.2 Distribuição do ar.

Baseado nos dados das tabelas 5 e 6 apresentadas anteriormente, os ambientes a serem ventilados apresentam os seguintes requisitos de vazão de ar de renovação e de vazão de ar total apresentados pela tabela 7:

Tabela 7: Vazões mínimas de renovação e total de cada ambiente.

Requisitos de vazão	
UTI Neonatal	
Vazão de ar de renovação (m ³ /h)	456
Vazão de ar total (m ³ /h)	1368
Berçário	
Vazão de ar de renovação (m ³ /h)	504
Vazão de ar total (m ³ /h)	1512
UTI Pediátrica	
Vazão de ar de renovação (m ³ /h)	522
Vazão de ar total (m ³ /h)	1566
Ambientes em conjunto	
Vazão de ar de renovação (m ³ /h)	1482
Vazão de ar total (m ³ /h)	4446

Fonte: elaborada pelo autor.

Pelos dados da tabela 7, vê-se que o requisito de vazão de ar total previsto pela norma foi atendido, visto que a UTA fornece uma vazão total de 7200m³/h, o qual é bastante superior ao requisitado. Entretanto, o requisito mínimo de ar externo não foi atendido, visto

que a UTA não fornece a vazão mínima solicitada de ar de renovação.

Devido à distribuição dos espaços dos ambientes, foi decidido utilizar difusores direcionais e grelhas de retorno nas dimensões e especificações de acordo com a tabela 8.

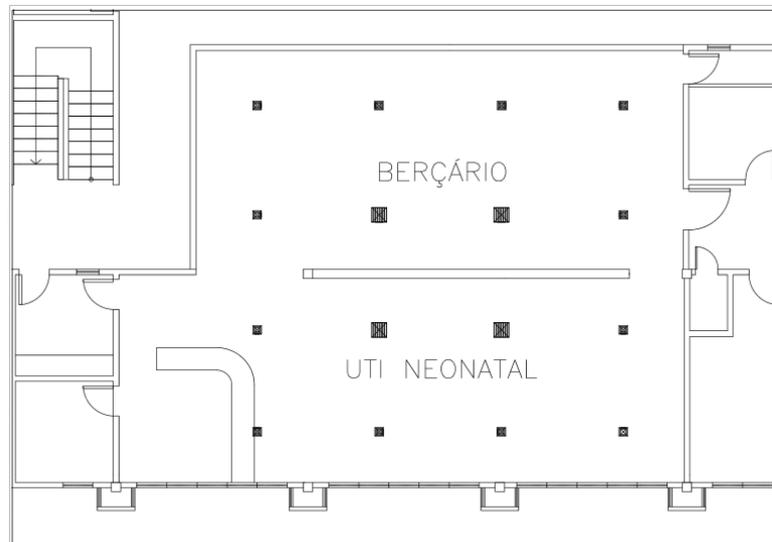
Tabela 8: Especificações das grelhas e difusores utilizadas no projeto.

Difusores		Grelhas	
Quantidade	24	Quantidade	8
Dimensões (in)	9x9	Dimensões (mm)	400x400
Vazão insuflada (m ³ /h)	300	Vazão captada (m ³ /h)	765
Perda de carga (mmca)	0,9	Perda de carga (mmca)	1,08

Fonte: elaborado pelo autor.

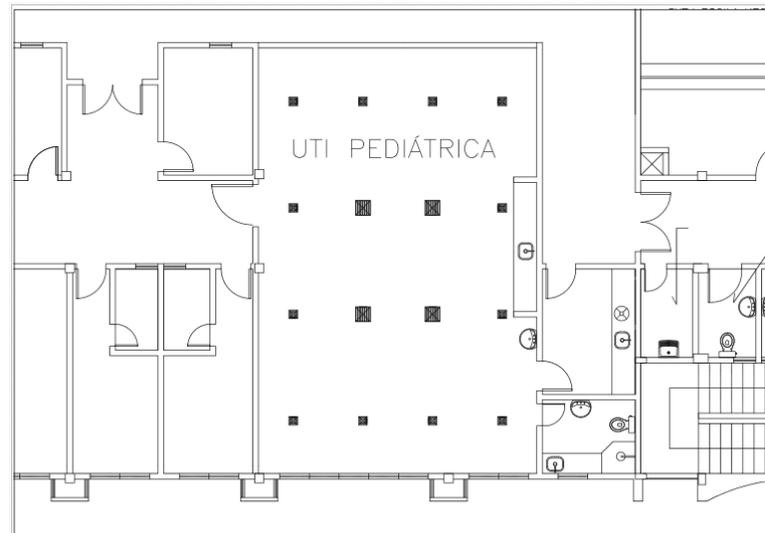
As grelhas e difusores foram dispostos de acordo com as figuras 11 e 12:

Figura 11: Localização das grelhas e difusores (berçário e neonatal).



Fonte: elaborado pelo autor.

Figura 12: Localização das grelhas e difusores (UTI pediátrica).



Fonte: elaborado pelo autor.

As grelhas foram dispostas no centro dos ambientes, enquanto que os difusores foram dispostos nas periferias. Essa foi a configuração mais adequada encontrada para realizar a distribuição do ar.

5.3 Seleção dos dutos.

Foi decidido utilizar dutos retangulares para realizar a distribuição do ar. Essa decisão se baseou no fato de dutos retangulares permitirem maior controle sobre o dimensionamento da área da seção transversal. Isso será necessário porque há limitação de espaço no forro. Além disso, como estabelecido anteriormente, os dutos serão fabricados de aço galvanizado grau B, de acordo com os requisitos das normas técnicas 16401-1 e 7256.

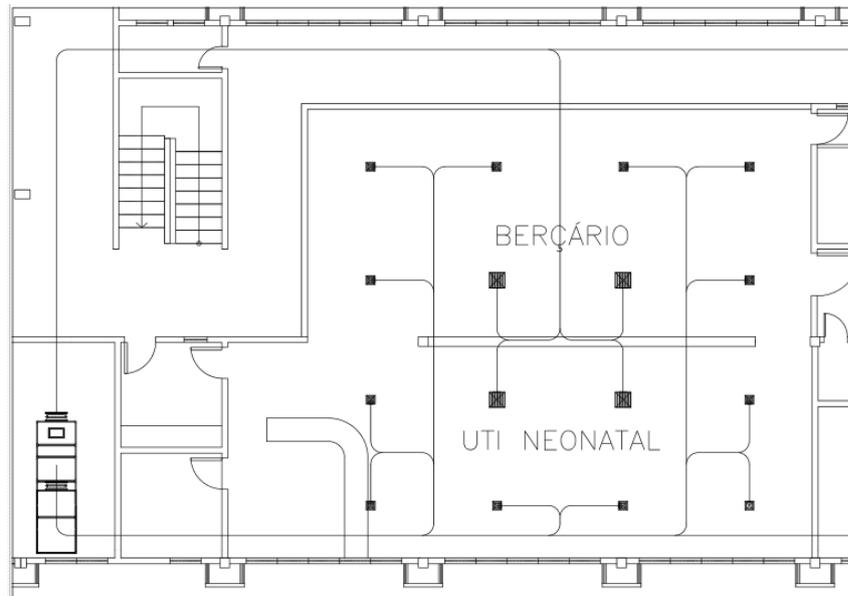
5.4 Esboço do layout dos dutos.

O esboço foi feito de maneira a utilizar acessórios e singularidades as quais os fatores de perda de carga estão documentados na literatura. Os tipos de acessórios e singularidades utilizados encontram-se no anexo A.

Dampers-corta fogo e reguladores de vazão foram considerados ao se realizar o esboço. Entretanto, estes não foram incluídos para que se tenha uma melhor visualização do traçado da rede de dutos. A figura 13 retrata o esboço para os ambientes de berçário e neonatal, enquanto que a figura 14 retrata o esboço para os ambientes da UTI pediátrica.

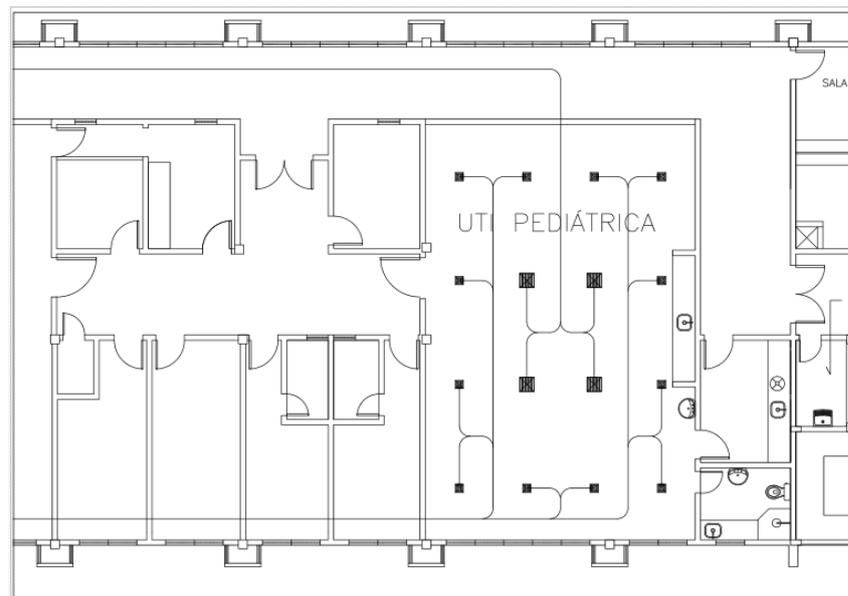
A figura 15 retrata o esboço da rede de dutos para o conjunto dos ambientes.

Figura 13: Esboço da rede de dutos (berçário e neonatal).



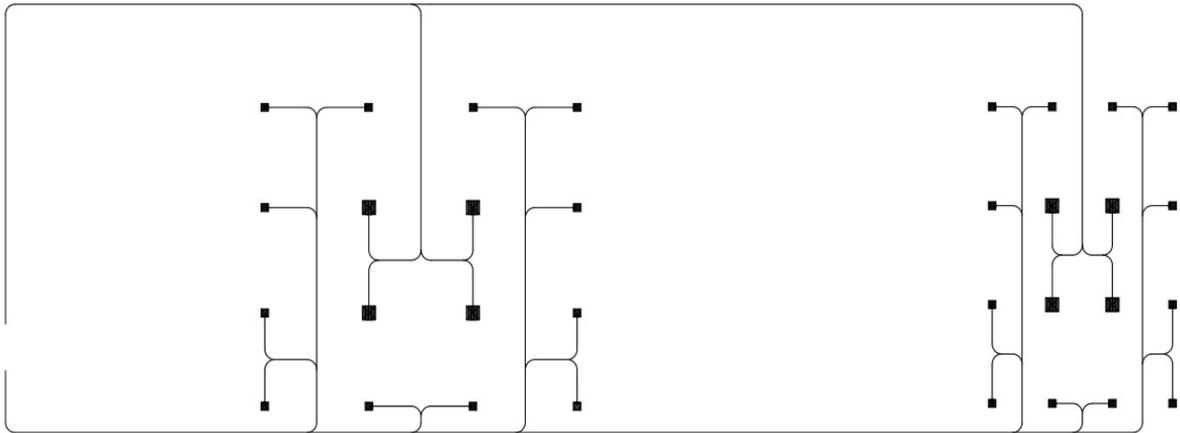
Fonte: elaborado pelo autor.

Figura 14: Esboço da rede de dutos (UTI pediátrica).



Fonte: elaborado pelo autor.

Figura 15: Esboço da rede de dutos.

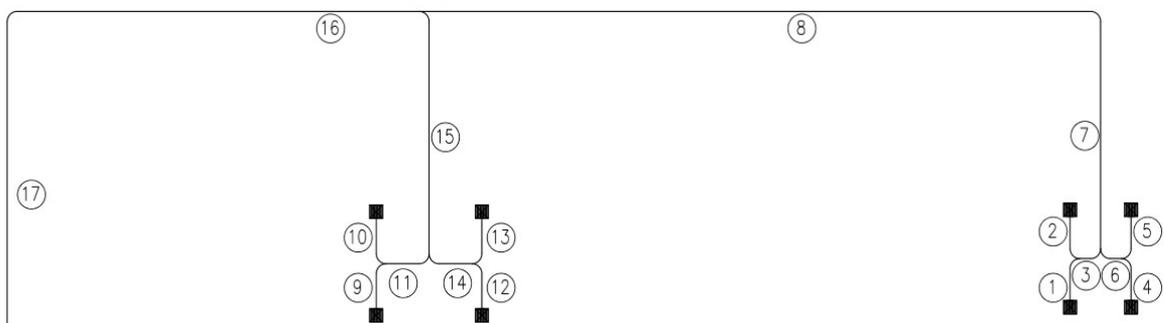


Fonte: elaborado pelo autor.

5.5 Numeração dos dutos e determinação das vazões em cada seção.

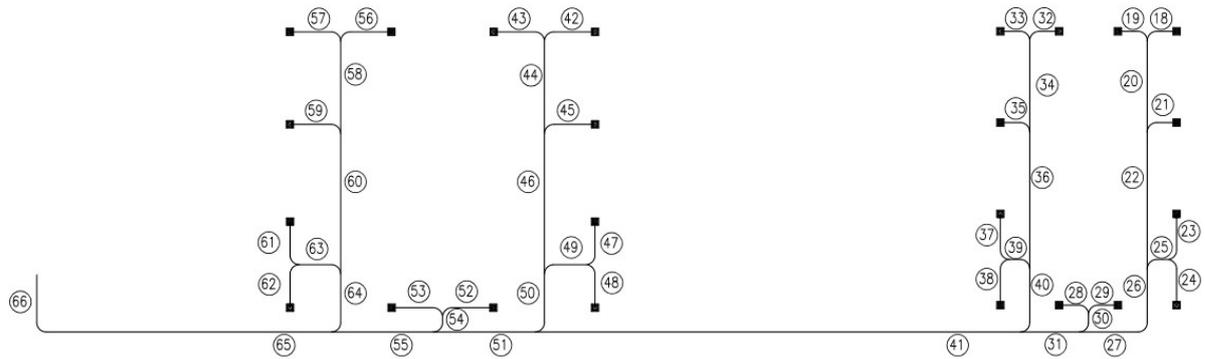
A partir da convenção apresentada na seção 3.5, foi feita a divisão e numeração da rede de dutos. Além disso, a equação (3) foi utilizada para determinar as vazões em cada seção. Os esboços estão separados em retorno e insuflamento nas figuras 16 e 17 para uma melhor visualização. As vazões em cada seção nos dutos de retorno e insuflamento estão apresentadas nas tabelas 9 e 10.

Figura 16: Numeração dos dutos (retorno).



Fonte: elaborado pelo autor.

Figura 17: Numeração dos dutos (insuflamento).



Fonte: elaborado pelo autor.

Tabela 9: Vazões nos dutos de retorno.

RETORNO	
Seção	Vazão (m³/h)
1	765
2	765
3	1530
4	765
5	765
6	1530
7	3060
8	3060
9	765
10	765
11	1530
12	765
13	765
14	1530
15	3060
16	6120
17	6120

Fonte: elaborado pelo autor.

Tabela 10: Vazões nos dutos de insuflamento.

INSUFLAMENTO			
Seção	Vazão(m³/h)	Seção	Vazão(m³/h)
18	300	43	300
19	300	44	600
20	600	45	300
21	300	46	900
22	900	47	300
23	300	48	300
24	300	49	600
25	600	50	1500
26	1500	51	5100
27	1500	52	300
28	300	53	300
29	300	54	600
30	600	55	5700
31	2100	56	300
32	300	57	300
33	300	58	600
34	600	59	300
35	300	60	900
36	900	61	300
37	300	62	300
38	300	63	600
39	600	64	1500
40	1500	65	7200
41	3600	66	7200
42	300		

Fonte: elaborado pelo autor.

5.6 Dimensionamento dos dutos.

Foi decidido utilizar uma perda de carga unitária (μ) de 2Pa/m para o início do dimensionamento dos dutos de insuflamento e de retorno. As equações de (5) à (17) foram implementadas em uma planilha eletrônica para se realizar todos os cálculos de perda de carga da rede de dutos.

Após o dimensionamento inicial, toda a rede foi redimensionada de forma a garantir que os dutos ficassem os mais balanceados possíveis. Durante essa etapa, percebeu-se que alguns trechos precisavam ser divididos em dois de forma a fazer uma transição entre seções transversais (expansões ou reduções). O resultado do processo de redimensionamento, contendo todas as dimensões de cada duto da rede, encontra-se no anexo B.

O desbalanceamento em cada junção foi quantificado em termos de porcentagem. Para garantir que a rede esteja balanceada, será necessário prover um registro (ou damper) nos pontos de desbalanceamento.

Tabela 11: Balanceamento dos dutos de retorno.

Balanceamento	15-2
Pressão a compensar (mmca)	6,37
Diferença percentual	53,87%

Fonte: elaborado pelo autor.

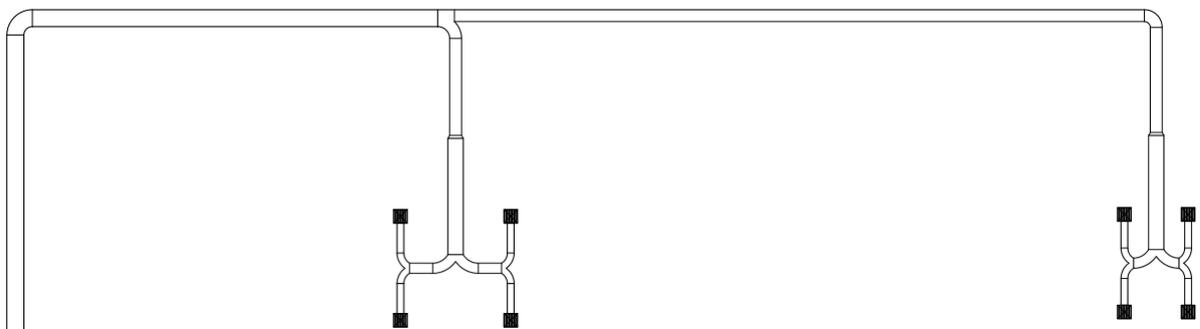
Na tabela 11, tem-se que a seção 15-2 dos dutos de retorno apresenta um desbalanceamento de aproximadamente 54%. Isso pode ser resolvido por meio da inclusão de um damper no trecho, como pelo ajuste dos registros das grelhas. A seção 15 foi uma das que teve o trecho dividido em dois durante a etapa de redimensionamento. O número 2 indica que essa seção está a montante da seção 16, enquanto que a seção 15-1 está a jusante da seção 14.

Os dados referentes às porcentagens de desbalanceamento em toda a rede dimensionada encontram-se no anexo C.

5.7 Elaboração do desenho.

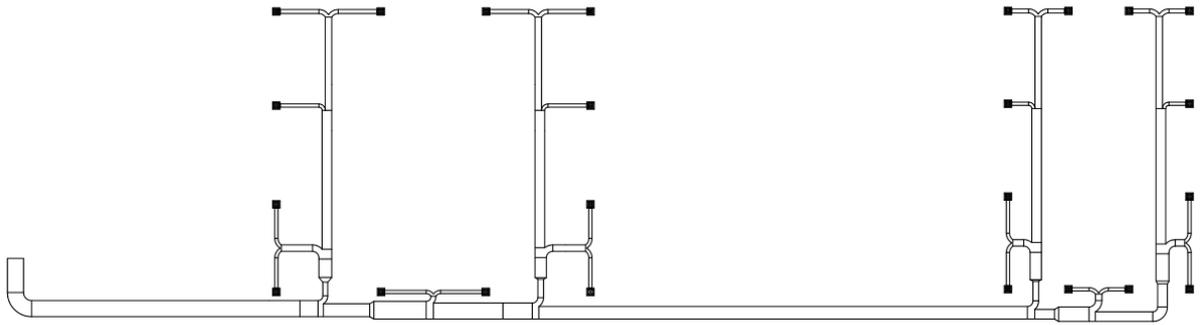
Com as dimensões dos dutos obtidas após o processo de redimensionamento e balanceamento, foi elaborado o desenho nas plantas baixa dos ambientes das UTI do hospital. Para a realização do desenho, foram consideradas as restrições de dimensões impostas pelas singularidades, que encontram-se no anexo A, utilizadas para o cálculo de perda de carga. O desenho da rede foi feito com o auxílio de um software de desenho técnico 2D. As figuras 18, 19 e 20 retratam o desenho da rede de dutos.

Figura 18: Desenho da rede de dutos (retorno).



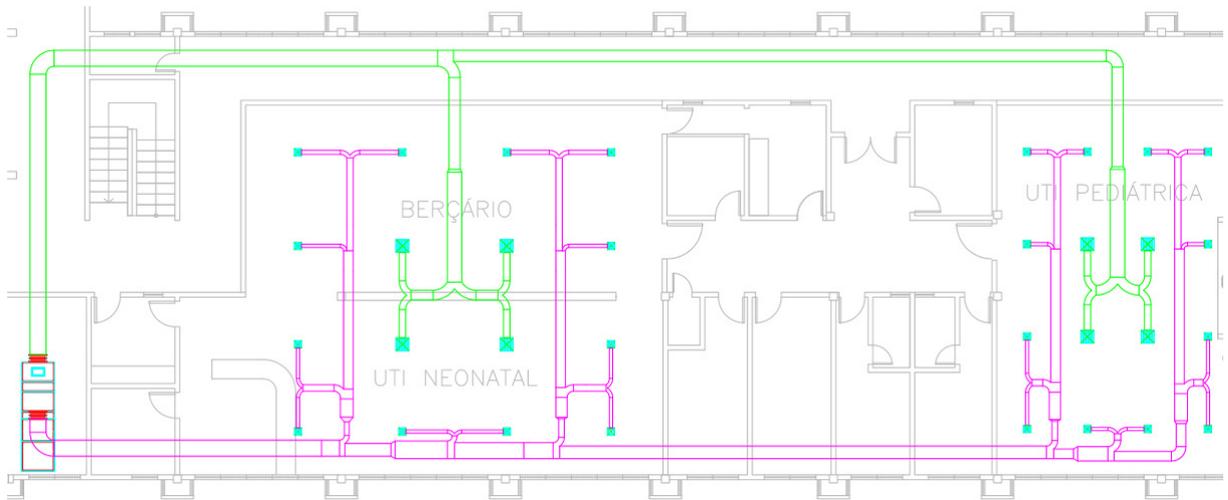
Fonte: elaborado pelo autor.

Figura 19: Desenho da rede de dutos (insuflamento).



Fonte: elaborado pelo autor.

Figura 20: Desenho da rede de dutos.



Fonte: elaborado pelo autor.

6 CONCLUSÃO

A metodologia para a concepção e o dimensionamento de uma rede de dutos para os ambientes de unidades de tratamento intensivo foi estabelecida. Foram utilizadas as etapas de projeto pertinentes à concepção e ao dimensionamento de dutos propostas pela ASHRAE em conjunto com os requisitos apresentados pelas normas técnicas ABNT NBR 16401-1 e ABNT NBR 7256.

As vazões de ar externo e de ar total requisitas pelos ambientes foram determinadas e, a partir destas, verificou-se que o requisito de vazão de ar externo não foi atendido pelo sistema de condicionamento de ar proposto. Entretanto, a vazão de ar total da unidade de tratamento de ar está em conformidade com o requisito da norma técnica ABNT NBR 7256. Segundo a NBR 7256, essa vazão garantirá o transporte das partículas e micro-organismos presentes no ar dos ambientes até o sistema de filtragem.

O memorial de cálculo dos dutos de ventilação foi realizado com o auxílio de uma planilha eletrônica. A partir dos resultados dos processos de dimensionamento e balanceamento, foram determinadas as dimensões de cada trecho da rede como também foram quantificados o grau de desbalanceamento em cada junção. Dampers podem ser incluídos nos dutos onde o grau de desbalanceamento é elevado ou pode-se ajustar os registros das grelhas e dos difusores para equalizar as pressões na rede.

O desenho da rede de dutos dimensionada foi traçado com o auxílio de um software de desenho técnico 2D. Para a realização de um projeto completo, é necessário incluir no desenho os requisitos apresentados pela norma técnica ABNT NBR 16401-1 como as indicações das dimensões de cada duto da rede, as vazões captadas e insufladas pelas grelhas e difusores e as dimensões detalhadas de cada singularidade e acessório. Além disso, também deve ser incluído no desenho os registros corta-fogo e corta-fumaça de forma a atender os requisitos das normas técnicas para a contenção de incêndios.

REFERÊNCIAS

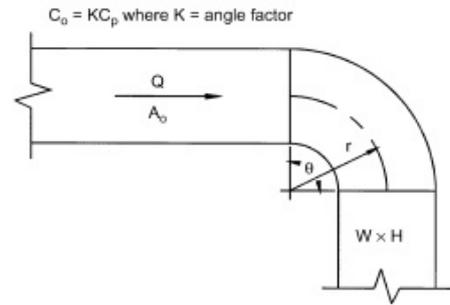
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 16401-1**: Instalações de ar-condicionado - Sistemas centrais e unitários Parte 1: Projetos das instalações. 1 ed. Rio de Janeiro: Abnt, 2008. 60 p;
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 16401-3**: Instalações de ar-condicionado - Sistemas centrais e unitários Parte 3: Qualidade do Ar Interior. 1 ed. Rio de Janeiro: Abnt, 2008. 24 p;
- American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers. **2001 Ashrae Handbook: Fundamentals**. SI ed. Atlanta, Ga.: Ashrae, 2001;
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7256**: Tratamento de ar em estabelecimentos assistenciais de saúde (EAS) – Requisitos para projeto e instalações . 2 ed. Rio de Janeiro: Abnt, 2005. 22 p;
- American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers. **2013 Ashrae Handbook: Fundamentals**. SI ed. Atlanta, Ga.: Ashrae, 2013;
- AMERICAN SOCIETY OF HEATING, REFRIGERATING AND AIR-CONDITIONING. **ANSI/ASHRAE STANDARD 62.1**: Ventilation for Acceptable Indoor Air Quality. Atlanta: Ashrae, 2013. 52 p;
- Sheet Metal and Air-Conditioning Contractors National Association. **HVAC Systems Duct Design**. Virginia.: SMACNA, 1990;
- American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers. **HVAC Design Manual for Hospitals and Clinics**. Atlanta, Ga.: Ashrae, 2013;
- BRASIL. Agência Nacional de Vigilância Sanitária. Resolução RDC nº 50, de 2002. Dispõe sobre o Regulamento técnico para planejamento, programação, elaboração e avaliação de projetos físicos de estabelecimentos assistenciais de saúde. Diário Oficial, Brasília, DF, 28 mar. 2002;
- DRAKE, Bill. Infection Control in Hospitals. **Ashrae Journal**. Atlanta, p. 12-17. jun. 2006;
- CALIL, Roseli. **Manual da Comissão de Controle de Infecção Hospitalar (CCIH)**. Campinas: Unicamp, 2015;
- World Health Organization. **Prevention of Hospital acquired-infections**. Malta: OMS, 2002;
- Agência Nacional de Vigilância Sanitária. **Infecções do Trato Respiratório**. Brasil: ANVISA, 2009;
- SILVA, Daniela Pinheiro da et al. Infecções hospitalares associadas à qualidade do ar em ambientes climatizados. **Revista de Epidemiologia e Controle de Infecção**, Santa Cruz do Sul, v. 3, n. 4, p.153-157, out. 2013.

ANEXO A – ACESSÓRIOS E SINGULARIDADES UTILIZADAS.

CR3-1 Elbow, Smooth Radius, Without Vanes

		C_p Values										
		H/W										
r/W		0.25	0.50	0.75	1.00	1.50	2.00	3.00	4.00	5.00	6.00	8.00
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										
θ		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

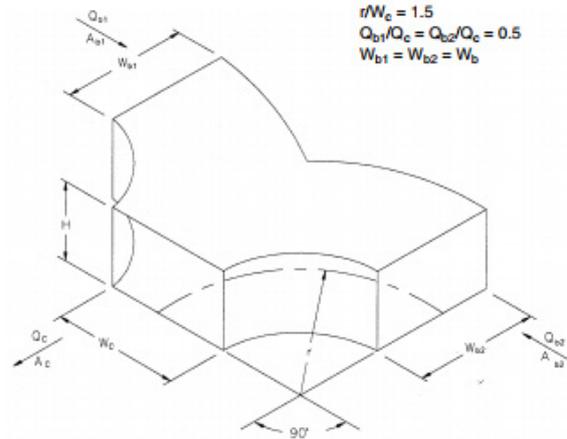


Fonte: ASHRAE (2001).

ER5-4 Wye, Symmetrical, Dovetail, $Q_{b1}/Q_c = 0.5$, Converging

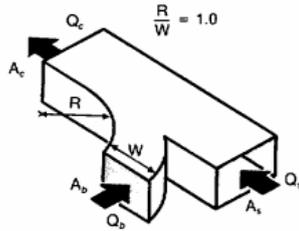
A_b/A_c	0.5	1.0
C_b	0.23	0.28

Branches are identical, $Q_{b1} = Q_{b2} = Q_b$, and $C_{b1} = C_{b2} = C_b$



Fonte: ASHRAE (2001).

H. Converging Wye, Rectangular (15)



Branch, Coefficient (See Note 8)

A_b/A_s	A_b/A_c	Q_b/Q_c								
		0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9
0.25	0.25	-0.50	0	0.50	1.2	2.2	3.7	5.8	8.4	11
0.33	0.25	-1.2	-0.40	0.40	1.6	3.0	4.8	6.8	8.9	11
0.5	0.5	-0.50	-0.20	0	0.25	0.45	0.70	1.0	1.5	2.0
0.67	0.5	-1.0	-0.60	-0.20	0.10	0.30	0.60	1.0	1.5	2.0
1.0	0.5	-2.2	-1.5	-0.95	-0.50	0	0.40	0.80	1.3	1.9
1.0	1.0	-0.60	-0.30	-0.10	-0.04	0.13	0.21	0.29	0.36	0.42
1.33	1.0	-1.2	-0.80	-0.40	-0.20	0	0.16	0.24	0.32	0.38
2.0	1.0	-2.1	-1.4	-0.90	-0.50	-0.20	0	0.20	0.25	0.30

Main, Coefficient C (See Note 8)

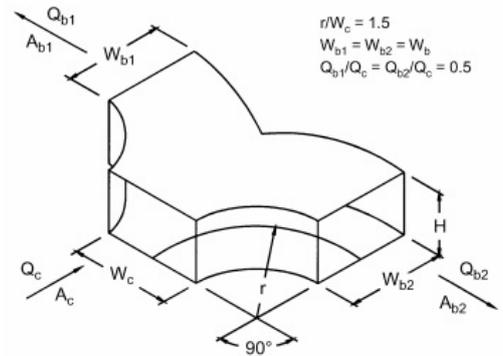
A_b/A_c	A_b/A_c	Q_b/Q_c								
		0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9
0.75	0.25	0.30	0.30	0.20	-0.10	-0.45	-0.92	-1.5	-2.0	-2.6
1.0	0.5	0.17	0.16	0.10	0	-0.08	-0.18	-0.27	-0.37	-0.46
0.75	0.5	0.27	0.35	0.32	0.25	0.12	-0.03	-0.23	-0.42	-0.58
0.5	0.5	1.2	1.1	0.90	0.65	0.35	0	-0.40	-0.80	-1.3
1.0	1.0	0.18	0.24	0.27	0.26	0.23	0.18	0.10	0	-0.12
0.75	1.0	0.75	0.36	0.38	0.35	0.27	0.18	0.05	-0.08	-0.22
0.5	1.0	0.80	0.87	0.80	0.68	0.55	0.40	0.25	0.08	-0.10

Fonte: SMACNA (1990).

SR5-14 Wye, Symmetrical, Dovetail, $Q_b/Q_c = 0.5$, Diverging

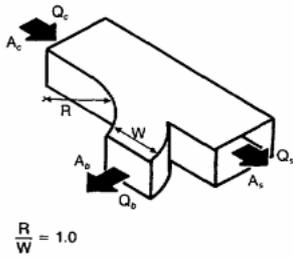
A_b/A_c	0.5	1.0
C_b	0.30	1.00

Branches are identical: $Q_{b1} = Q_{b2} = Q_b$, and $C_{b1} = C_{b2} = C_b$



Fonte: ASHRAE (2001).

W. Wye, Rectangular (15)



Branch, Coefficient C (See Note 8)

A_b/A_s	A_b/A_c	Q_b/Q_c								
		0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9
0.25	0.25	0.55	0.50	0.60	0.85	1.2	1.8	3.1	4.4	6.0
0.33	0.25	0.35	0.35	0.50	0.80	1.3	2.0	2.8	3.8	5.0
0.5	0.5	0.62	0.48	0.40	0.40	0.48	0.60	0.78	1.1	1.5
0.67	0.5	0.52	0.40	0.32	0.30	0.34	0.44	0.62	0.92	1.4
1.0	0.5	0.44	0.38	0.38	0.41	0.52	0.68	0.92	1.2	1.6
1.0	1.0	0.67	0.55	0.46	0.37	0.32	0.29	0.29	0.30	0.37
1.33	1.0	0.70	0.60	0.51	0.42	0.34	0.28	0.26	0.26	0.29
2.0	1.0	0.60	0.52	0.43	0.33	0.24	0.17	0.15	0.17	0.21

90° Branch

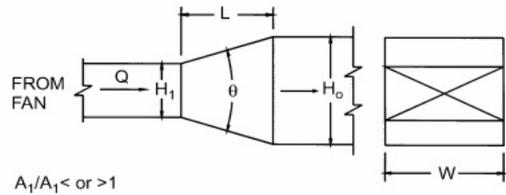
Main, Coefficient C (See Note 8)

A_b/A_s	A_b/A_c	Q_b/Q_c								
		0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9
0.25	0.25	-0.1	-0.3	-0.1	0.05	0.13	0.21	0.29	0.38	0.46
0.33	0.25	0.08	0	-0.2	-0.1	0.02	0.08	0.16	0.24	0.34
0.5	0.5	-0.3	-0.6	-0.5	0	0.06	0.12	0.19	0.27	0.35
0.67	0.5	0.04	-0.2	-0.4	-0.3	-0.1	0.04	0.12	0.23	0.37
1.0	0.5	0.72	0.48	0.28	0.13	0.05	0.04	0.09	0.18	0.30
1.0	1.0	-0.2	-0.4	-0.4	-0.1	0.06	0.13	0.22	0.30	0.38
1.33	1.0	0.10	0	0.01	-0.3	-0.1	0.03	0.10	0.20	0.30
2.0	1.0	0.62	0.38	0.23	0.13	0.08	0.05	0.06	0.10	0.20

Fonte: SMACNA (1990).

SR4-1 Transition, Rectangular, Two Sides Parallel, Symmetrical, Supply Air Systems

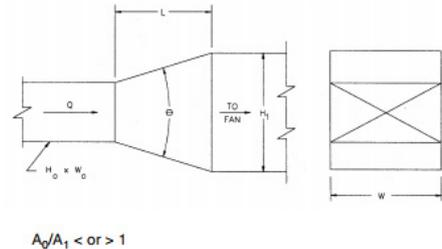
A_2/A_1	C_o Values									
	θ									
	10	15	20	30	45	60	90	120	150	180
0.10	0.05	0.05	0.05	0.05	0.07	0.08	0.19	0.29	0.37	0.43
0.17	0.05	0.04	0.04	0.04	0.05	0.07	0.18	0.28	0.36	0.42
0.25	0.05	0.04	0.04	0.04	0.06	0.07	0.17	0.27	0.35	0.41
0.50	0.06	0.05	0.05	0.05	0.06	0.07	0.14	0.20	0.26	0.27
1.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.00
2.00	0.56	0.52	0.60	0.96	1.40	1.48	1.52	1.48	1.44	1.40
4.00	2.72	3.04	3.52	6.72	9.60	10.88	11.20	11.04	10.72	10.56
10.00	24.00	26.00	36.00	53.00	69.00	82.00	93.00	93.00	92.00	91.00
16.00	66.56	69.12	102.40	143.36	181.76	220.16	256.00	253.44	250.88	250.88



Fonte: ASHRAE (2001).

ER4-1 Transition, Rectangular, Two Sides Parallel, Symmetrical, Exhaust/Return Systems

A_2/A_1	C_o Values									
	θ									
	10	15	20	30	45	60	90	120	150	180
0.06	0.26	0.27	0.40	0.56	0.71	0.86	1.00	0.99	0.98	0.98
0.10	0.24	0.26	0.36	0.53	0.69	0.82	0.93	0.93	0.92	0.91
0.25	0.17	0.19	0.22	0.42	0.60	0.68	0.70	0.69	0.67	0.66
0.50	0.14	0.13	0.15	0.24	0.35	0.37	0.38	0.37	0.36	0.35
1.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
2.00	0.23	0.20	0.20	0.20	0.24	0.28	0.54	0.78	1.02	1.09
4.00	0.81	0.64	0.64	0.64	0.88	1.12	2.78	4.38	5.65	6.60
6.00	1.82	1.44	1.44	1.44	1.98	2.53	6.56	10.20	13.00	15.20
10.00	5.03	5.00	5.00	5.00	6.50	8.02	19.10	29.10	37.10	43.10



Fonte: ASHRAE (2001).

ANEXO B – MEMORIAL DE CÁLCULO DO DIMENSIONAMENTO DA REDE.

A equação (5) e o conjunto de equações de (9) a (17) foram implementadas em uma planilha eletrônica para realizar o dimensionamento e balanceamento da rede de dutos. Nas tabelas a seguir, tem-se que as colunas referem-se aos trechos de cada duto da rede (estando estes numerados de acordo com as figuras 16 e 17). As linhas referem-se às características do trecho, como a vazão do ar no interior do duto e a perda de carga presente até o final do trecho.

A vazão foi calculada tanto em L/s quanto em m³/h. Todas as perdas de carga calculadas estão em mmca. Todos os dutos da rede são retangulares, estando as dimensões em múltiplos de 50. A perda de carga por metro refere-se ao fator de atrito, equação (13).

A pressão dinâmica em um duto é calculada, em Pa, por meio de (18):

$$\Delta p_{dinâmica} = \frac{\rho V^2}{2} \quad (18)$$

“ ρ ” denota a densidade do ar, em kg/m³, e “V” refere-se à velocidade do ar no interior do duto, em m/s.

Para cada singularidade (curvas 90°, transições, entrocamento T e entrocamento Y) há três linhas na tabela. A primeira se refere à quantidade de singularidades presentes no trecho, enquanto que a segunda ao coeficiente de perda de carga característico da singularidade. A terceira linha denota a perda de carga, em mmca, introduzida no trecho pela singularidade.

A perda de carga total refere-se à soma das perdas de carga localizadas e distribuídas ao longo do trecho do duto (equação 17). A perda de carga acumulada na saída denota a perda de carga do ar devido ao caminho que este percorre desde o retorno (ou insuflamento) até a unidade de tratamento de ar.

As tabelas verdes referem-se aos dutos de retorno, enquanto que as tabelas em cor púrpura dizem respeito aos dutos de insuflamento.

Trecho	1	2	3	4	5	6
Vazão (L/s)	212,52	212,52	425,03	212,52	212,52	425,03
Vazão (m ³ /h)	765,00	765,00	1530,00	765,00	765,00	1530,00
Difusor (mm)	400x400	400x400		400x400	400x400	
Perda de carga difusor/grelha (mmca)	1,02	1,02		1,02	1,02	
Formato do duto	Retangular	Retangular	Retangular	Retangular	Retangular	Retangular
Largura do duto (mm)	200,00	200,00	300,00	200,00	200,00	300,00
Altura do duto (mm)	200,00	200,00	200,00	200,00	200,00	200,00
Diâmetro Equivalente (mm)	218,63	218,63	266,41	218,63	218,63	266,41
Velocidade (m/s)	5,66	5,66	7,62	5,66	5,66	7,62
Comprimento do duto (m)	1,45	1,45	0,94	1,45	1,45	0,94
Perda de carga por metro (mmca/m)	0,21	0,21	0,29	0,21	0,21	0,29
Perda de carga duto reto (mmca)	0,30	0,30	0,27	0,30	0,30	0,27
Pressão dinâmica (mmca)	1,97	1,97	3,57	1,97	1,97	3,57
Curvas 90° (qtd)						
Coefficiente Curvas 90°						
Perda de carga Curvas 90° (mmca)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Transições (qtd)						
Coefficiente Transições						
Perda de carga Transições (mmca)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Entroncamento T (qtd)						
Coefficiente Entrocamento T						
Perda de carga Entrocamento T (mmca)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Entrocamento Y (qtd)	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
Coefficiente Entrocamento Y	0,25	0,25	0,24	0,25	0,25	0,24
Perda de carga entrocamento Y (mmca)	0,49	0,49	0,86	0,49	0,49	0,86
Perda de carga total (mmca)	1,81	1,81	1,12	1,81	1,81	1,12
Perda de carga acumulada na saída (mmca)	1,81	1,81	2,94	1,81	1,81	2,94

Fonte: elaborado pelo autor.

Trecho	7-1	7-2	8	9	10	11
Vazão (L/s)	850,07	850,07	850,07	212,52	212,52	425,03
Vazão (m ³ /h)	3060,00	3060,00	3060,00	765,00	765,00	1530,00
Difusor (mm)				400x400	400x400	
Perda de carga difusor/grelha (mmca)				1,02	1,02	
Formato do duto	Retangular	Retangular	Retangular	Retangular	Retangular	Retangular
Largura do duto (mm)	450,00	350,00	350,00	200,00	200,00	300,00
Altura do duto (mm)	200,00	300,00	300,00	200,00	200,00	200,00
Diâmetro Equivalente (mm)	321,45	353,96	353,96	218,63	218,63	266,41
Velocidade (m/s)	10,47	8,64	8,64	5,66	5,66	7,62
Comprimento do duto (m)	3,36	3,36	20,31	1,54	1,54	1,02
Perda de carga por metro (mmca/m)	0,43	0,25	0,25	0,21	0,21	0,29
Perda de carga duto reto (mmca)	1,46	0,84	5,10	0,32	0,32	0,29
Pressão dinâmica (mmca)	6,73	4,58	4,58	1,97	1,97	3,57
Curvas 90° (qtd)			1,00			
Coefficiente Curvas 90°			0,22			
Perda de carga Curvas 90° (mmca)	0,00	0,00	1,01	0,00	0,00	0,00
Transições (qtd)	1,00					
Coefficiente Transições	0,00					
Perda de carga Transições (mmca)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Entrocamento T (qtd)			1,00			
Coefficiente Entrocamento T			0,29			
Perda de carga Entrocamento T (mmca)	0,00	0,00	1,33	0,00	0,00	0,00
Entrocamento Y (qtd)				1,00	1,00	1,00
Coefficiente Entrocamento Y				0,25	0,25	0,24
Perda de carga entrocamento Y (mmca)	0,00	0,00	0,00	0,49	0,49	0,86
Perda de carga total (mmca)	1,46	0,84	7,43	1,83	1,83	1,15
Perda de carga acumulada na saída (mmca)	4,40	5,24	11,83	1,83	1,83	2,98

Fonte: elaborado pelo autor.

Trecho	12	13	14	15-1	15-2	16	17
Vazão (L/s)	212,52	212,52	425,03	850,07	850,07	1700,14	1700,14
Vazão (m ³ /h)	765,00	765,00	1530,00	3060,00	3060,00	6120,00	6120,00
Difusor (mm)	400x400	400x400					
Perda de carga difusor/grelha (mmca)	1,02	1,02					
Formato do duto	Retangular						
Largura do duto (mm)	200,00	200,00	300,00	450,00	350,00	500,00	500,00
Altura do duto (mm)	200,00	200,00	200,00	200,00	300,00	350,00	350,00
Diâmetro Equivalente (mm)	218,63	218,63	266,41	321,45	353,96	455,50	455,50
Velocidade (m/s)	5,66	5,66	7,62	10,47	8,64	10,43	10,43
Comprimento do duto (m)	1,54	1,54	1,02	3,44	3,44	12,35	9,04
Perda de carga por metro (mmca/m)	0,21	0,21	0,29	0,43	0,25	0,27	0,27
Perda de carga duto reto (mmca)	0,32	0,32	0,29	1,50	0,86	3,30	2,42
Pressão dinâmica (mmca)	1,97	1,97	3,57	6,73	4,58	6,68	6,68
Curvas 90° (qtd)							1,00
Coefficiente Curvas 90°							0,23
Perda de carga Curvas 90° (mmca)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1,54
Transições(qtd)				1,00			
Coefficiente Transições				0,00			
Perda de carga Transições (mmca)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Entroncamento T (qtd)					1,00		
Coefficiente Entrocamento T					0,03		
Perda de carga Entrocamento T (mmca)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,12	0,00	0,00
Entrocamento Y (qtd)	1,00	1,00	1,00				
Coefficiente Entrocamento Y	0,25	0,25	0,24				
Perda de carga entrocamento Y (mmca)	0,49	0,49	0,86	0,00	0,00	0,00	0,00
Perda de carga total (mmca)	1,83	1,83	1,15	1,50	0,98	3,30	3,95
Perda de carga acumulada na saída (mmca)	1,83	1,83	2,98	4,47	5,46	15,13	19,08

Fonte: elaborado pelo autor.

Trecho	18	19	20	21	22	23
Vazão (L/s)	83,34	83,34	166,68	83,34	250,02	83,34
Vazão (m ³ /h)	300,00	300,00	600,00	300,00	900,00	300,00
Difusor (in)	9"x9"	9"x9"		9"x9"		9"x9"
Perda de carga difusor/grelha (mmca)	0,90	0,90		0,90		0,90
Formato do duto	Retangular	Retangular	Retangular	Retangular	Retangular	Retangular
Largura do duto (mm)	125,00	125,00	200,00	100,00	300,00	100,00
Altura do duto (mm)	150,00	150,00	150,00	150,00	150,00	150,00
Diâmetro Equivalente (mm)	149,53	149,53	188,85	133,20	228,51	133,20
Velocidade (m/s)	4,75	4,75	5,95	5,98	6,10	5,98
Comprimento do duto (m)	0,64	0,64	2,59	0,64	4,03	1,15
Perda de carga por metro (mmca/m)	0,24	0,24	0,28	0,43	0,24	0,43
Perda de carga duto reto (mmca)	0,16	0,16	0,71	0,28	0,96	0,50
Pressão dinâmica (mmca)	1,38	1,38	2,17	2,19	2,28	2,19
Curvas 90° (qtd)						
Coefficiente Curvas 90°						
Perda de carga Curvas 90° (mmca)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Transições(qtd)						
Coefficiente Transições						
Perda de carga Transições (mmca)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Entrocamento T (qtd)			1,00	1,00	1,00	
Coefficiente Entrocamento T			-0,05	0,40	-0,03	
Perda de carga Entrocamento T (mmca)	0,00	0,00	-0,11	0,88	-0,07	0,00
Entrocamento Y (qtd)	1,00	1,00				1,00
Coefficiente Entrocamento Y	0,48	0,48				0,30
Perda de carga entrocamento Y (mmca)	0,66	0,66	0,00	0,00	0,00	0,66
Perda de carga total (mmca)	1,71	1,71	0,61	2,06	0,89	2,06
Perda de carga acumulada na saída (mmca)	1,71	1,71	2,32	2,06	3,21	2,06

Fonte: elaborado pelo autor.

Trecho	24	25	26-1	26-2	27	28
Vazão (L/s)	83,34	166,68	416,70	416,70	416,70	83,34
Vazão (m ³ /h)	300,00	600,00	1500,00	1500,00	1500,00	300,00
Difusor (in)	9"x9"					9"x9"
Perda de carga difusor/grelha (mmca)	0,90					0,90
Formato do duto	Retangular	Retangular	Retangular	Retangular	Retangular	Retangular
Largura do duto (mm)	100,00	200,00	400,00	300,00	300,00	100,00
Altura do duto (mm)	150,00	150,00	150,00	200,00	200,00	200,00
Diâmetro Equivalente (mm)	133,20	188,85	260,13	266,41	266,41	152,34
Velocidade (m/s)	5,98	5,95	7,84	7,47	7,47	4,57
Comprimento do duto (m)	1,15	0,34	0,85	0,85	1,88	0,64
Perda de carga por metro (mmca/m)	0,43	0,28	0,34	0,42	0,28	0,23
Perda de carga duto reto (mmca)	0,50	0,09	0,29	0,36	0,52	0,15
Pressão dinâmica (mmca)	2,19	2,17	3,77	3,43	3,43	1,28
Curvas 90° (qtd)				1,00		
Coefficiente Curvas 90°				0,24		
Perda de carga Curvas 90° (mmca)	0,00	0,00	0,00	0,82	0,00	0,00
Transições (qtd)			1,00			
Coefficiente Transições			0,00			
Perda de carga Transições (mmca)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Entroncamento T (qtd)		1,00			1,00	
Coefficiente Entroncamento T		0,30			-0,05	
Perda de carga Entroncamento T (mmca)	0,00	0,65	0,00	0,00	-0,17	0,00
Entroncamento Y (qtd)	1,00					1,00
Coefficiente Entroncamento Y	0,30					0,72
Perda de carga entroncamento Y (mmca)	0,66	0,00	0,00	0,00	0,00	0,92
Perda de carga total (mmca)	2,06	0,75	0,29	1,18	0,35	1,97
Perda de carga acumulada na saída (mmca)	2,06	2,80	3,49	4,67	5,02	1,97

Fonte: elaborado pelo autor.

Trecho	29	30	31-1	31-2	32	33
Vazão (L/s)	83,34	166,68	583,38	583,38	83,34	83,34
Vazão (m ³ /h)	300,00	600,00	2100,00	2100,00	300,00	300,00
Difusor (in)	9"x9"				9"x9"	9"x9"
Perda de carga difusor/grelha (mmca)	0,90				0,90	0,90
Formato do duto	Retangular	Retangular	Retangular	Retangular	Retangular	Retangular
Largura do duto (mm)	100,00	125,00	450,00	300,00	125,00	125,00
Altura do duto (mm)	200,00	200,00	200,00	300,00	150,00	150,00
Diâmetro Equivalente (mm)	152,34	171,67	321,45	327,95	149,53	149,53
Velocidade (m/s)	4,57	7,20	7,19	6,91	4,75	4,75
Comprimento do duto (m)	0,64	0,25	0,94	0,94	0,64	0,64
Perda de carga por metro (mmca/m)	0,23	0,45	0,21	0,18	0,24	0,24
Perda de carga duto reto (mmca)	0,15	0,11	0,20	0,17	0,16	0,16
Pressão dinâmica (mmca)	1,28	3,18	3,17	2,93	1,38	1,38
Curvas 90° (qtd)						
Coefficiente Curvas 90°						
Perda de carga Curvas 90° (mmca)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Transições (qtd)			1,00			
Coefficiente Transições			0,00			
Perda de carga Transições (mmca)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Entroncamento T (qtd)		1,00		1,00		
Coefficiente Entroncamento T		0,40		0,00		
Perda de carga Entroncamento T (mmca)	0,00	1,27	0,00	0,00	0,00	0,00
Entroncamento Y (qtd)	1,00				1,00	1,00
Coefficiente Entroncamento Y	0,72				0,48	0,48
Perda de carga entroncamento Y (mmca)	0,92	0,00	0,00	0,00	0,66	0,66
Perda de carga total (mmca)	1,97	1,38	0,20	0,17	1,71	1,71
Perda de carga acumulada na saída (mmca)	1,97	3,36	5,22	5,39	1,71	1,71

Fonte: elaborado pelo autor.

Trecho	34	35	36	37	38	39
Vazão (L/s)	166,68	83,34	250,02	83,34	83,34	166,68
Vazão (m ³ /h)	600,00	300,00	900,00	300,00	300,00	600,00
Difusor (in)		9"x9"		9"x9"	9"x9"	
Perda de carga difusor/grelha (mmca)		0,90		0,90	0,90	
Formato do duto	Retangular	Retangular	Retangular	Retangular	Retangular	Retangular
Largura do duto (mm)	200,00	100,00	300,00	100,00	100,00	200,00
Altura do duto (mm)	150,00	150,00	150,00	150,00	150,00	150,00
Diâmetro Equivalente (mm)	188,85	133,20	228,51	133,20	133,20	188,85
Velocidade (m/s)	5,95	5,98	6,10	5,98	5,98	5,95
Comprimento do duto (m)	2,59	0,64	4,03	1,15	1,15	0,34
Perda de carga por metro (mmca/m)	0,28	0,43	0,24	0,43	0,43	0,28
Perda de carga duto reto (mmca)	0,71	0,28	0,96	0,50	0,50	0,09
Pressão dinâmica (mmca)	2,17	2,19	2,28	2,19	2,19	2,17
Curvas 90° (qtd)						
Coefficiente Curvas 90°						
Perda de carga Curvas 90° (mmca)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Transições (qtd)						
Coefficiente Transições						
Perda de carga Transições (mmca)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Entroncamento T (qtd)	1,00	1,00	1,00			1,00
Coefficiente Entroncamento T	-0,05	0,40	-0,03			0,30
Perda de carga Entroncamento T (mmca)	-0,11	0,88	-0,07	0,00	0,00	0,65
Entroncamento Y (qtd)				1,00	1,00	
Coefficiente Entroncamento Y				0,30	0,30	
Perda de carga entroncamento Y (mmca)	0,00	0,00	0,00	0,66	0,66	0,00
Perda de carga total (mmca)	0,61	2,06	0,89	2,06	2,06	0,75
Perda de carga acumulada na saída (mmca)	2,32	2,06	3,21	2,06	2,06	2,80

Fonte: elaborado pelo autor.

Trecho	40-1	40-2	41	42	43	44
Vazão (L/s)	416,70	416,70	1000,08	83,34	83,34	166,68
Vazão (m ³ /h)	1500,00	1500,00	3600,00	300,00	300,00	600,00
Difusor (in)				9"x9"	9"x9"	
Perda de carga difusor/grelha (mmca)				0,90	0,90	
Formato do duto	Retangular	Retangular	Retangular	Retangular	Retangular	Retangular
Largura do duto (mm)	350,00	175,00	400,00	125,00	125,00	200,00
Altura do duto (mm)	150,00	300,00	300,00	150,00	150,00	150,00
Diâmetro Equivalente (mm)	245,08	248,24	377,71	149,53	149,53	188,85
Velocidade (m/s)	8,83	8,61	8,92	4,75	4,75	5,95
Comprimento do duto (m)	0,85	0,85	15,50	1,32	1,32	2,63
Perda de carga por metro (mmca/m)	0,44	0,40	0,25	0,24	0,24	0,28
Perda de carga duto reto (mmca)	0,38	0,34	3,85	0,32	0,32	0,72
Pressão dinâmica (mmca)	4,79	4,55	4,89	1,38	1,38	2,17
Curvas 90° (qtd)						
Coefficiente Curvas 90°						
Perda de carga Curvas 90° (mmca)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Transições (qtd)	1,00					
Coefficiente Transições	0,00					
Perda de carga Transições (mmca)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Entroncamento T (qtd)		1,00	1,00			1,00
Coefficiente Entroncamento T		0,40	-0,05			-0,05
Perda de carga Entroncamento T (mmca)	0,00	1,82	-0,24	0,00	0,00	-0,11
Entroncamento Y (qtd)				1,00	1,00	
Coefficiente Entroncamento Y				0,48	0,48	
Perda de carga entroncamento Y (mmca)	0,00	0,00	0,00	0,66	0,66	0,00
Perda de carga total (mmca)	0,38	2,16	3,60	1,88	1,88	0,62
Perda de carga acumulada na saída (mmca)	3,58	5,74	9,34	1,88	1,88	2,49

Fonte: elaborado pelo autor.

Trecho	45	46	47	48	49	50-1
Vazão (L/s)	83,34	250,02	83,34	83,34	166,68	416,70
Vazão (m³/h)	300,00	900,00	300,00	300,00	600,00	1500,00
Difusor (in)	9"x9"		9"x9"	9"x9"		
Perda de carga difusor/grelha (mmca)	0,90		0,90	0,90		
Formato do duto	Retangular	Retangular	Retangular	Retangular	Retangular	Retangular
Largura do duto (mm)	100,00	300,00	100,00	100,00	200,00	350,00
Altura do duto (mm)	150,00	150,00	150,00	150,00	150,00	150,00
Diâmetro Equivalente (mm)	133,20	228,51	133,20	133,20	188,85	245,08
Velocidade (m/s)	5,98	6,10	5,98	5,98	5,95	8,83
Comprimento do duto (m)	1,32	4,14	1,06	1,06	1,02	0,76
Perda de carga por metro (mmca/m)	0,43	0,24	0,43	0,43	0,28	0,44
Perda de carga duto reto (mmca)	0,57	0,98	0,46	0,46	0,28	0,34
Pressão dinâmica (mmca)	2,19	2,28	2,19	2,19	2,17	4,79
Curvas 90° (qtd)						
Coefficiente Curvas 90°						
Perda de carga Curvas 90° (mmca)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Transições(qtd)						1,00
Coefficiente Transições						0,00
Perda de carga Transições (mmca)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Entroncamento T (qtd)	1,00	1,00			1,00	
Coefficiente Entroncamento T	0,40	-0,03			0,30	
Perda de carga Entroncamento T (mmca)	0,88	-0,07	0,00	0,00	0,65	0,00
Entroncamento Y (qtd)			1,00	1,00		
Coefficiente Entroncamento Y			0,30	0,30		
Perda de carga entroncamento Y (mmca)	0,00	0,00	0,66	0,66	0,00	0,00
Perda de carga total (mmca)	2,35	0,92	2,02	2,02	0,93	0,34
Perda de carga acumulada na saída (mmca)	2,35	3,41	2,02	2,02	2,95	3,75

Fonte: elaborado pelo autor.

Trecho	50-2	51	52	53	54	55-1
Vazão (L/s)	416,70	1416,78	83,34	83,34	166,68	1583,46
Vazão (m³/h)	1500,00	5100,00	300,00	300,00	600,00	5700,00
Difusor (in)			9"x9"	9"x9"		
Perda de carga difusor/grelha (mmca)			0,90	0,90		
Formato do duto	Retangular	Retangular	Retangular	Retangular	Retangular	Retangular
Largura do duto (mm)	175,00	500,00	100,00	100,00	150,00	550,00
Altura do duto (mm)	300,00	300,00	300,00	300,00	300,00	300,00
Diâmetro Equivalente (mm)	248,24	419,98	182,65	182,65	228,51	439,05
Velocidade (m/s)	8,61	10,23	3,18	3,18	4,06	10,46
Comprimento do duto (m)	0,76	3,25	1,32	1,32	0,17	1,62
Perda de carga por metro (mmca/m)	0,40	0,29	0,10	0,10	0,11	0,29
Perda de carga duto reto (mmca)	0,30	0,94	0,14	0,14	0,02	0,47
Pressão dinâmica (mmca)	4,55	6,42	0,62	0,62	1,01	6,71
Curvas 90° (qtd)						
Coefficiente Curvas 90°						
Perda de carga Curvas 90° (mmca)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Transições(qtd)						1,00
Coefficiente Transições						0,00
Perda de carga Transições (mmca)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Entroncamento T (qtd)	1,00	1,00			1,00	
Coefficiente Entroncamento T	0,40	-0,01			0,55	
Perda de carga Entroncamento T (mmca)	1,82	-0,06	0,00	0,00	0,56	0,00
Entroncamento Y (qtd)			1,00	1,00		
Coefficiente Entroncamento Y			0,53	0,53		
Perda de carga entroncamento Y (mmca)	0,00	0,00	0,33	0,33	0,00	0,00
Perda de carga total (mmca)	2,12	0,87	1,37	1,37	0,58	0,47
Perda de carga acumulada na saída (mmca)	5,87	10,22	1,37	1,37	1,94	10,68

Fonte: elaborado pelo autor.

Trecho	55-2	56	57	58	59	60
Vazão (L/s)	1583,46	83,34	83,34	166,68	83,34	250,02
Vazão (m ³ /h)	5700,00	300,00	300,00	600,00	300,00	900,00
Difusor (in)		9"x9"	9"x9"		9"x9"	
Perda de carga difusor/grelha (mmca)		0,90	0,90		0,90	
Formato do duto	Retangular	Retangular	Retangular	Retangular	Retangular	Retangular
Largura do duto (mm)	400,00	125,00	125,00	200,00	100,00	300,00
Altura do duto (mm)	400,00	150,00	150,00	150,00	150,00	150,00
Diâmetro Equivalente (mm)	437,27	149,53	149,53	188,85	133,20	228,51
Velocidade (m/s)	10,54	4,75	4,75	5,95	5,98	6,10
Comprimento do duto (m)	1,62	1,32	1,32	2,63	1,32	4,14
Perda de carga por metro (mmca/m)	0,28	0,24	0,24	0,28	0,43	0,24
Perda de carga duto reto (mmca)	0,46	0,32	0,32	0,72	0,57	0,98
Pressão dinâmica (mmca)	6,82	1,38	1,38	2,17	2,19	2,28
Curvas 90° (qtd)						
Coefficiente Curvas 90°						
Perda de carga Curvas 90° (mmca)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Transições (qtd)						
Coefficiente Transições						
Perda de carga Transições (mmca)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Entroncamento T (qtd)	1,00			1,00	1,00	1,00
Coefficiente Entroncamento T	0,00			-0,05	0,40	-0,03
Perda de carga Entroncamento T (mmca)	0,00	0,00	0,00	-0,11	0,88	-0,07
Entroncamento Y (qtd)		1,00	1,00			
Coefficiente Entroncamento Y		0,48	0,48			
Perda de carga entroncamento Y (mmca)	0,00	0,66	0,66	0,00	0,00	0,00
Perda de carga total (mmca)	0,46	1,88	1,88	0,62	2,35	0,92
Perda de carga acumulada na saída (mmca)	11,14	1,88	1,88	2,49	2,35	3,41

Fonte: elaborado pelo autor.

Trecho	61	62	63	64-1	64-2	65	66
Vazão (L/s)	83,34	83,34	166,68	416,70	416,70	2000,16	2000,16
Vazão (m ³ /h)	300,00	300,00	600,00	1500,00	1500,00	7200,00	7200,00
Difusor (in)	9"x9"	9"x9"					
Perda de carga difusor/grelha (mmca)	0,90	0,90					
Formato do duto	Retangular						
Largura do duto (mm)	100,00	100,00	200,00	400,00	150,00	500,00	500,00
Altura do duto (mm)	150,00	150,00	150,00	150,00	400,00	400,00	400,00
Diâmetro Equivalente (mm)	133,20	133,20	188,85	260,13	260,13	488,12	488,12
Velocidade (m/s)	5,98	5,98	5,95	7,84	7,84	10,69	10,69
Comprimento do duto (m)	1,06	1,06	1,02	0,76	0,76	9,10	1,52
Perda de carga por metro (mmca/m)	0,43	0,43	0,28	0,34	0,34	0,26	0,26
Perda de carga duto reto (mmca)	0,46	0,46	0,28	0,26	0,26	2,32	0,39
Pressão dinâmica (mmca)	2,19	2,19	2,17	3,77	3,77	7,01	7,01
Curvas 90° (qtd)						1,00	
Coefficiente Curvas 90°						0,23	
Perda de carga Curvas 90° (mmca)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1,61	0,00
Transições (qtd)				1,00			
Coefficiente Transições				0,00			
Perda de carga Transições (mmca)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Entroncamento T (qtd)			1,00		1,00		
Coefficiente Entroncamento T			0,30		0,35		
Perda de carga Entroncamento T (mmca)	0,00	0,00	0,65	0,00	1,32	0,00	0,00
Entroncamento Y (qtd)	1,00	1,00					
Coefficiente Entroncamento Y	0,30	0,30					
Perda de carga entroncamento Y (mmca)	0,66	0,66	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Perda de carga total (mmca)	2,02	2,02	0,93	0,26	1,58	3,93	0,39
Perda de carga acumulada na saída (mmca)	2,02	2,02	2,95	3,67	5,24	15,07	15,46

Fonte: elaborado pelo autor.

ANEXO C – DADOS DE BALANCEAMENTO DA REDE DE DUTOS.

Balanceamento	21	25	30	35	39	40-2
Pressão a compensar (mmca)	0,26	0,40	1,66	0,26	0,40	-0,35
Diferença percentual	11,27%	12,57%	33,13%	11,27%	12,57%	-6,45%

Fonte: elaborado pelo autor.

Balanceamento	45	49	50-2	54	59	63	64-2
Pressão a compensar (mmca)	0,14	0,46	3,48	8,27	0,14	0,46	5,90
Diferença percentual	5,68%	13,40%	37,22%	80,98%	5,68%	13,40%	52,93%

Fonte: elaborado pelo autor.