



UNIVERSIDADE FEDERAL DE OURO PRETO – UFOP

ESCOLA DE MINAS

DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA MECÂNICA



LEONARDO SILVA HARMENDANI

**DIMENSIONAMENTO DE UM SISTEMA DE VENTILAÇÃO LOCAL
EXAUSTORA PARA COZINHA INDUSTRIAL**

**OURO PRETO - MG
2021**

LEONARDO SILVA HARMENDANI
leonardo.harmendani@aluno.ufop.edu.br

**DIMENSIONAMENTO DE UM SISTEMA DE VENTILAÇÃO LOCAL
EXAUSTORA PARA COZINHA INDUSTRIAL**

Monografia apresentada ao Curso de
Graduação em Engenharia Mecânica
da Universidade Federal de Ouro Preto
como requisito para a obtenção do
título de Engenheiro Mecânico.

Professor orientador: DSc. Luís Antônio Bortolaia

OURO PRETO – MG
2021

SISBIN - SISTEMA DE BIBLIOTECAS E INFORMAÇÃO

H287d Harmendani, Leonardo Silva .

Dimensionamento de um sistema de ventilação local exaustora para cozinha industrial. [manuscrito] / Leonardo Silva Harmendani. - 2021.
52 f.: il.: color., tab..

Orientador: Prof. Dr. Luís Antônio Bortolaia.

Monografia (Bacharelado). Universidade Federal de Ouro Preto. Escola de Minas. Graduação em Engenharia Mecânica .

1. Ventilação Industrial. 2. Cozinha industrial. 3. Exaustores. 4. Dutos.
I. Bortolaia, Luís Antônio. II. Universidade Federal de Ouro Preto. III.
Título.

CDU 621

Bibliotecário(a) Responsável: Maristela Sanches Lima Mesquita - CRB-1716



MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
UNIVERSIDADE FEDERAL DE OURO PRETO
REITORIA
ESCOLA DE MINAS
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA MECANICA



FOLHA DE APROVAÇÃO

Leonardo Silva Harmendani

Dimensionamento de um sistema de ventilação local exaustora para cozinha industrial

Monografia apresentada ao Curso de Engenharia Mecânica da Universidade Federal de Ouro Preto como requisito parcial para obtenção do título de Engenheiro Mecânico

Aprovada em 08 de dezembro de 2021

Membros da banca

DsC. Luís Antônio Bortolaia - Orientador (Universidade Federal de Ouro Preto)
DsC. Luiz Joaquim Cardoso Rocha (Universidade Federal de Ouro Preto)
DsC. Claudio Márcio Santana (Universidade Federal de Ouro Preto)

Luís Antônio Bortolaia, orientador do trabalho, aprovou a versão final e autorizou seu depósito na Biblioteca Digital de Trabalhos de Conclusão de Curso da UFOP em 15/12/2021



Documento assinado eletronicamente por **Luís Antonio Bortolaia, PROFESSOR DE MAGISTERIO SUPERIOR**, em 15/12/2021, às 16:59, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 6º, § 1º, do [Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015](#).



A autenticidade deste documento pode ser conferida no site http://sei.ufop.br/sei/controlador_externo.php?acao=documento_conferir&id_orgao_acesso_externo=0, informando o código verificador **0259269** e o código CRC **102CE026**.

Referência: Caso responda este documento, indicar expressamente o Processo nº 23109.013271/2021-55

SEI nº 0259269

R. Diogo de Vasconcelos, 122, - Bairro Pilar Ouro Preto/MG, CEP 35400-000
Telefone: (31)3559-1533 - www.ufop.br

Agradeço à minha família, amigos e todos que contribuíram de alguma forma para esta etapa.

AGRADECIMENTO

Ao meu orientador Luís, pelo incentivo e orientação neste trabalho.

Aos professores do curso de engenharia mecânica por suas importantes contribuições para o aprimoramento do trabalho.

A Artigo Quinto e todos os amigos que fiz em Ouro Preto.

Aos irmãos republicanos.

“Talvez não tenhamos conseguido fazer o melhor. Mas lutamos para que o melhor fosse feito. Não somos o que deveríamos ser, não somos o que iremos ser, mas graças a Deus não somos o que éramos”.

Martin Luther King

RESUMO

A cozinha industrial é um ambiente dotado de grandes equipamentos que geram calor e resíduos gasosos que se prendem ao ar. O calor emitido na cozinha prejudica o rendimento dos funcionários, já que estes são colocados em uma situação de desconforto térmico. Partículas como benzo(a)pireno, que tem potencial cancerígeno, é despreendida durante o processo de cocção e prejudica a saúde dos colaboradores. Além disso, a gordura é um contaminante que traz problemas de incrustação e entupimento no maquinário da cozinha. Esse trabalho tem como objetivo dimensionar um sistema de ventilação local exaustora capaz de retirar calor, partículas nocivas à saúde e gorduras do ambiente de trabalho, como também filtrar e devolver o ar limpo ao ambiente externo, sem contaminantes. Para tal, foi realizada pesquisa sobre os principais componentes do sistema de ventilação como ventiladores, dutos, filtros e coletores de gordura e como dimensioná-los para a cozinha apresentada. Para o dimensionamento é necessário calcular a perda de carga e atender a todas as exigências das normas técnicas, como velocidade na tubulação, materiais e vazões recomendadas. Foram obtidos resultados satisfatórios que sanam a problemática do trabalho. Na conclusão é observado que o sistema de exaustão traz muitos benefícios para o ambiente de trabalho e sua implementação é essencial.

Palavras-chave: Ventilação local exaustora, Cozinha industrial, conforto térmico.

ABSTRACT

The industrial kitchen is an environment equipped with large equipment that generate heat and gaseous residues that attach to the air. The heat emitted in the kitchen affects the employees' performance, as they are placed in a situation of thermal discomfort. Particles such as benzo(a)pyrene, which has carcinogenic potential, is released during the cooking process and harms the health of employees. In addition, grease is a contaminant that causes fouling and clogging problems in kitchen machinery. This work aims to design a local exhaust ventilation system capable of removing heat, harmful particles and grease from the work environment, as well as filtering and returning clean air to the external environment without contaminants. Factors such as the kitchen area and the equipment present were taken into account when sizing the system. In conclusion, it is observed that the exhaust system brings many benefits to the work environment and its implementation is essential.

Key-words: *Kitchen ventilation, Thermal comfort, Industrial kitchen.*

LISTA DE SIMBOLOS

q_v : vazão de ar, m³/s;

A : área, m²;

v : velocidade, m/s;

L : comprimento, m;

b : largura, m;

h : altura, m;

P : perímetro aberto, m.

D : diâmetro interno do duto, m.

ΔP : Perda de carga, Pa;

g : aceleração da gravidade, m/s²;

f : coeficiente de atrito;

γ : peso específico do ar, N/m³

ε : rugosidade relativa;

Re : Número de Reynolds

ϑ : viscosidade cinemática

h_v : pressão dinâmica, mm.H₂O

KL : coeficiente de perda de carga localizada

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Esquemática simples do conceito de ventilação	5
Figura 2 - Ventilação geral diluidora.....	6
Figura 3 - Tipos de ventilação geral diluidora.....	6
Figura 4 - Sistema de ventilação local exaustora.....	7
Figura 5 - Componentes de um sistema de ventilação local exaustora:	8
Figura 6 - Da esquerda para direita: captor enclausurante, captor do tipo cabine e captor externo.	9
Figura 7 - Coifa dupla	10
Figura 8- Coifa de ilha simples.....	10
Figura 9 - Coifa de parede com duas laterais fechadas.	11
Figura 10 - Coifa com aspiração frontal.	11
Figura 11 - Coifa de máquina de lavar louças sobreposta.....	12
Figura 12 – à esquerda, coifa parcial para fornos elétricos. À direita, coifa total para fornos elétricos.	12
Figura 13 - Coifa para churrasqueira a combustível sólido.....	13
Figura 14 - Ventilador centrífugo com pás radiais.	16
Figura 15 - Ventilador centrífugo com pás inclinadas para frente.	17
Figura 16 - Ventilador centrífugo com pás inclinadas para trás.....	17
Figura 17 - Filtro inercial de gordura.....	19
Figura 18 - Coifa lavadora.....	20
Figura 19 - Lavador de gases.....	21
Figura 20 - Lavador com torre de enchimento.	21
Figura 21 - Filtro eletrostático.....	22
Figura 22 - Portas de inspeção.....	24
Figura 23 - Diagrama de Moody.	26
Figura 24 - Gráfico para correção da perda de carga.....	27

Figura 25 - <i>Damper</i> corta-fogo com acionamento por fusível térmico.	30
Figura 26 - Fluxograma das etapas do trabalho.....	33
Figura 27 - Chapa e fritadeira da FFK Burgers.	35
Figura 28 - Esquema de sistema de ventilação exaustora.	36
Figura 29 - Representação do cálculo da perda de carga em coifa contra a parede.	38
Figura 30 - Gráfico da curva de perda de carga dos filtros inerciais Krieger.	39
Figura 31 - <i>Damper</i> corta-fogo circular da Trox do Brasil LTDA.....	40
Figura 32 - Diagrama com valores da perda de carga e potência sonora do modelo FKA-D-BR-45.....	41
Figura 33 - Diagrama de Moody.	43
Figura 34 - Lavador de gases LH-1.	44
Figura 35 - Dados de entrada no programa.	46
Figura 36 - Dados do ventilador.	47
Figura 37 - Dados do ventilador ARF315.....	48
Figura 38 - Ventilador ARF315.....	48

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Velocidades recomendadas para o dimensionamento de dutos.	23
Tabela 2 - Requisitos básicos dos sistemas de exaustão	29
Tabela 3 - Variáveis e indicadores.....	34
Tabela 4 - Modelos de filtro inercial com suas dimensões e faixa de vazão volumétrica atendida.	39
Tabela 5 - Propriedades que serão usadas para o cálculo da perda de carga na tubulação.	42
Tabela 6 - Coeficiente de perda de carga para grelhas com orifícios.	45
Tabela 7 - Perdas de carga do sistema	45
Tabela 8 - Informações acerca dos diferentes diâmetros do ventilador.	47

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	1
1.1	Formulação do Problema	1
1.2	Justificativa	2
1.3	Objetivos	2
1.3.1	Geral.....	2
1.3.2	Específicos	2
1.4	Estrutura do Trabalho	3
2	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	4
2.1	Conforto Térmico	4
2.2	Ventilação Geral.....	5
2.2.1	Ventilação geral diluidora	5
2.2.2	Ventilação local exaustora	7
2.3	Sistemas de ventilação para cozinhas profissionais	8
2.3.1	Captorees	9
2.3.2	Cálculo da vazão.....	13
2.3.3	Ventiladores.....	15
2.3.4	Equipamentos coletores de contaminantes.....	17
2.4	Dutos.....	22
2.4.1	Perda de carga.....	24
2.5	Prevenção contra incêndios.....	28
2.5.1	<i>Damper</i> corta-fogo.....	30
3	METODOLOGIA	32
3.1	Tipos de pesquisa	32
3.2	Materiais e métodos.....	33
3.3	Variáveis e indicadores.....	33
3.4	Instrumento de coleta de dados	34
3.5	Tabulação de dados	34
3.6	Considerações finais do capítulo	34
4	RESULTADOS.....	35
4.1	Leiaute	35

4.2	Cálculo da vazão da coifa	36
4.3	Dimensionamento dos dutos	37
4.4	Cálculo da perda de carga	37
4.4.1	Perda de carga na coifa	37
4.4.2	Perda de carga no <i>damp</i> er corta-fogo	40
4.4.3	Perda de carga na tubulação reta e acessórios	41
4.4.4	Perda de carga no lavador de gases	43
4.4.5	Perda de carga na chaminé	44
4.4.6	Perda de carga total.....	45
4.5	Seleção do ventilador.....	46
5	CONCLUSÃO	50
5.1	Conclusões	50
5.2	Recomendações.....	50
	REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA	51

1 INTRODUÇÃO

1.1 Formulação do Problema

O preparo de refeições em larga escala é bem diferente e mais complexo que simplesmente fazer uma refeição em casa. Por isso, as cozinhas profissionais, geralmente apresentam estruturas que contam com grandes máquinas, como refrigeradores, chapas, fogões industriais, fornos, fritadeiras, entre outros (APETIT, 2016). Desse modo, é necessário se preocupar com todos os detalhes na hora de planejar e construir uma cozinha desse porte, se atentando às normas técnicas e com o conforto e saúde dos profissionais que irão trabalhar nesse ambiente.

De acordo com a ABNT (2020), durante a cocção dos alimentos é observado o desprendimento de vapor d'água, calor, gases de combustão e algumas outras substâncias como, hidrocarbonetos policíclicos aromáticos (PAH), que são dispersos e transportados pelo ar nas partículas de gorduras, tanto de origem vegetal quanto animal. Dentre os quais, destaca-se o benzo(a)pireno, proveniente do processo de cozimento de grelhados e braseiros, que apresenta atividade cancerígena comprovada.

A ventilação industrial é uma das principais medidas no controle efetivo de riscos em ambientes de trabalho prejudiciais ao ser humano, sua finalidade é evitar a dispersão de contaminantes no ambiente e promover conforto térmico aos profissionais que ali se situam (CHAVES, 2012).

Segundo Clezar e Nogueira (2009), existem dois grandes grupos que classificam a ventilação, são eles: ventilação local exaustora, indicada em situações que as fontes de poluição conseguem ser facilmente identificadas e localizadas no recinto, e ventilação geral diluidora, indicada quando as fontes de poluição não estão confinadas em pontos identificáveis.

A função de um sistema de exaustão e ventilação em uma cozinha profissional é remover e tratar os vapores e gases liberados durante a cocção dos alimentos, deixando o ambiente livre de fumaça e odores. Ademais, tal sistema também é responsável por promover a renovação do ar de maneira constante no local, mantendo a temperatura interna dentro dos limites aceitáveis para o melhor desempenho dos colaboradores (AEROVENT, 2021).

Nesse contexto, percebe-se que o sistema de exaustão e ventilação é um dos principais componentes em uma cozinha profissional e sua falta pode trazer problemas sérios para a saúde e conforto dos funcionários que nela trabalham.

Nessa conjuntura, surge a problemática:

Como dimensionar um sistema de exaustão e ventilação para uma cozinha profissional com o intuito de promover o conforto térmico e segurança dos colaboradores?

1.2 Justificativa

A cozinha de *delivery* da FFK *Burgers*, restaurante de hambúrgueres e porções, não conta com um sistema de exaustão e ventilação assim, pode ser observado que os funcionários estão expostos às partículas provenientes da cocção dos alimentos e ao calor excessivo gerado pelos equipamentos além de, ocorrer o acúmulo de gordura nas superfícies e objetos da cozinha.

O ritmo de trabalho em uma cozinha profissional é muito estressante e desgastante, os profissionais precisam estar a todo momento focados em suas funções para minimizar os erros e entregar o melhor produto possível ao cliente.

Tanto o cansaço quanto a irritabilidade são sintomas que podem ser gerados devido ao desconforto térmico que, além de afetar a saúde dos colaboradores pode promover baixo desempenho e erros em suas funções (DUFRIIO, 2017). O bem-estar dos funcionários está intrinsecamente relacionado ao seu desempenho e assim, é necessário garantir uma temperatura agradável e a qualidade do ar no ambiente de trabalho.

Ademais, como citado anteriormente, durante o processo de cocção de alimentos ocorre a liberação de partículas de benzo(a)pireno, composto comprovadamente cancerígeno, que pode gerar em futuros problemas de saúde para os funcionários do restaurante.

Vale ressaltar também a importância do sistema de exaustão e ventilação para a manutenção dos equipamentos, já que as partículas de gordura se espalham por todo o ambiente, causando acúmulo nas superfícies dos mesmos e podendo diminuir seu rendimento.

1.3 Objetivos

1.3.1 Geral

Dimensionar o sistema de exaustão e ventilação de uma cozinha industrial.

1.3.2 Específicos

- Realizar pesquisa bibliográfica sobre cozinhas industriais e sistemas de exaustão e ventilação característicos;

- Analisar o *layout* da cozinha a ser dimensionada, para instalação do sistema;
- Calcular os captores, tubulações, ventiladores e outros componentes do sistema de exaustão.

1.4 Estrutura do Trabalho

O presente trabalho será dividido em cinco capítulos, sendo escrito segundo as normas vigentes da ABNT e com o curso de Engenharia Mecânica da Universidade Federal de Ouro Preto.

No primeiro capítulo é apresentada uma breve introdução ao tema, destacando alguns pontos importantes até a caracterização da pergunta problema. Além disso, é elaborada a justificativa e a importância da realização desse trabalho, assim como os objetivos geral e específicos. No segundo capítulo é realizada a fundamentação teórica dos conceitos relacionados à ventilação industrial e dimensionamento de sistemas de exaustão para cozinhas profissionais. Já o terceiro capítulo aborda a metodologia utilizada para chegar até a possível solução do problema em questão. No quarto capítulo, são discutidos e analisados os resultados obtidos, verificando se estão de acordo com o proposto. Por fim, no capítulo cinco, são expostas as conclusões do projeto.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 Conforto Térmico

Frota e Schiffer (2006) comparam o funcionamento do corpo humano a uma máquina térmica, produzindo calor de acordo com as atividades que estão sendo praticadas. Dessa maneira, as pessoas liberam calor suficiente de forma a manter sua temperatura interna perto dos 37 °C, estado que é conhecido como homeotermia.

Ademais, o ser humano apresenta dois estados em relação as trocas térmicas com o ambiente. O primeiro, quando essas trocas ocorrem sem grandes empecilhos, o indivíduo sentirá a sensação de conforto térmico e seu rendimento no trabalho, nessa perspectiva, é máximo. Já na outra situação, quando ocorrem as sensações de frio ou calor, é um sinal de que nosso organismo não está em equilíbrio, ou seja, perde mais ou menos calor que o necessário e para retomar ao balanço é necessário um esforço adicional que resulta em diminuição no rendimento e possíveis problemas de saúde (FROTA E SCHIFFER, 2006).

Não é de hoje que a influência do clima sobre a produtividade dos seres humanos é estudada. Desde a Revolução Industrial, esse tema ganhou espaço e os primeiros esforços para se chegar a critérios de conforto térmico foram executados e publicados em 1923 pela *ASHVE*, Associação Americana dos Engenheiros de Aquecimento e Ventilação, por meio do trabalho de Houghten e Yaglou, que definiu as linhas de igual conforto, determinando assim a zona de conforto térmico e dando origem ao Índice de Temperatura Efetiva (RUAS, 1999). Tal índice pode ser definido como sendo a relação entre as condições de temperatura, velocidade e umidade do ar e as sensações de conforto, buscando estabelecer padrões para o conforto térmico (FROTA E SCHIFFER, 2006).

Ainda de acordo com Frota e Schiffer (2006), os índices de conforto térmico podem ser classificados em três grupos, sendo eles:

- Índices biofísicos: baseados nas trocas de calor entre o corpo e o ambiente;
- Índices fisiológicos: baseados nas reações fisiológicas que surgem das condições climáticas já conhecidas, como temperatura seca, umidade e velocidade do ar;
- Índices subjetivos: baseados nas sensações de conforto geradas nas situações que os elementos de conforto térmico variam.

Segundo Clezar e Nogueira (2009), as indústrias utilizam o índice IBUTG para definir os níveis de exposição a ambientes quentes, especificando quais são os níveis seguros para o trabalhador. O seu próprio nome indica como tal funciona, o índice é obtido a partir da temperatura de bulbo úmido natural (BU) e da temperatura de globo (TG) e é a média ponderada destas medidas.

2.2 Ventilação Geral

Para Clezar e Nogueira (2009), ventilar não é nada mais que trocar o ar de um ambiente fechado. E os maiores objetivos desse processo são o controle das partículas nocivas à saúde presentes no ar, da temperatura e umidade para conforto e a prevenção de incêndios e explosões. A Figura 1 representa este conceito.



Figura 1 - Esquemática simples do conceito de ventilação
Fonte: Clezar e Nogueira (2009)

Pode-se observar na Figura 1, a renovação do ar ambiente acontecendo através por meio das entradas e saídas de ar.

A ventilação industrial pode ser classificada de acordo com os seus objetivos, sendo esses manter o conforto e eficiência dos indivíduos, conhecida como ventilação geral de ambientes normais, ou visando focar na saúde e segurança dos indivíduos, usualmente chamada de ventilação geral diluidora (MACINTYRE, 1990).

2.2.1 Ventilação geral diluidora

Nesse tipo de ventilação ocorre a diluição dos contaminantes presentes no ambiente, diminuindo sua concentração por meio da substituição constante do ar interior pelo ar exterior (CLEZAR E NOGUEIRA, 2009). A ventilação diluidora é usualmente aplicada em situações em que é impossível realizar a captação dos poluentes antes que eles se espalhem por todo o ambiente, isso acontece em locais que as pessoas são a principal fonte de poluição ou quando as fontes de calor não estão concentradas em uma região (COSTA, 2005). A Figura 2, representa a ventilação geral diluidora.

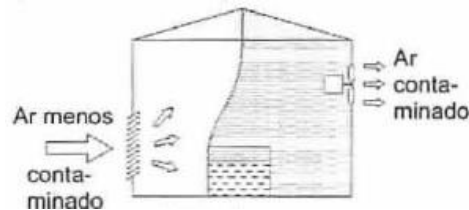


Figura 2 - Ventilação geral diluidora
Fonte: Clezar e Nogueira (2009)

Observa-se na Figura 2 um exaustor proporcionando a saída de ar contaminado do ambiente, gerando queda da pressão interna, assim permitindo a entrada de ar limpo do ambiente exterior.

A Figura 3 mostra as maneiras como a ventilação geral diluidora pode ser aplicada.

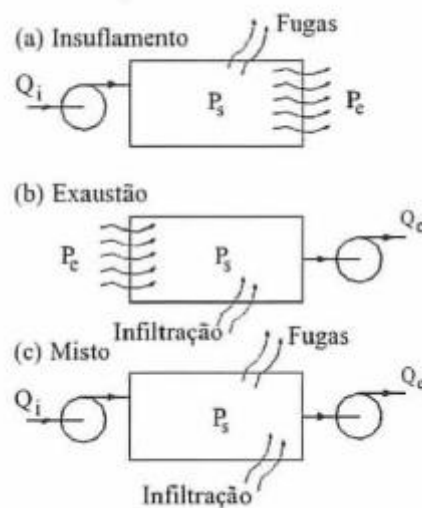


Figura 3 - Tipos de ventilação geral diluidora
Fonte: Clezar e Nogueira (2009)

A ventilação geral diluidora, é empregada de acordo com as necessidades do ambiente e pode ser aplicada de três maneiras. A primeira é mais indicada para ambientes limpos, como no caso de auditórios e lojas, e faz o uso do insuflamento, já que se torna fácil filtrar o ar exterior e distribuí-lo de maneira uniforme por todo o local (COSTA, 2005). De acordo com Clezar e Nogueira (2009), nesse caso um ventilador está constantemente soprando ar para o interior do ambiente, aumentando a pressão interna do ar e consequentemente deixando o recinto pressurizado. Dessa maneira, a diferença de pressão entre o interior e o exterior atua eliminando o ar contaminado.

Ademais, em ambientes em que a contaminação do ar é mais elevada, como em casas de máquinas, outro método deve ser utilizado, a exaustão geral (COSTA, 2005). Segundo Clezar e Nogueira (2009), esse processo é o inverso do insuflamento, aqui o objetivo do

ventilador é retirar o ar contaminado do ambiente, por meio do diferencial de pressão. A pressão do ar interior torna-se menor que a exterior, permitindo a entrada do ar novo.

Para Costa (2005), o último caso é uma combinação dos anteriores, sua aplicação se dá quando é necessário remover o poluente e paralelamente manter o ambiente suprido com ar filtrado e estanque ao ar exterior.

2.2.2 Ventilação local exaustora

O principal mérito dos sistemas de ventilação local exaustora é sua capacidade de extrair o contaminante praticamente no instante em que ele é produzido, evitando que ele se expanda para o ambiente, como mostra a Figura 4. A fim de cumprir seu objetivo, o sistema atua com uma certa velocidade de captura, adequada para cada situação, gerada por meio dos captores. Ademais, a ventilação local exaustora tem como característica a capacidade de transportar detritos como poeiras, fumos e vapores pelo ar (COSTA, 2005). Todos esses atributos fazem com que esse tipo de ventilação seja uma alternativa mais eficiente, entretanto, Clezar e Nogueira (2009) situam alguns casos em que ela não pode ser aplicada, como situações em que a quantidade de fontes poluentes é muito grande ou quando não é possível realizar a aproximação do captor à fonte do contaminante.



Figura 4 - Sistema de ventilação local exaustora.
Fonte: Macintyre (1990)

A Figura 4 mostra a ventilação local exaustora aplicada, é observado a presença de um captor, localizado próximo à fonte poluidora, retirando os contaminantes do ar. A tubulação e o ventilador também são demonstrados na imagem.

De acordo com Assunção (1989), as instalações locais exaustoras possuem alguns componentes básicos, como mostra a Figura 5.

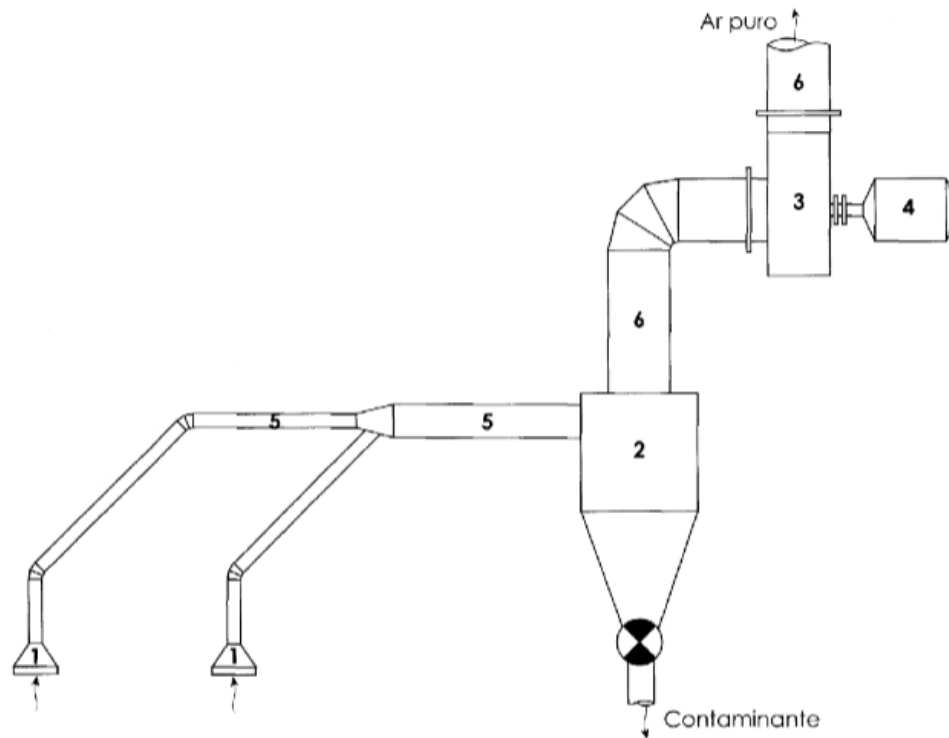


Figura 5 - Componentes de um sistema de ventilação local exaustora:
 1, captores; 2, filtro; 3, ventilador; 4, motor de acionamento; 5 e 6; dutos.
 Fonte: Costa (2005)

De acordo com a Figura 5, pode-se definir:

- Captores: pontos por onde os contaminantes e o gás carregador entram;
- Dutos: local por onde o poluente é transportado;
- Filtro: sua função é retirar os contaminantes do ar, para devolvê-lo limpo ao ambiente externo;
- Conjunto ventilador-motor: realiza trabalho para movimentar o fluido;
- Chaminé: lança os gases mais a emissão residual de volta à atmosfera.

2.3 Sistemas de ventilação para cozinhas profissionais

As cozinhas profissionais apresentam equipamentos que são fontes de emissão de calor, vapores com ou sem gordura e materiais particulados. E de acordo com a ABNT (2020), essas emissões devem ser captadas local e continuamente, enquanto houver a geração das mesmas.

Ainda segundo a ABNT (2020), todas as cozinhas profissionais devem ter um sistema de exaustão exclusivo, ou seja, totalmente independente de outros mecanismos de ventilação. Há ainda a possibilidade de os sistemas compartilharem da mesma central de tratamento do ar

terminal, desde que seja comprovada a independência dos grupos antes de tal unidade de tratamento. Além disso, a norma ainda especifica os tipos de materiais recomendados para construção do sistema, com a finalidade de assegurar o tempo requerido de resistência ao fogo de uma hora, sendo eles, metais, alvenaria, concreto ou fibrocimento.

2.3.1 Captores

De acordo com Macintyre (1990) os captores como dispositivos que estabelecem uma corrente para seu interior, pela diferença de pressões. Já para Oliveira (2013) são pontos de captura que podem apresentar variadas formas, cujo dimensionamento específico para cada situação traz grande retorno, conseguindo enclausurar parte da fonte de contaminantes e captando os poluentes para o sistema de exaustão,

A Figura 6 mostra as três categorias de captores e como funcionam.

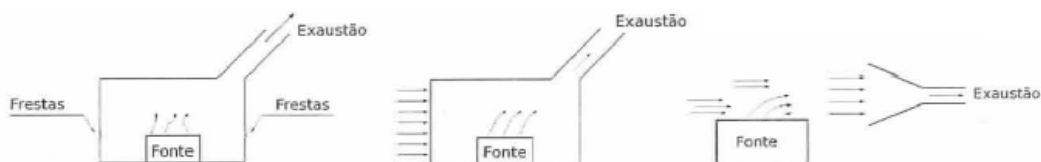


Figura 6 - Da esquerda para direita: captor enclausurante, captor do tipo cabine e captor externo.
Fonte: Clezar e Nogueira (2009)

Clezar e Nogueira (2009), classificam os captores em três grupos. Enclausurantes, quando a fonte de poluentes é completamente coberta pelo captor, apresentando pequenas frestas de abertura para a entrada de ar. Cabine, com modelo similar ao citado anteriormente, porém com uma das faces abertas, permitindo acesso ao processo. E por fim, os captores externos, que não envolvem a fonte.

2.3.1.1 Coifas

Os captores do tipo coifa têm o intuito de deter os gases quentes ou vapores produzidos por fogões, tanques, fornos, entre outros (COSTA, 2005). Assim, o seu formato tem grande influência no escoamento dos fluidos e pode afetar diretamente a velocidade de captura e a perda de carga (ABNT, 2020). Para Costa (2005), as coifas podem apresentar a forma cônica ou piramidal e são instaladas logo acima do equipamento gerador de contaminantes, a uma distância suficiente para que os operadores consigam exercer suas atividades com conforto. Já a ABNT (2020), recomenda a priorização do formato piramidal sempre que possível, por apresentarem maior uniformidade na velocidade de captura e menor perda de carga.

Costa (2005) ainda classifica as coifas em simples ou duplas, de acordo com a quantidade de entradas de ar. As coifas duplas apresentam um anteparo interno, como mostra a Figura 7, que segue o formato exterior do captor, podendo ser cônico ou piramidal com a intenção de aumentar as velocidades de captura nas zonas periféricas.

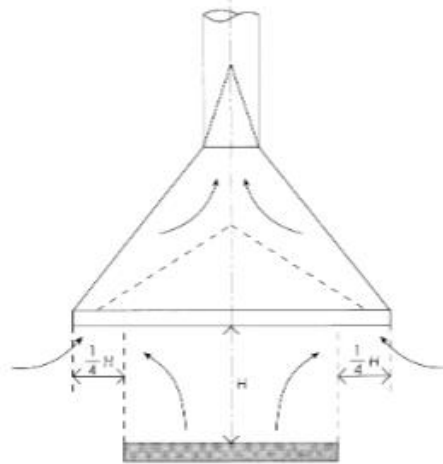


Figura 7 - Coifa dupla
Fonte: Costa (2005).

Na Figura 7 pode-se observar uma coifa piramidal com um anteparo interno, suas entradas de ar e o fluxo interno que o mesmo segue até ser direcionado aos dutos.

As coifas ainda podem ser classificadas de acordo com sua construção, sendo cada uma indicada para diferentes casos. Desse modo, a ABNT (2020) classifica as coifas como:

- Coifa de ilha simples ou dupla: esse tipo de coifa é instalado logo acima dos equipamentos de cocção, e apresenta os quatro lados totalmente abertos para admissão de ar, como mostra a Figura 8. São largamente aplicadas quando os equipamentos são posicionados em fileiras simples ou duplas;

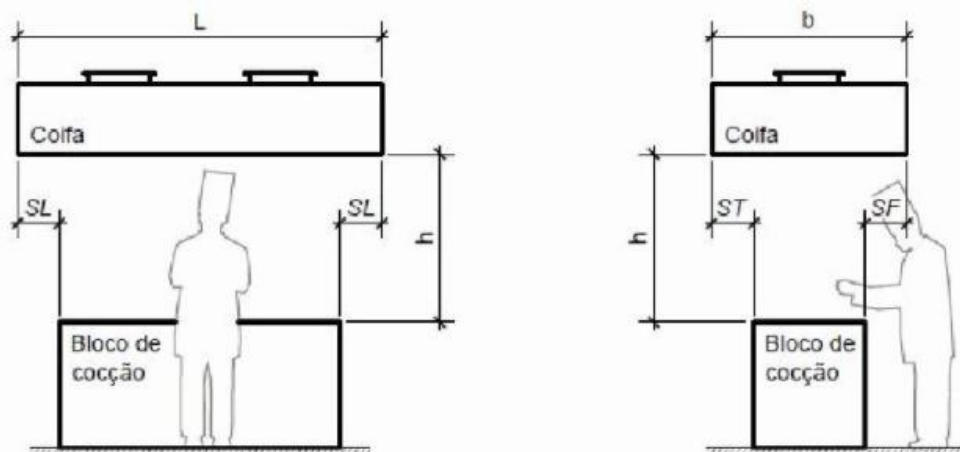


Figura 8- Coifa de ilha simples.
Fonte: ABNT (2020)

- Coifa de parede com lados fechados: se assemelham às coifas de ilha, entretanto possuem um, dois ou três lados totalmente fechados. Sua aplicação é comum quando os equipamentos de cocção estão posicionados contra a parede, assim como é mostrado na Figura 9.

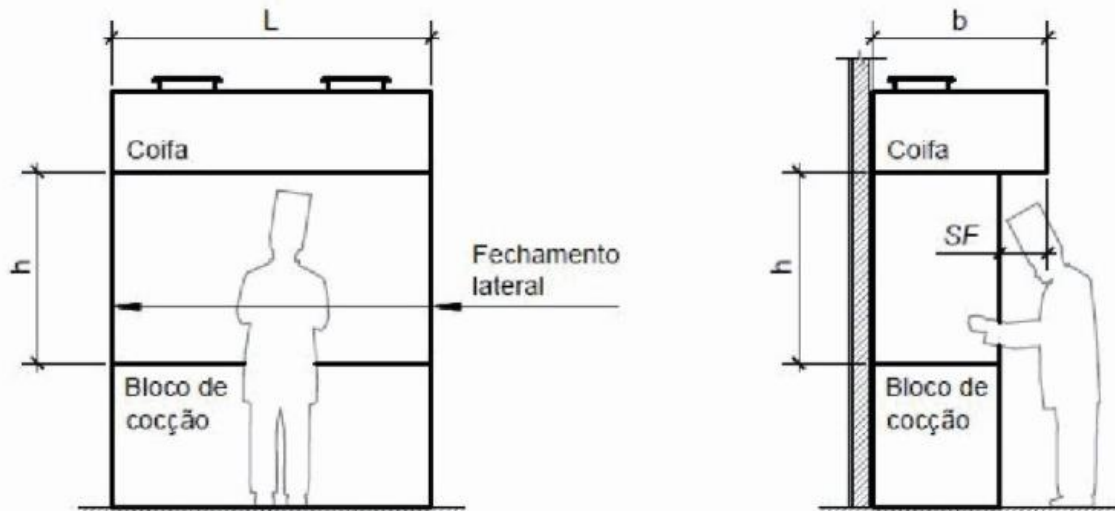


Figura 9 - Coifa de parede com duas laterais fechadas.
Fonte: ABNT (2020)

- Coifa de prateleira com aspiração frontal: esse tipo de coifa também é posicionado contra a parede, assim, apresentando um lado completamente fechado, podendo ser observado na Figura 10. Suas laterais podem ser totais ou parcialmente fechadas. Além disso, esse tipo de equipamento apresenta a vantagem de possuir a base de captação instalada mais próxima aos equipamentos de cocção, com fluxo de ar frontal.

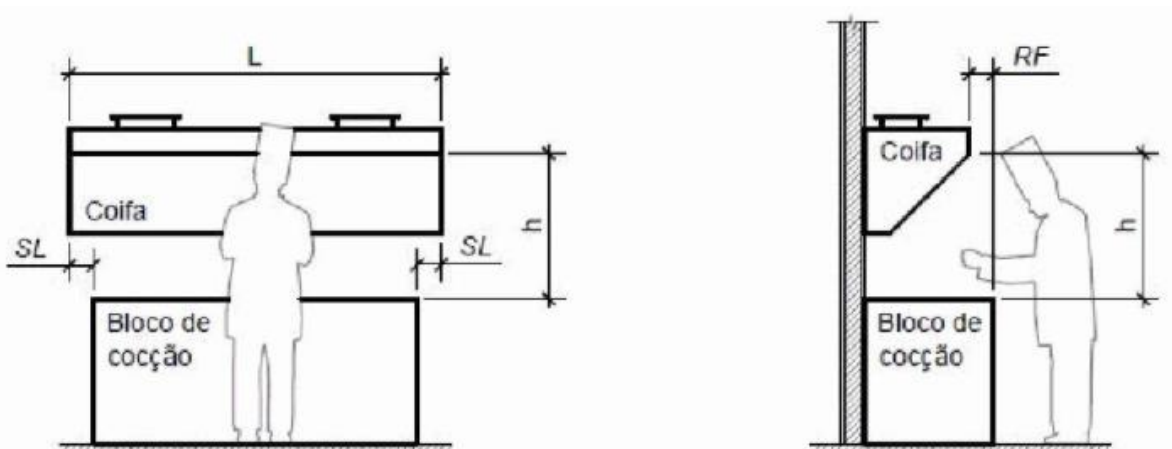


Figura 10 - Coifa com aspiração frontal.
Fonte: ABNT (2020)

- Coifa para máquina de lavar louças: nesse tipo específico de coifa, não são necessários equipamentos como, filtros de gordura e sistema de supressão de

incêndio. Ademais, a base de captação é instalada sobre ou ao lado das entradas e saídas da máquina de lavar louças, como observado na Figura 11.

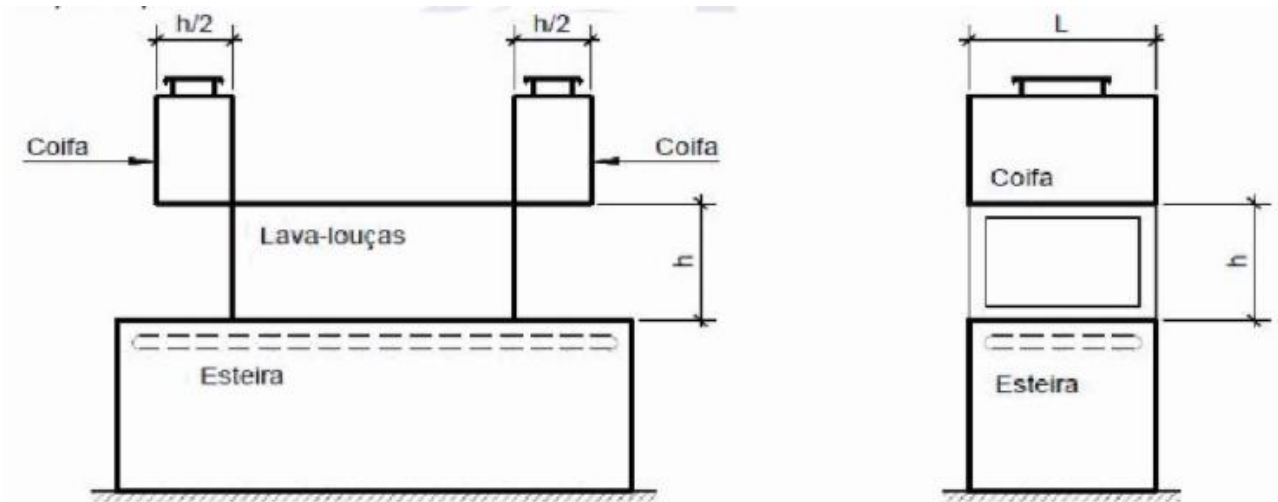


Figura 11 - Coifa de máquina de lavar louças sobreposta.
Fonte: ABNT (2020)

- Coifa para forno: pode ser instalada somente sobre a face do equipamento que tem portas de acesso, com a área de captação ultrapassando as dimensões do equipamento, ou ocupar toda a área do equipamento, como mostra a Figura 12.

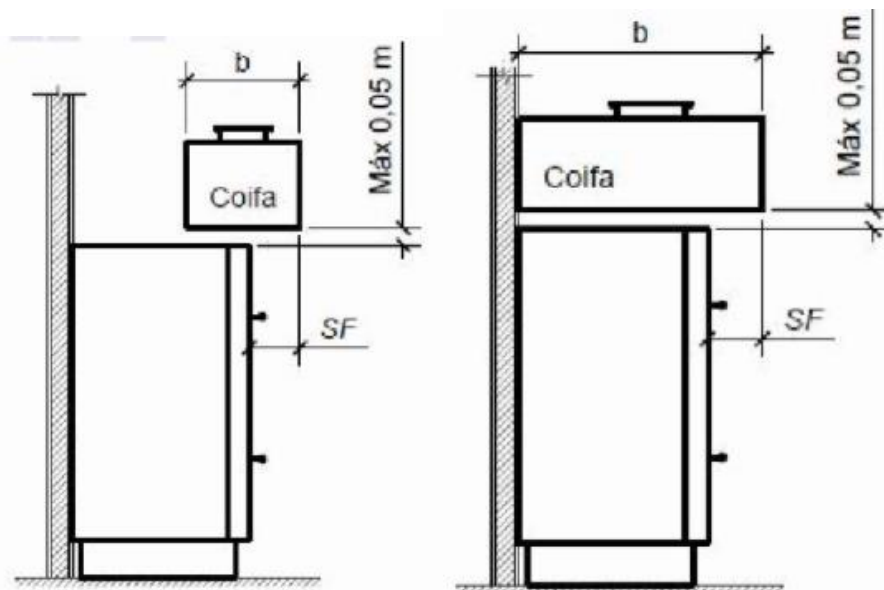


Figura 12 – à esquerda, coifa parcial para fornos elétricos. À direita, coifa total para fornos elétricos.
Fonte: ABNT (2020)

- Coifas para churrasqueiras: esse tipo de coifa depende da fonte de energia da churrasqueira podendo ser combustível sólido. Nessa situação os três lados da coifa devem ser fechados e somente a parte frontal aberta, como mostra a Figura 13. No caso de churrasqueira a gás ou energia elétrica, a coifa deve ser instalada

sobre o equipamento, ocupando todo o perímetro e extrapolando nas faces abertas.

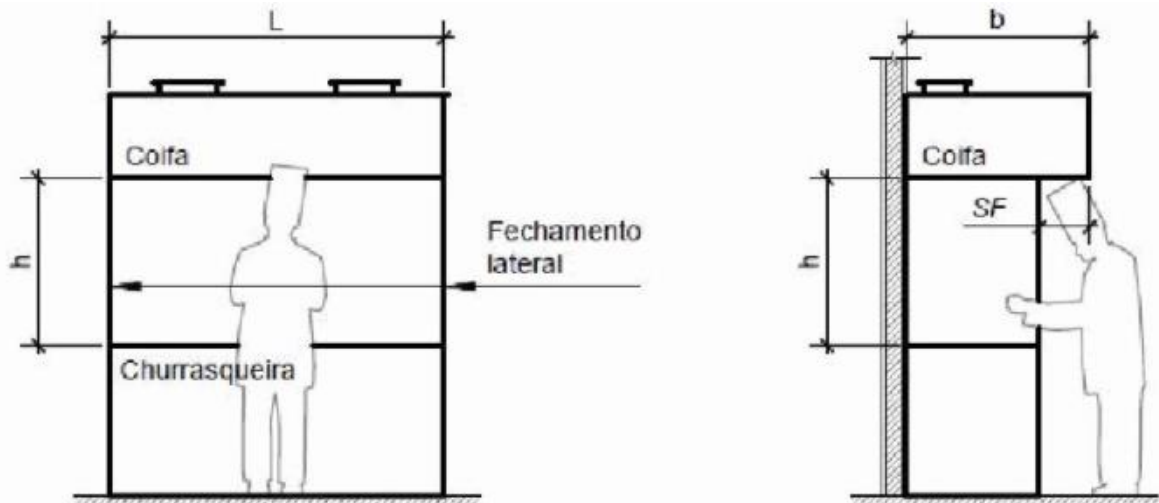


Figura 13 - Coifa para churrasqueira a combustível sólido.
Fonte: ABNT (2020)

A vazão de ar que a coifa conseguirá exaurir deve ser precisamente calculada, já que ela deve ser suficiente para garantir que todos os contaminantes gerados sejam captados e ao mesmo tempo não interferir no processo que está sendo executado (CHAVES, 2012).

Além disso, de acordo com Baptista (2011) existe um fator que pode interferir diretamente no desempenho final das coifas, as correntes de ar cruzadas. Esse efeito normalmente ocorre quando existem porta e janelas abertas, se o sistema estiver apresentando alguma anomalia ou se o sistema não está bem dimensionado para o local. A utilização de painéis laterais é uma solução relativamente barata para esse problema, podendo ser aplicada na maioria dos casos.

2.3.2 Cálculo da vazão

A ABNT (2020) sugere dois métodos para o cálculo da vazão a ser aspirada pela coifa, neste trabalho será discutido apenas um, sendo ele o cálculo da vazão a partir da velocidade de captura na área de face ou perímetro da coifa. Nesse método, são estabelecidos dois procedimentos para o cálculo da vazão, um levando em conta a velocidade na área de face transversal do fluxo (v_1) e o outro a velocidade na área definida pelo perímetro da coisa e sua altura em relação aos equipamentos de cocção (v_2). Nesse contexto, o maior valor deverá ser adotado.

Ademais, vale ressaltar que para cada tipo de coifa há alteração nos cálculos, assim fica definido que as demonstrações a seguir são para coifas de parede, podendo conter uma, duas ou nenhuma lateral fechada.

Antes da demonstração das fórmulas algumas variáveis devem ser definidas para melhor entendimento.

q_v = vazão de ar, m^3/s ;

A = área, m^2 ;

v = velocidade de face, m/s ;

L = comprimento, m ;

b = largura, m ;

h = altura, m ;

P = perímetro aberto, m .

Para o cálculo da vazão temos:

$$q_{v1} = v_1 * A_1 \quad (1)$$

&

$$q_{v2} = v_2 * A_2 \quad (2)$$

Onde:

$$A_1 = L * b;$$

$$A_2 = P * h;$$

$$P = 2b + L, \text{ para um lado longitudinal fechado};$$

$$P = b + L, \text{ para um lado longitudinal e um lateral fechado};$$

$$P = L, \text{ para três lados fechados};$$

$$v_1 = 0,40, \text{ m/s};$$

$$v_2 = 0,25, \text{ m/s}.$$

2.3.3 Ventiladores

Os ventiladores são turbomáquinas que se destinam a produzir o deslocamento dos gases. Assim, essa movimentação acontece devido ao fato da energia mecânica, fornecida pelo motor elétrico, ser transferida para os gases em forma de energia cinética e energia potencial de pressão (ANDRADE, 2021).

Macintyre (1990) classifica os ventiladores de acordo com uma série de características, que podem ser explicitadas como:

- I. Nível energético de pressão:
 - a. Baixa pressão: pressão efetiva até $0,02 \text{ kgf cm}^{-2}$;
 - b. Média pressão: pressões de $0,021$ a $0,08 \text{ kgf cm}^{-2}$;
 - c. Alta pressão: pressões de $0,08$ a $0,25 \text{ kgf cm}^{-2}$;
 - d. Muito alta pressão: pressões de $0,25$ a 1 kgf cm^{-2} .
- II. Modalidade construtiva:
 - a. Centrífugos;
 - b. Hélico-centrífugos;
 - c. Axiais.
- III. Forma das pás:
 - a. Radiais retas;
 - b. Inclínadas para trás;
 - c. Inclínadas para frente;
 - d. Curvas de saída radial.
- IV. Quantidade de entradas de aspiração no rotor:
 - a. Simples aspiração;
 - b. Dupla aspiração.
- V. Número de rotores:
 - a. Simples estágio, apenas um rotor;
 - b. Duplo estágio, dois rotores compartilhando o mesmo eixo.

Segundo a ABNT (2020), os ventiladores de sistemas de exaustão para cozinhas profissionais podem operar de duas maneiras, com ou sem registro corta-fogo no duto de exaustão. Assim, a diferença entre ambos se dá pelo comportamento do ventilador em caso de incêndio, ficando desligado, caso exista o registro e ligado caso contrário. Na última opção o ventilador cumpre o papel de exaurir a fumaça, proveniente do incêndio, no duto.

2.3.3.1 Ventiladores centrífugos

Um ventilador centrífugo é um equipamento de construção simplificada, com poucos componentes, sendo esses, rotor, carcaça de conversão de pressão e motor. Seu funcionamento é descrito da seguinte maneira, o ar entra pelo centro do rotor em movimento, sofre influência das palhetas, ganhando aceleração e é impulsionado da periferia do rotor para a descarga (OLIVEIRA, 2013).

Conforme Chaves (2012), os ventiladores centrífugos podem apresentar diferenças quanto a construção devido ao formato das pás do rotor, apresentando três diferentes classificações: pás radiais, pás para frente e pás para trás.

Os ventiladores de pás radiais, Figura 14, devido a sua construção robusta, têm capacidade para transportar grandes concentrações de poeira seca, pegajosa e corrosiva. Entretanto, são pouco eficientes (CHAVES, 2012).

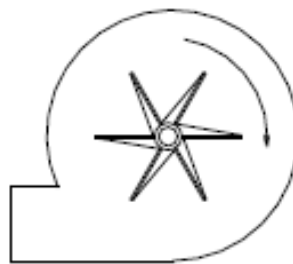


Figura 14 - Ventilador centrífugo com pás radiais.
Fonte: Chaves (2012)

Ademais, quando se opta por construir o ventilador com pás inclinadas para frente, Figura 15, é notável o ganho em eficiência, além de ter maior capacidade exaustora em baixas velocidades. Todavia, esse tipo de ventilador não é adequado quando o ar de exaustão contém material particulado, podendo apresentar problemas relacionados à corrosão (OLIVEIRA, 2013).

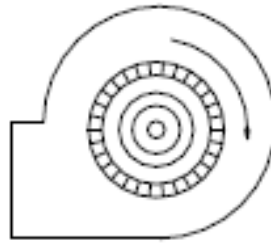


Figura 15 - Ventilador centrífugo com pás inclinadas para frente.
Fonte: Chaves (2012)

Por fim, em conformidade com Clezar e Nogueira (2009), o ventilador com pás inclinadas para trás (Figura 16) é o que apresenta as maiores velocidades de rotação, melhor eficiência e menor emissão de ruídos. Além de, conseguir auto limitar sua potência, ou seja, trabalha em potência máxima e não corre o risco de sofrer sobrecarga, desde que dimensionado de maneira correta.

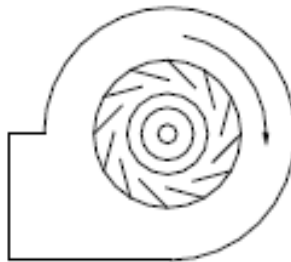


Figura 16 - Ventilador centrífugo com pás inclinadas para trás.
Fonte: Chaves (2012)

2.3.4 Equipamentos coletores de contaminantes

A cocção de alimentos resulta no desprendimento de vapor d'água, calor e poluentes, como os gases de combustão. Esses, podem se impregnar por todo o sistema de exaustão causando incrustações combustíveis, altamente inflamáveis (ABNT, 2020). Dessa maneira, vê-se necessária a implementação de equipamentos que possam separar esses poluentes do ar, para que sua liberação seja feita de maneira sustentável.

Conhecidos como equipamentos de controle de contaminantes, seu objetivo é reter os poluentes após a captura junto à fonte geradora, entretanto exercem outras importantes funções como, evitar risco de incêndio, recuperação de material particulado e reutilização do ar previamente purificado em outros locais (OLIVEIRA, 2013).

Ainda de acordo com Macintyre (1990), esses equipamentos podem ser classificados em três grupos:

- Filtros de ar;
- Coletores de poeiras;
- Lavadores de gases, torres de absorção, condensadores, depuradores, etc.

Macintyre (1990, p.270) explica a finalidade dos filtros de ar “[...] remoção de poeiras no grau de concentração em que possam encontrar-se no ar ambiente exterior ou interior e na recirculação de ar no recinto”. Já os coletores de poeiras, tem o objetivo de coletar grandes quantidades de poeira, volumes esses, que podem ter teor de concentração de cem a vinte mil vezes maiores que a capacidade de absorção dos filtros de ar (MACINTYRE, 1990). Por fim, o último grupo tem por função retirar gases e vapores do ar.

Para Clezar e Nogueira (2009), o processo de purificação do ar pode contar com ações físicas, químicas ou pela combinação de ambas. Tais ações são: filtragem, inércia, gravidade, lavagem e eletrostática.

Devido à essa grande variedade de purificadores de ar que é encontrada alguns critérios devem ser levados em consideração na hora de escolher o melhor a se adequar no sistema a ser dimensionado. Dessa forma, fatores como tamanho e concentração das partículas do contaminante, que cobrem uma extensa faixa, o grau de purificação necessária, que pode ser definido seguindo critérios de normas técnicas dependendo do agente poluente e seu risco de dano à saúde, e as características do ar transportador, que exerce um grande papel para a seleção do purificador, já que pode ocorrer vapor d’água, e condensação do mesmo, dificultando o uso de alguns tipos de coletores (Macintyre, 1990).

2.3.4.1 Filtros e extratores de gordura

O primeiro estágio de filtragem das coifas convencionais deve ser constituído por filtros inerciais, metálicos, removíveis e laváveis (ABNT, 2020), como mostrado na Figura 17. Esse tipo de filtro se caracteriza pela brusca variação do movimento do gás de exaustão, proporcionando a separação das partículas de gordura presente na névoa gerada durante a cocção (TCA INDÚSTRIA, 2020).

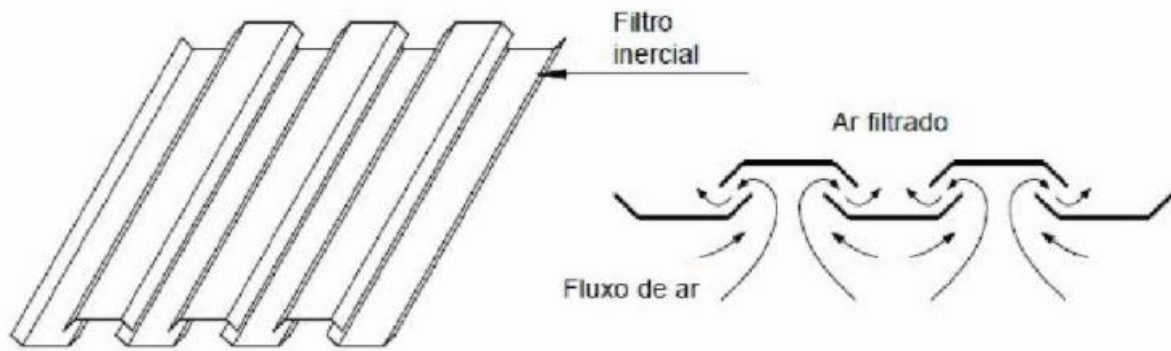


Figura 17 - Filtro inercial de gordura.
Fonte: ABNT (2020)

Nesse contexto, a ABNT (2020) acrescenta que a utilização dos filtros inerciais é considerável, todavia não é suficiente para a remoção total dos poluentes. Os filtros inerciais permitem somente a remoção das gorduras mais facilmente condensáveis, sendo necessário a aplicação de outros mecanismos, como os equipamentos extratores de gordura, para retirada dos outros contaminantes.

Clezar e Nogueira (2009) citam em seu livro, a complexidade no processo de seleção de um equipamento coletor de poluentes e citam alguns conhecimentos acerca do processo que está sendo realizado, que são necessários para facilitar o trabalho. Dentre eles pode-se destacar a identificação do grau de purificação do ar necessária, da viscosidade e das propriedades químicas do contaminante, temperatura, pressão e umidade do ar de transporte, facilidade na limpeza e por fim, a quantidade de capital financeiro disponível.

Existem alguns tipos de extratores de gordura permitidos por norma, cada um apresenta soluções diferentes para o tratamento do resíduo. De acordo com Capulli (1996), essa gama de extratores pode ser agrupada de acordo com seu princípio de funcionamento, alguns utilizam agentes de sequestro dos poluentes, mas também podem usar propriedades elétricas ou combustão para remoção dos poluentes.

2.3.4.2 Coifas lavadoras

Segundo Capulli (1996), esse equipamento assume a função de lavar os gases logo após sua captura, por meio de um circuito hidráulico interno com bicos pulverizadores. Assim, a coifa lavadora dispensa o uso de filtros inerciais como primeiro estágio de captação de gordura.

O processo de filtragem é realizado por meio da lavagem dos gases, através do contato físico entre a solução e o ar contaminado, como mostra a Figura 18, que por sua vez captura as partículas mecanicamente, condensa os vapores, neutraliza os gases e controla os odores (ABNT, 2020).

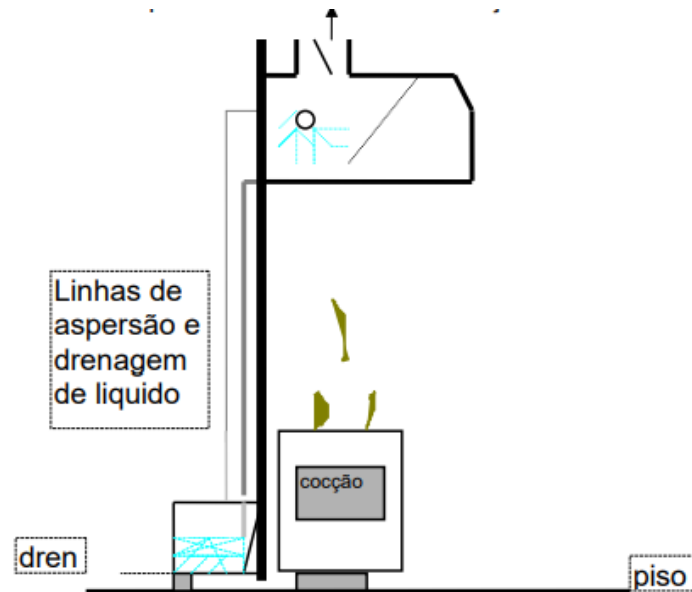


Figura 18 - Coifa lavadora.
Fonte: Capulli (1996)

A coifa lavadora possui um sistema hidráulico embutido, com bicos pulverizadores que proporcionam a lavagem do sistema. Segundo a ASHRAE (2011) esse equipamento consegue trabalhar de duas formas, de acordo com a necessidade do ambiente. No primeiro modo, a coifa opera com a solução de água quente e detergente, que são utilizados para efetuar a limpeza dos filtros extratores de gordura, normalmente ao fim do dia depois que o sistema foi desligado. Todavia, o equipamento pode operar com a solução fria e com funcionamento constante, por todo o período em que a exaustão estiver ligada. Nesse modo, a extração de gordura é mais eficiente já que, pela condensação, parte do poluente é retirado do ar extraído.

Capulli (1996) descreve como a maior vantagem desse tipo de sistema, sua capacidade de manter os dutos livres de gordura, reduzindo drasticamente a manutenção requerida. Além de, facilitar a limpeza interna e dispensar o uso de filtros inerciais.

2.3.4.3 Lavadores de gases

Os lavadores de gases podem ser divididos em grupos sendo:

Lavadores convencionais: nesse tipo de lavador o ar com contaminantes recebe água pulverizada, que é bombeada diretamente de um tanque localizado no próprio lavador. Desse modo, as partículas entram em contato com a água e caem, formando uma camada na parte inferior do coletor, que deve ser limpa periodicamente (MACINTYRE, 1990).

Um coletor desse tipo é mostrado na figura 19.

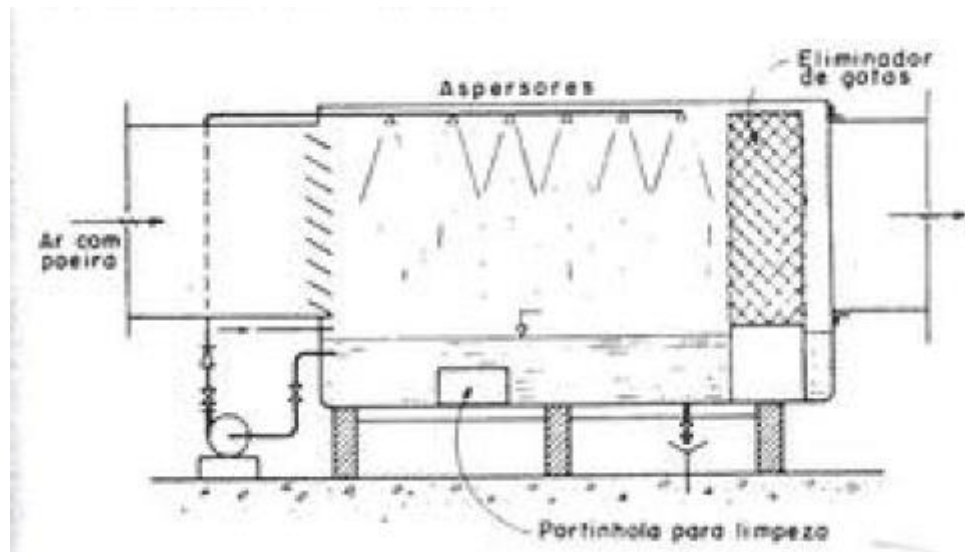


Figura 19 - Lavador de gases
Fonte: Macintyre (1990).

A figura 19 mostra um lavador de gases convencional e seu funcionamento. Os sprays de água lavam as partículas de poluentes retendo-as no equipamento e logo após são direcionadas para o dreno localizado no fundo do mesmo.

Já o lavador do tipo torre com enchimento é mostrado na figura 20.

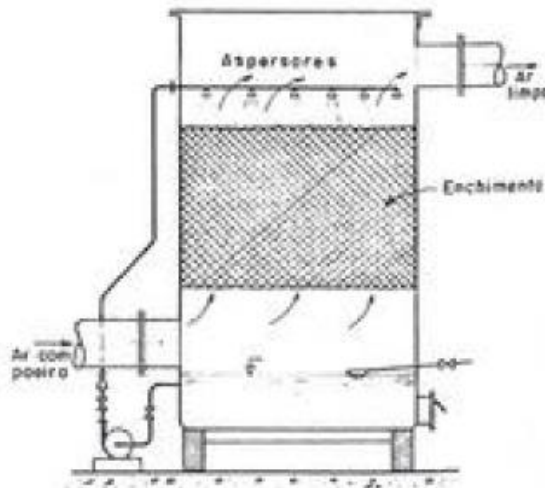


Figura 20 - Lavador com torre de enchimento.
Fonte: Macintyre (1990).

A figura 20 mostra o lavador com torre de enchimento, que funciona com o ar e os poluentes passando por uma camada de enchimento de baixo para cima, que é fabricada na maioria das vezes com polipropileno, fibra de vidro ou aço inoxidável. Esse enchimento recebe borrifos de água de *sprays* localizados acima do mesmo.

Os filtros eletrostáticos são outro grupo muito eficiente para a remoção de partículas. O processo de precipitação eletrostática ocorre de maneira que as partículas de poluente contidas

no ar são carregadas eletricamente, e com a influência de um corpo elétrico ela pode ser separada da corrente gasosa. A figura 21 mostra esse tipo de coletor.

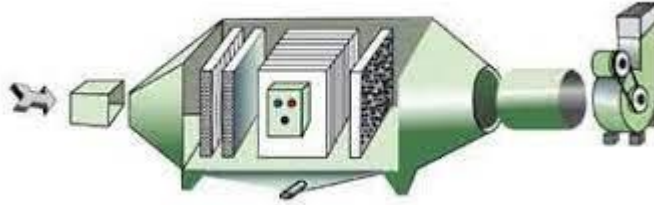


Figura 21 - Filtro eletrostático.
Fonte: Nanoar (2021).

É observado na figura 21 os componentes de um filtro eletrostático, como as placas coletoras, que são um sistema carregado positivamente e ligada a terra que são colocadas em proximidade a um eletrodo emissor, carregado negativamente. Assim, devido a alta tensão os elétrons da corrente positiva saem de maneira a “atacar” as moléculas de ar em sua proximidade, dessa maneira a câmara do filtro fica cheia de íons gasosos negativos formando uma corrente entre as placas. Por fim, os poluentes passam pelo filtro e se chocam com os íons negativos, ficando carregadas negativamente e se direcionando às placas carregadas com carga negativa, onde se prendem e ficam retidas (MACINTYRE, 1990).

2.4 Dutos

De acordo com Macintyre (1990), os dutos de um sistema de exaustão são tubulações dispostas com o objetivo de conduzir o ar e os poluentes em ocasiões com pressão pouco elevada, podendo desprezar a compressibilidade do fluido. Seu dimensionamento é baseado na equação da continuidade e no princípio de conservação de energia para os fluidos em escoamento, que são tratados pela equação de Bernoulli.

A equação (3) para definição do diâmetro dos dutos é a seguinte:

$$D = \sqrt{\frac{4*Q}{\pi*V}} \quad (3)$$

Onde:

Q = vazão de ar a ser transportada, m³/s;

V = velocidade média recomendada para o tipo de contaminante, m/s;

D = diâmetro interno do duto, m.

As velocidades recomendadas para cada tipo de contaminante são mostradas na Tabela 1.

Tabela 1 - Velocidades recomendadas para o dimensionamento de dutos.

Contaminante	Velocidades recomendadas (m/s)
Gases e vapores	5 a 6
Fumos	7 a 10
Poeira fina	10 a 13
Poeira média	18 a 20
Poeira grossa	20 a 23
Partículas grandes, Materiais úmidos	> 23

Fonte: Clezar e Nogueira (2009)

A Tabela 1 demonstra as variações de velocidades que devem ser usadas para o dimensionamento dos dutos de exaustão, variando de acordo com os poluentes presentes no ambiente, caso estejam presentes mais de um tipo de poluente é indicado utilizar o maior valor para a velocidade. Vale ressaltar que na ventilação industrial há grandes vazões a serem retiradas do local e por conta disso são utilizadas altas velocidades, caso contrário, os dutos seriam dimensionados com diâmetros desnecessariamente grandes.

A ABNT (2020) sugere que a velocidade de exaustão em dutos para cozinhas profissionais deve estar entre 2,54 e 12,5 m/s. Valores esses que devem atender aos parâmetros de níveis de ruído, vibrações e perda de carga definidos em projeto. Além disso, todas as conexões entre dutos e equipamentos, assim como as conexões entre os próprios dutos devem ser feitas por meio de flanges soldados, utilizando junta de vedação estanque e com material não combustível. Ademais, ainda é recomendado manter certa declividade no sentido da coifa, para facilitar a limpeza.

Alguns outros aspectos devem ser levados em consideração para o dimensionamento da rede de dutos, um deles é a presença de portas de inspeção. Em seu livro Clezar e Nogueira (2009) explicam que em escoamentos com presença de contaminantes particulados, como no caso de uma cozinha profissional, existe a tendência de acúmulo de tais partículas nos pontos de obstrução ou de mudança de direção, podendo gerar entupimentos e aumento da perda de carga. Nesse contexto, as portas de inspeção devem ser localizadas em pontos estratégicos, pensados para facilitar a limpeza e manutenção dos dutos.

A Figura 22 mostra os diferentes tipos de construção possíveis para as portas de inspeção.

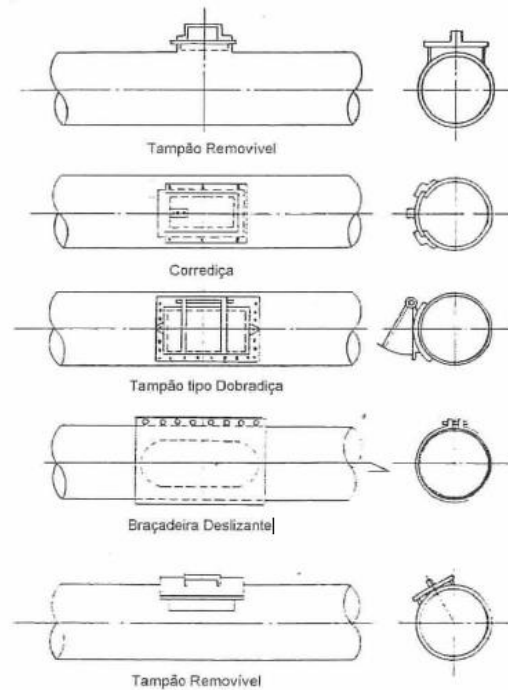


Figura 22 - Portas de inspeção.
Fonte: Clezar e Nogueira (2009)

Observa-se na Figura 22 as diferentes geometrias possíveis para a construção das portas de inspeção, ficando a critério do projetista qual a melhor escolha para cada situação a ser contornada.

2.4.1 Perda de carga

O escoamento interno nos dutos sofre grande influência das paredes, que dissipam energia por conta do atrito. Desse modo, as partículas nas zonas periféricas em contato com as paredes adquirem a mesma velocidade das paredes, ou seja, zero. E passam a influir nas partículas vizinhas por meio da viscosidade e da turbulência, causando a dissipação da energia (ZANINI, 2016).

2.4.1.1 Perda de carga distribuída

De acordo com Macintyre (1990) a perda de carga distribuída, que ocorre em todo o comprimento reto da tubulação, pode ser calculada seguindo dois métodos distintos, um deles é por meio da aplicação da fórmula universal de Darcy e Weisbach, o outro é definido por meio de diagramas baseados em dutos com materiais específicos trabalhando em condições pré-determinadas.

O método universal, baseado na equação de Darcy e Weisbach, determina algumas propriedades que devem ser conhecidas para sua aplicação como, rugosidade do material do duto, peso específico e viscosidade do ar. A equação que define tal método é:

$$\Delta P = \left(f * \frac{L}{D} * \frac{v^2}{2g} \right) * \gamma \quad (4)$$

Onde:

ΔP = Perda de carga, Pa;

L = comprimento da tubulação, m;

g = aceleração da gravidade, m/s²;

D = diâmetro interno da tubulação, m;

f = coeficiente de atrito;

γ = peso específico do ar, N/m³;

v = velocidade, m/s.

O coeficiente de atrito f, depende de outras duas grandezas, sendo elas:

1. Rugosidade relativa das paredes do duto:

$$\epsilon_{relativo} = \frac{\epsilon}{D} \quad (5)$$

Sendo ϵ a rugosidade absoluta e D o diâmetro interno do duto.

2. Número de Reynolds:

$$Re = \frac{v * D}{\vartheta} \quad (6)$$

Sendo ϑ a viscosidade cinemática do fluido, em m²/s.

Com a rugosidade relativa e o número de Reynolds, é possível calcular o fator de atrito através do Diagrama de Moody, Figura 23.

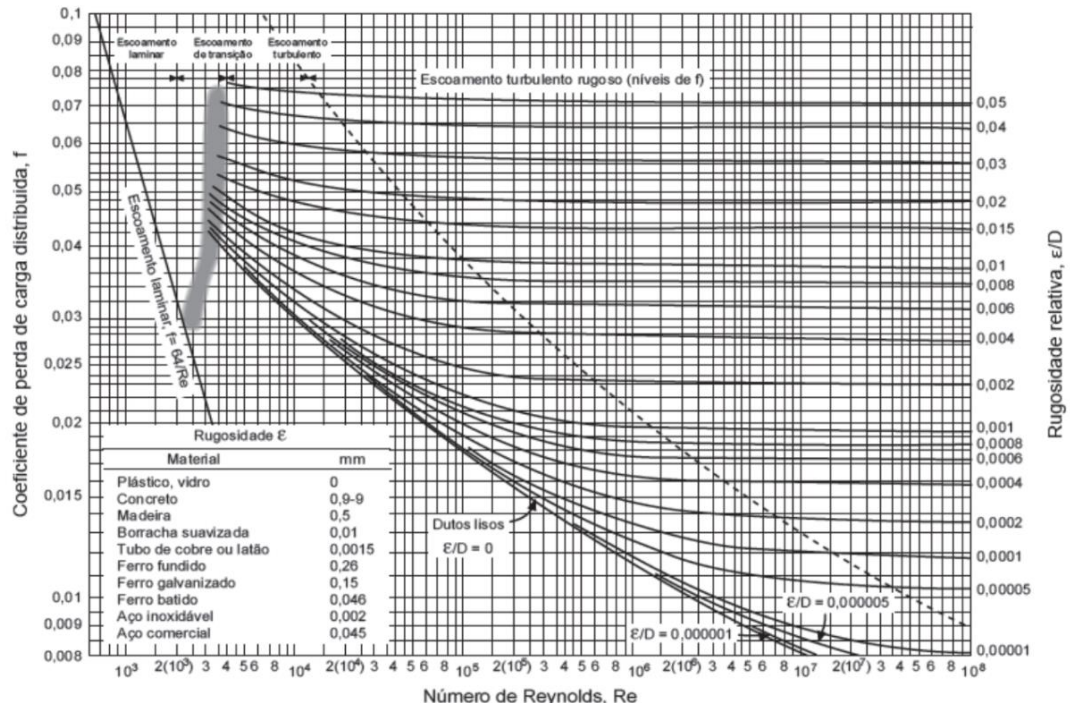


Figura 23 - Diagrama de Moody.
Fonte: Macintyre (1990).

A Figura 23 mostra o diagrama de Moody, utilizado para encontrar o coeficiente de atrito nas tubulações, é observado que na escala vertical à esquerda são localizados os valores do coeficiente de atrito, na escala vertical à direita os valores da rugosidade relativa, na escala horizontal inferior os valores do número de Reynolds. O cruzamento dos dados da rugosidade relativa e do número de Reynolds aponta o valor do coeficiente de atrito.

Nesse contexto, Macintyre (1990) ressalta que esse processo é realizado com os dados do ar sem contaminantes, e quando há partículas em suspensão junto ao ar, como gordura por exemplo, uma correção deve ser aplicada, já que a perda de carga aumenta. Assim, definimos a equação de correção como:

$$\Delta P_{ar \text{ com partículas}} = B * \Delta P_{ar \text{ puro}} \quad (7)$$

Onde B é o quociente entre a perda de carga da mistura e a perda de carga do ar puro, que pode ser definido através do gráfico, Figura 24.

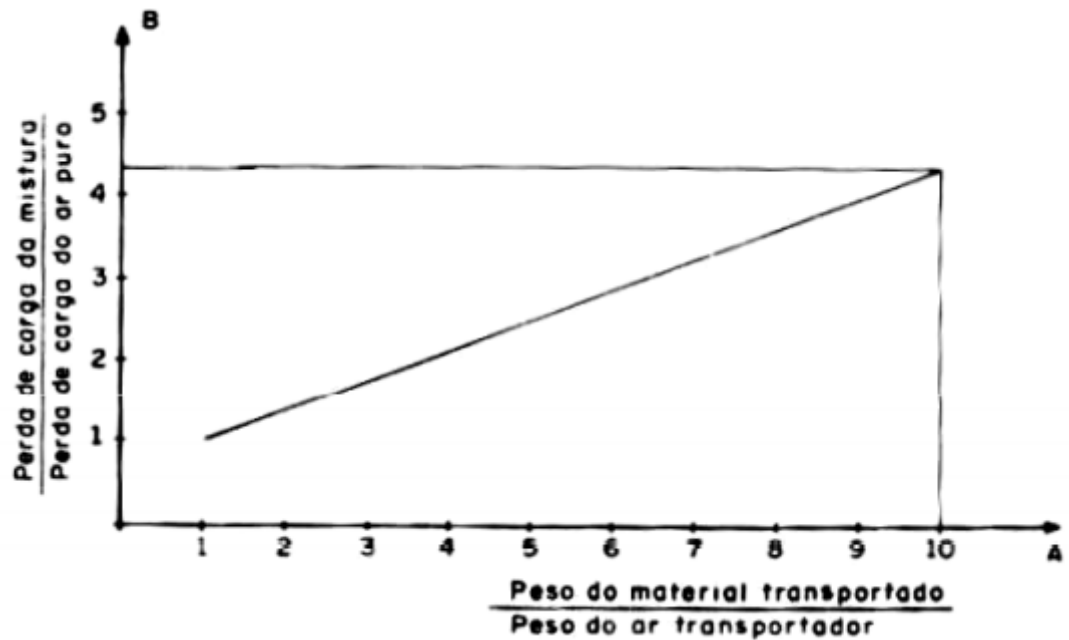


Figura 24 - Gráfico para correção da perda de carga.
Fonte: Macintyre (1990).

Observa-se que, na Figura 24 o parâmetro B é definido por meio de A, que por sua vez é o quociente entre o peso do material transportado e o peso do ar transportador. Através dessas relações é possível determinar a correção da perda de carga.

2.4.1.2 Perda de carga localizada

Ao longo dos dutos do sistema de exaustão pode-se encontrar alguns acessórios que contribuem para o aumento da perda de carga do sistema, por conta do atrito, turbulência e mudanças de velocidade. Essas peças são, bocas de captação, bocas de saída, grelhas de insuflamento, curvas e cotovelos, alargamentos, reduções e filtros (MACINTYRE, 1990).

Macintyre (1990) mostra que método mais usual para o cálculo de tais perdas é determinar individualmente a perda em cada peça. Assim, é necessário ter apenas a velocidade média do escoamento no acessório para calcular a altura representativa da velocidade, também conhecida como, pressão dinâmica.

$$h_v = \frac{v^2}{16,34} \quad (8)$$

Onde:

h_v = pressão dinâmica, mm.H₂O;

v = velocidade média do escoamento na peça, m/s.

Nessa conjuntura, a perda de carga localizada pode ser definida como:

$$\Delta P = K_L * h_v [mm. H_2O] \quad (9)$$

Onde:

K_L = coeficiente de perda de carga localizada.

O coeficiente de perda de carga localizada é tabelado e depende do tipo de acessório e da geometria do mesmo.

2.4.1.3 Balanceamento

Clezar e Nogueira (2009) definem o balanceamento do sistema de dutos como o momento em que o escoamento de ar em cada ramal é igual a vazão do projeto, e ainda demonstram dois métodos para chegar ao balanceamento sendo eles:

1. Balanceamento com registros:

Nesse procedimento os dutos são dimensionados por uma velocidade arbitrária encontrada na literatura, de acordo com o tipo do poluente. Assim, são instalados registros após a construção do sistema que são ajustados para obter a regulação necessária para suprir a vazão de projeto.

2. Balanceamento estático:

Aqui, as vazões são determinadas para cada ramal, de acordo com o ajuste da perda de carga. Desse modo, pode-se alterar o diâmetro do ramal, introduzir acessórios, aumentar ou diminuir a vazão, entre outras práticas, com o intuito de chegar ao equilíbrio.

2.5 Prevenção contra incêndios

As cozinhas profissionais são ambientes em que incêndios estão mais propensos a acontecer, devido as partículas de gordura e condensados de óleos inflamáveis que são levados pelo sistema de dutos, em associação com o potencial de ignição do maquinário de cocção. Assim, é importante adotar medidas que protejam o local contra incêndio (ABNT, 2020).

A ABNT (2020, p.39) define medidas de prevenção de incêndio como:

[...] aquelas destinadas a minimizar os riscos de ocorrência de incêndios no sistema de exaustão e nos equipamentos de cocção, e compreendem: arranjos e construções físicas normalizadas, equipamentos estáticos e dinâmicos de extração de gordura, equipamentos de cocção normalizados, conscientização e treinamento dos operadores, manutenção preventiva e corretiva.

Ademais, medidas de proteção contra incêndio também devem ser adotadas para a cozinha. Nesse contexto, as medidas de proteção são tidas como aquelas que visam diminuir os danos originados pelo incêndio, não deixando que o mesmo se propague e visando sua extinção e podem ser divididas em medidas ativas e passivas (ABNT, 2020).

- Medidas de proteção ativa: são sistemas fixos que estão em funcionamento para serem acionadas apenas quando ocorrer um incêndio, como registros corta-fogo, extintores, hidrantes;
- Medidas de proteção passiva: são relacionadas à construção do ambiente e do sistema de exaustão como, seleção de materiais e procedimentos de fabricação e instalação.

É mostrada a tabela 2.

Tabela 2 - Requisitos básicos dos sistemas de exaustão

Requisitos	Equipamentos leves	Equipamentos moderados, severos e combustível sólido
Dutos em aço-carbono	Chavetado ou flangeado	Espessura mínima 1,37 mm, soldados ou flangeados,
Dutos em aço inoxidável	Não requer	Espessura mínima 1,09 mm, soldados ou flangeados,
Porta de inspeção	Requer	Requer
Isolamento térmico na rede de dutos	Não requer	Requer
Registro corta-fogo	Não requer	Conforme sistema fixo de combate a incêndio
Coifas	Sem filtros	Com filtros
Proteção passiva	Selagem de travessias	Requer
Sistema fixo de combate a incêndio	Não requer	Requer ¹
NOTA Para sistema de exaustão de equipamentos com combustível sólido, ver Seção 14.		
¹ Os fornos combinados, fornos (elétrico/gás), classificados como moderados não necessitam de sistema fixo de combate a incêndio.		

Fonte: ABNT (2020).

A tabela 2 indica os requisitos para a construção do sistema de exaustão, sendo divididas em dois níveis, com equipamentos leves que geram resíduos mais brandos e equipamentos moderados e severos que geram maiores resíduos para o sistema de exaustão. Desse modo, alguns dos aspectos são, como os dutos serão conectados e sua espessura mínima, isolamento térmico, necessidade de *dampers* corta-fogo e filtros inerciais.

A ABNT (2020) diz que os extractores de gordura não podem ser possíveis focos de incêndio, dessa maneira eles devem ser revisados periodicamente de forma a estabelecer planos de manutenção e limpeza. Além disso, a rede de dutos de exaustão não deve de maneira alguma em nenhum trecho cruzar com redes de botijões de gás combustível. A rede de dutos deve ainda, ser acessível e visível por toda a cozinha.

2.5.1 *Damper* corta-fogo

Os *dampers* são definidos pela ABNT NBR14518 (2020, p.7) como, “dispositivo de bloqueio que, em caso de incêndio, impede durante um determinado tempo a propagação de fogo, fumaça e líquidos por meio do duto”. Esse dispositivo é essencial para manter a segurança de todos no ambiente de trabalho em situações de risco.

O acionamento do *damper* ocorre devido à exposição ao calor excessivo, acima de uma temperatura predefinida. O dispositivo pode usar diferentes meios para provocar o fechamento, sendo alguns destes, fusível térmico, solenoides, motor elétrico e pistão pneumático. (INDÚSTRIAS TOSI, 2019). Um *damper* corta-fogo é mostrado na figura 25.



Figura 25 - *Damper* corta-fogo com acionamento por fusível térmico.
Fonte: Tork Ar-Condicionado (2021)

É observado na figura 25 um *damper* com acionamento por fusível térmico, o fechamento do dispositivo acontece quando o fusível térmico instalado dentro do *damper* rompe, devido a temperatura mais elevadas que o estabelecido no equipamento. Assim, o fogo é impedido de passar pela rede de dutos.

Esse capítulo tratou sobre os sistemas de ventilação local exaustora e seus componentes, bem como o cálculo da perda de carga nas tubulações. Adiante será tratado a metodologia da pesquisa.

3 METODOLOGIA

3.1 Tipos de pesquisa

A pesquisa pode ser classificada quanto a forma de abordagem, seus objetivos e aos procedimentos técnicos. Sendo assim será detalhado cada vertente da classificação a seguir.

Segundo Lakatos e Marconi (2003), a classificação da pesquisa quanto aos seus objetivos pode ser feita de acordo com três grupos, sendo eles: quantitativo-descritivo, exploratório e experimental.

Esse trabalho se trata de uma pesquisa exploratória, que pode ser definida, de acordo com Lakatos e Marconi (2003, p.188) como, “investigações [...] cujo objetivo é a formulação de questões ou de um problema, com tripla finalidade: desenvolver hipóteses, aumentar a familiaridade do pesquisador com um ambiente, [...] ou modificar e clarificar conceitos.” Além disso, Gil (2008) conceitua as pesquisas exploratórias como a primeira etapa para se obter uma investigação mais ampla sobre o assunto abordado.

De acordo com a forma de abordagem, a pesquisa pode ser dividida em quantitativa, quando os dados coletados, assim como em seu tratamento são utilizadas técnicas estatísticas. Por outro lado, o método qualitativo busca a análise dos dados de forma mais dinâmica, buscando relações entre o mundo real e o sujeito (ASSIS, 2021).

Por fim, de acordo com os procedimentos técnicos o presente trabalho pode ser classificado como pesquisa bibliográfica, documental e estudo de caso.

A pesquisa bibliográfica é definida como o estudo que provém de materiais já elaborados, como artigos científicos e livros. Gil (2008) ainda descreve a pesquisa documental, como sendo bem parecida com a bibliográfica, tendo como principal diferença apenas a natureza das fontes, sendo que na pesquisa documental os materiais utilizados ainda não receberam tratamento analítico.

Os estudos de caso, são pesquisas profundas e exaustivas cujo objetivo é detalhar ao máximo, um ou poucos objetos de estudo (GIL, 2008).

3.2 Materiais e métodos

O desenvolvimento do trabalho ocorreu de acordo com o fluxograma da Figura 26.

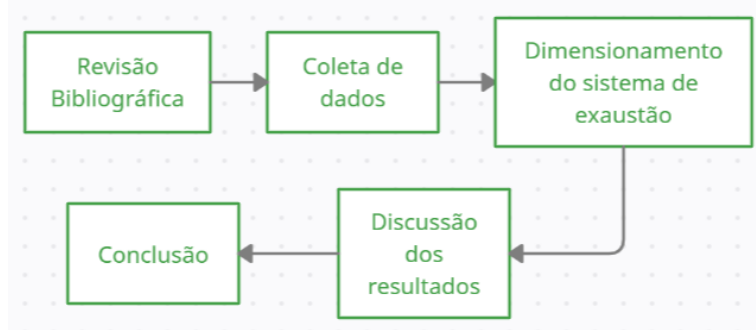


Figura 26 - Fluxograma das etapas do trabalho.
Fonte: pesquisa direta (2021)

De maneira mais completa, a Figura 26 apresenta as seguintes etapas:

- Revisão bibliográfica: nessa etapa foram apresentados conceitos e teorias que regem a ventilação industrial, além de apresentar todos os componentes do sistema de exaustão e suas variáveis;
- Coleta de dados: foi realizado um levantamento com todas as informações necessárias para realizar o dimensionamento do sistema de exaustão, como quantidade de colaboradores, equipamentos, *layout* da cozinha, temperatura externa, tempo de insolação;
- Dimensionamento do sistema de exaustão: com todas as informações necessárias coletadas e calculadas, pode ser realizado o dimensionamento do sistema: captores, filtros e coletores de gordura, ventiladores e dutos;
- Discussão dos resultados: neste tópico são apresentados os resultados.

3.3 Variáveis e indicadores

Em seu livro Gil (2008) conceitua o termo variável como algo que pode ter diferentes valores ou aspectos, que são determinados de acordo com a situação ou o meio que estão inseridos. Além disso, os indicadores são explicados como termos que possibilitarão identificar, de maneira prática, as variáveis.

A Tabela 3, mostra as variáveis e indicadores envolvidos no presente trabalho.

Tabela 3 - Variáveis e indicadores

Variáveis	Indicadores
Carga térmica	Quantidade de pessoas
	Calor liberado pelos equipamentos
	Iluminação
	Insolação
	Calor infiltrado pelas paredes
Vazão de captura	Material particulados (gorduras)
	Tipos de captores
	Velocidade de captura
Ventilação Local Exaustora	Carga térmica encontrada
	Vazão encontrada
	Parâmetros de conforto térmico a serem atingidos
	Dimensionamento de captores
	Dimensionamento dos dutos
	Seleção dos exaustores
	Seleção dos filtros e coletores de poluição
Seleção dos mecanismos corta-fogo	

Fonte: Pesquisa direta (2021)

3.4 Instrumento de coleta de dados

A coleta de dados foi realizada por meio de consultas de livros e artigos, além de contar com a observação do *layout* da cozinha e análise dos equipamentos presentes que influenciam diretamente no desenvolvimento do sistema de exaustão.

3.5 Tabulação de dados

Todos os dados coletados serão tabulados por meio do *software Microsoft Excel*, possibilitando o cálculo rápido e eficaz dos parâmetros desejados. A documentação dos resultados será realizada por meio da ferramenta *Microsoft Word*.

3.6 Considerações finais do capítulo

Neste capítulo foram abordadas as etapas de realização da pesquisa, seguindo uma ordem lógica possibilitando o melhor resultado final, assim como os tipos de pesquisa e suas classificações. No próximo capítulo são apresentados os resultados e sua análise como um todo.

4 RESULTADOS

Nesse capítulo são mostrados os dados que foram coletados para o desenvolvimento do sistema de ventilação exaustora assim como os cálculos necessários para o dimensionamento do mesmo.

4.1 Leiaute

Os equipamentos presentes na cozinha da *FFK Burgers* são mostrados na figura 27:



Figura 27 - Chapa e fritadeira da FFK Burgers.
Fonte: Pesquisa direta (2021).

Na figura 27 é possível observar os equipamentos que estão presentes na cozinha do trabalho em questão. São eles uma chapa MetalCubas CBG 1000 Pro com três queimadores e espessura de nove milímetros e o outro a fritadeira Inovamaq FL-10, equipamento esse elétrico com capacidade para dez litros de óleo para frituras.

b a largura da coifa, em metros;

h a distância da coifa aos equipamentos, em metros.

A coifa deve cobrir o espaço de 1,60 m por 0,71 m, contudo pela norma NBR 14518 é necessário que este tipo de captor apresente no mínimo quinze centímetros de sobreposição frontal e lateral. Dessa maneira, a coifa deverá ter as seguintes medidas, comprimento (L) de 1,75 m e largura (b) 0,86 m. A fim de ser obter um bom espaço para manuseio dos equipamentos de cocção a altura (h) adotada será de 0,80 metros.

Nessa conjuntura,

$$q_{v1} = 0,4 * 1,75 * 0,86 = 0,602 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$q_{v2} = 0,25 * [(2 * 0,86) + 1,75] * 0,8 = 0,694 \sim 0,7 \text{ m}^3/\text{s}$$

Por fim, a vazão escolhida deve ser o maior valor obtido entre ambas as vazões calculadas. Assim, a vazão de ar adotada é de 0,7 m³/s ou 2520 m³/h.

4.3 Dimensionamento dos dutos

O dimensionamento do diâmetro dos dutos leva em consideração a vazão de entrada dos captores, que foi calculada no tópico anterior e a velocidade de escoamento na tubulação. Uma vez que a velocidade de escoamento é admitida segundo o tipo de poluente que será exaurido pelo sistema, pela tabela 1 presente no trabalho será adotada a velocidade de 10 m/s.

Pela equação 3,

$$D = \sqrt{\frac{4 * Q}{\pi * V}} = \sqrt{\frac{4 * 0,7}{\pi * 10}} = 0,3 \text{ m}$$

Os dutos serão construídos por calandragem, tendo as juntas longitudinais soldadas por cordão contínuo a fim de os manter estanque.

4.4 Cálculo da perda de carga

4.4.1 Perda de carga na coifa

A perda de carga no captor, segundo o Manual *Industrial Ventilation* (ACGIH, 1998), é apresentada na figura 29.

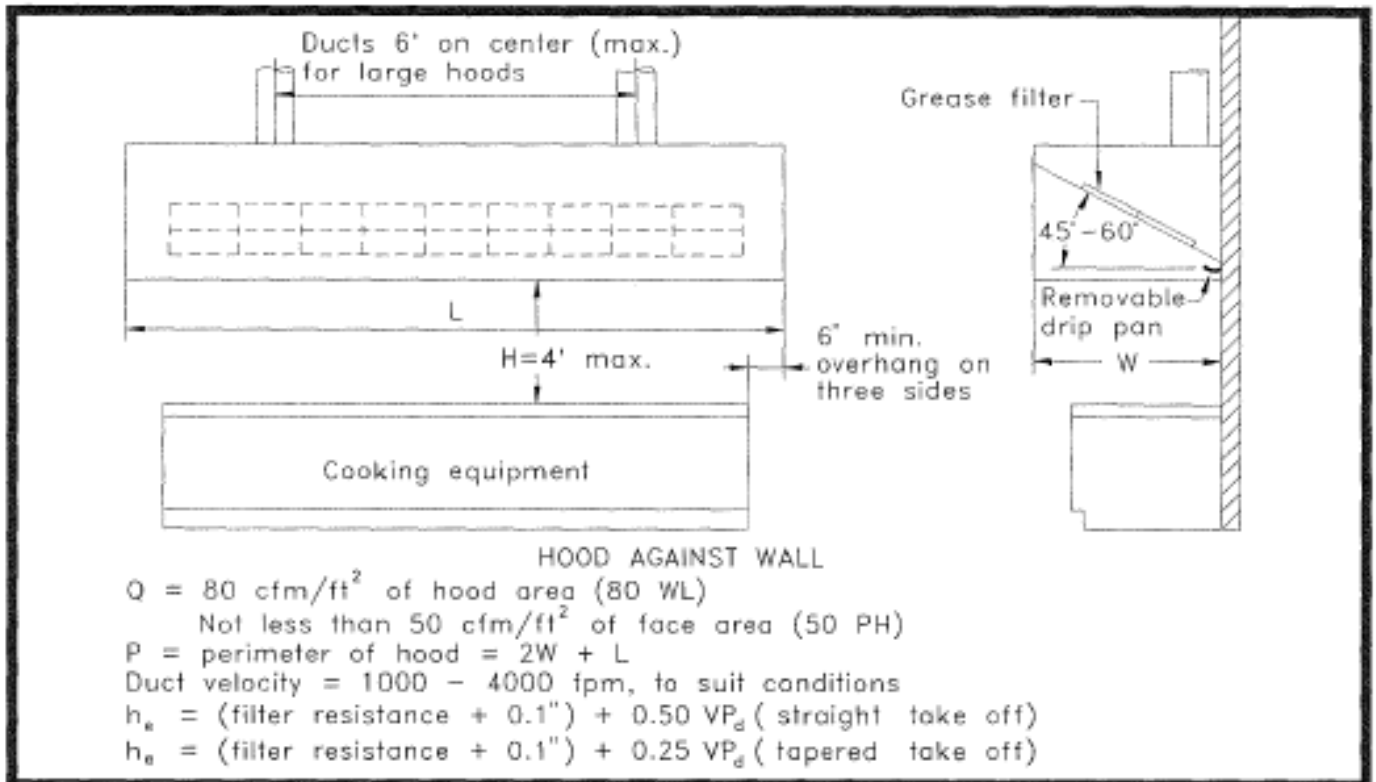


Figura 29 - Representação do cálculo da perda de carga em coifa contra a parede.
 Fonte: ACGIH (1998)

A figura 29 mostra os cálculos a serem elaborados para encontrar a perda de carga no captor. Assim, pode-se observar que:

$$\Delta P_{COIFA} = (\Delta P_{FILTRO} + 0,1'') + 0,5VP$$

$$VP = \left(\frac{V}{4005} \right)^2$$

Sendo:

ΔP_{COIFA} , a perda de carga na coifa em polegadas de coluna d'água;

ΔP_{FILTRO} , a perda de carga no filtro inercial em polegadas de coluna d'água;

VP, a pressão dinâmica em polegadas de coluna d'água;

V, a velocidade no duto em pés por minuto.

Desse modo, os filtros inerciais são o primeiro estágio de filtragem presente nas coifas, seu uso é obrigatório nos captores que não contam com o sistema de lavagem dos gases. Nesse contexto, a seleção deste equipamento deve ser realizada de maneira criteriosa para atender todas as exigências presentes na NBR 14518.

Para o presente trabalho, foram selecionados dois filtros inerciais KFI-03 da Krieger Metalúrgica, que atendem os dados de dimensão da coifa, cobrindo 1,5 metros do comprimento

do captor. Pela tabela 4, atendendo à vazão necessária, definiremos a utilização de dois filtros. Assim, a vazão de entrada nos filtros será $2520/2 = 1260 \text{ m}^3/\text{h}$.

Os dados do equipamento são disponibilizados pela empresa e mostrados na tabela 4.

Tabela 4 - Modelos de filtro inercial com suas dimensões e faixa de vazão volumétrica atendida.

Código	Vazão m ³ /h	Dimensões (mm) A x B
KFI-01	700 a 900	500 x 500
KFI-02	901 a 1080	500 x 600
KFI-03	1081 a 1350	500 x 750
KFI-04	1351 a 1800	500 x 1000
KFI-05	1801 a 1900	500 x 1100
KFI-06	1901 a 2160	500 x 1200

Fonte: Krieger Metalúrgica (2021).

A tabela 4 mostra os modelos de filtros inerciais da Krieger Metalúrgica, com suas dimensões e a faixa de vazão atendida. O filtro escolhido foi o KFI-03. Além disso, o catálogo da empresa disponibiliza informações sobre a perda de carga, que pode ser observado na figura 30.

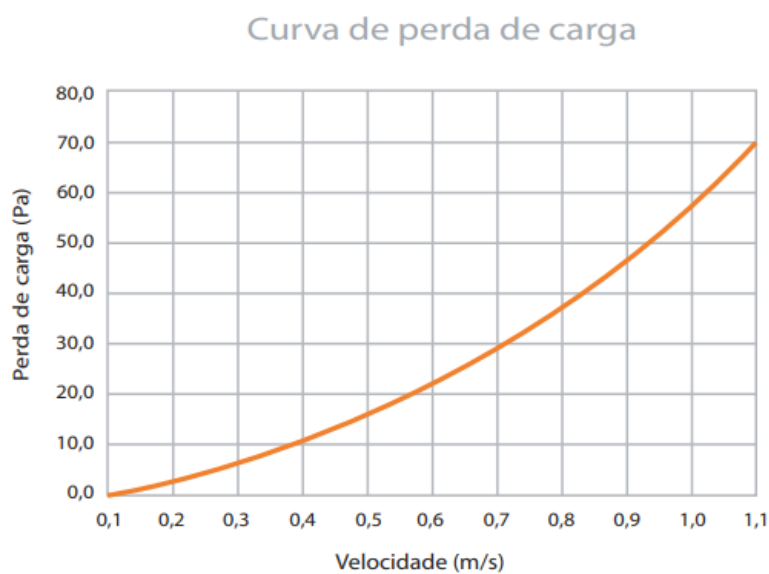


Figura 30 - Gráfico da curva de perda de carga dos filtros inerciais Krieger.
Fonte: Krieger Metalúrgica (2021).

Na figura 30 é observado a curva de perda de carga dos filtros inerciais da Krieger Metalúrgica, contemplando a faixa da velocidade de face de zero a 1,1 metros por segundo. A fabricante recomenda que a velocidade de face fique entre 0,7 a 1,0 m/s, para obter a máxima retenção de gordura pelos filtros.

Para o presente trabalho será definida a velocidade de face nos filtros inerciais sendo 1,1 m/s e dessa maneira, a perda de carga será de 70 Pa ou 0,29 polegadas de coluna d'água.

$$VP = \left(\frac{1968,5}{4005} \right)^2 = 0,241 \text{ pol. c. a} = 6,12 \text{ mm. H}_2\text{O}$$

$$\Delta P_{COIFA} = (0,29 + 0,1) + 0,5 * 0,241 = 0,51 \text{ pol. c. a}$$

$$\Delta P_{COIFA} = 127 \text{ Pa}$$

4.4.2 Perda de carga no *damper* corta-fogo

A perda de carga nestes equipamentos é encontrada nos catálogos dos fabricantes, que realizam testes para assegurar a qualidade de seus produtos. Dessa forma, neste trabalho foi escolhido o modelo FKA-D-BR-45 da empresa Trox do Brasil LTDA, mostrado na figura 31.



Figura 31 - *Damper* corta-fogo circular da Trox do Brasil LTDA.
Fonte: Trox do Brasil LTDA (2021).

Para se adequar a tubulação do trabalho, foi selecionado o *damper* com diâmetro nominal (DN) de 315 mm.

A figura 32 apresenta o diagrama com os valores da perda de carga do *damper*.

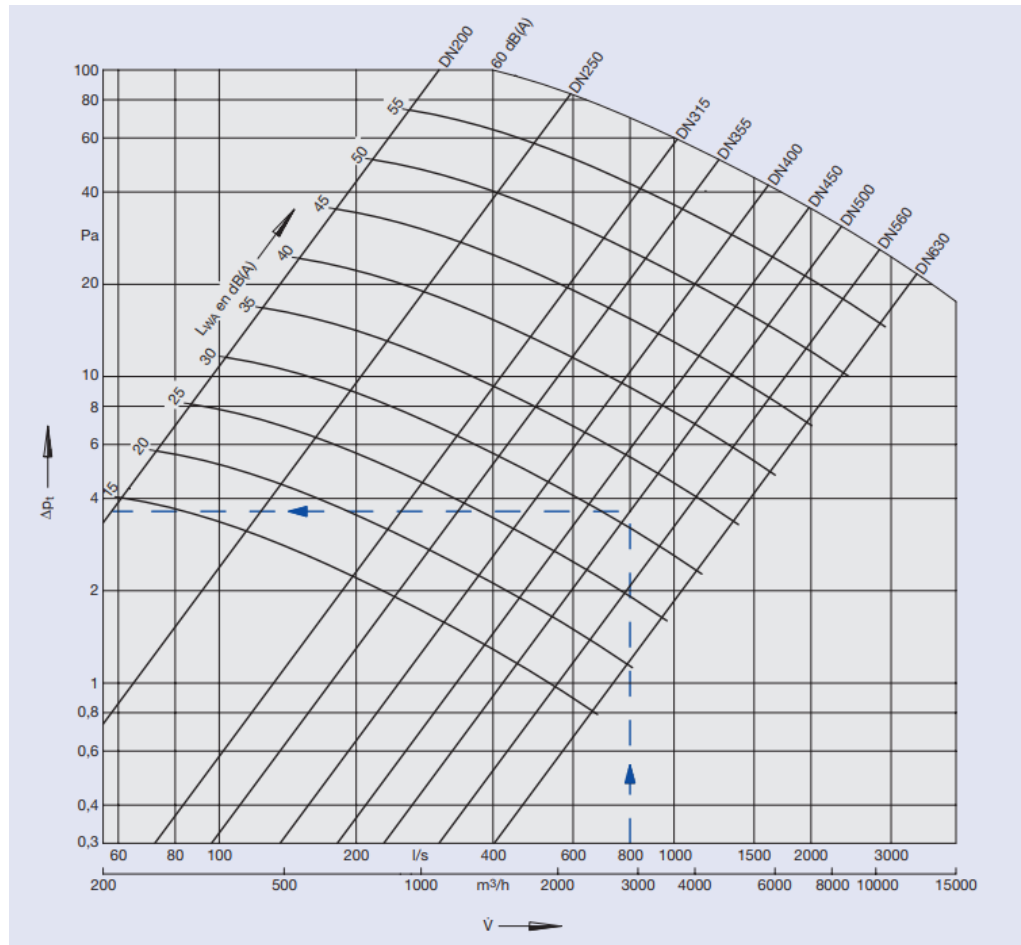


Figura 32 - Diagrama com valores da perda de carga e potência sonora do modelo FKA-D-BR-45.
Fonte: Trox do Brail (2021)

No diagrama da figura 32 é possível observar a os valores do diâmetro nominal (DN) do modelo selecionado e suas respectivas perda de carga e potência sonora de acordo com a vazão volumétrica na entrada do *damp*er corta-fogo.

Dessa forma, após análise do diagrama é possível determinar a perda de carga como aproximadamente 30 Pa.

4.4.3 Perda de carga na tubulação reta e acessórios

Para este projeto a rede de dutos deverá ser fabricada em chapa de aço-carbono com espessura de 3 mm e pintura eletrostática, para evitar a corrosão. Ademais, o sistema de exaustão conta com 4,5 metros de tubulação reta, além de três curvas de 90°.

Na tabela 5 serão apresentados os dados necessários para o cálculo da perda de carga.

Tabela 5 - Propriedades que serão usadas para o cálculo da perda de carga na tubulação.

Comprimento da tubulação (L)	4,5 metros
Aceleração da gravidade (g)	9,81 m/s ²
Diâmetro da tubulação (D)	0,3 metros
Massa específica do ar (ρ_{ar})	1,2013 kg/m ³
Peso específico do ar (γ)	11,79 N/m ³
Viscosidade dinâmica (μ)	1,54x10 ⁻⁵ m ² /s
Velocidade de escoamento (v)	10 m/s
Rugosidade absoluta do aço-carbono (ϵ)	0,045 mm

Fonte: Pesquisa direta (2021).

Assim,

$$Re = \frac{\rho v D}{\mu} = \frac{1,2013 * 10 * 0,3}{1,54 * 10^{-5}} = 2,34 * 10^5$$

$$\epsilon_{relativo} = \frac{\epsilon}{D} = \frac{0,045}{300} = 0,00015$$

Com o número de Reynolds (Re) e a rugosidade relativa do material dos dutos é possível, através do diagrama de Moody, encontrar o coeficiente de perda de carga, f. Na figura 33 é possível observar a determinação de f.

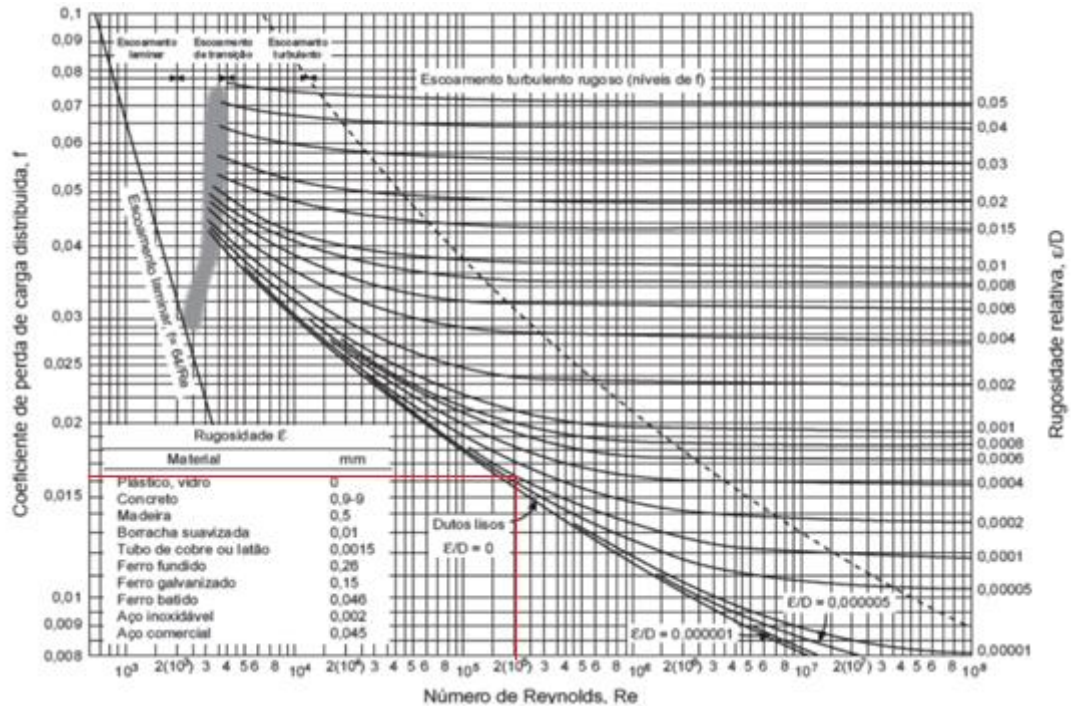


Figura 33 - Diagrama de Moody.
Fonte: Macyntire (1990).

Na figura 33 é possível checar o cruzamento dos dados do coeficiente de Reynolds e da rugosidade relativa, chegando ao valor de $f = 0,016$.

Desse modo, é possível calcular a perda de carga para a tubulação reta por meio da equação 4:

$$\Delta P = \left(f * \frac{L}{D} * \frac{v^2}{2g} \right) * \gamma = \left(0,016 * \frac{4,5}{0,3} * \frac{10^2}{2 * 9,81} \right) * 11,79 = 14,42 \text{ Pa}$$

Para a perda de carga nos acessórios é adotado o coeficiente de perda de carga localizada para curvas de 90° em tubulações circulares (K_L) como 0,5. Adotando $h_v = 6,12 \text{ mmH}_2\text{O}$:

$$\Delta P = 0,5 * 6,12 = 3,06 \text{ mm.H}_2\text{O} \text{ ou } 30,01 \text{ Pa}$$

Como o sistema de exaustão proposto neste trabalho dispõe de três curvas de 90° a perda de carga localizada total é 90,03 Pa. E a perda de carga total na tubulação reta e acessórios é 104,45 Pa.

4.4.4 Perda de carga no lavador de gases

Para o presente trabalho, foi escolhido um lavador de gases para atuar como elemento de filtragem mais acurado. Seu funcionamento é simples, o ar com os contaminantes passa pelo lavador que, com seus *sprays* de água é capaz de retirar as partículas de gordura, separando

assim o ar limpo e retendo o contaminante. Assim, foi escolhido o modelo LH-1 da empresa NANOAR, mostrado na figura 34.

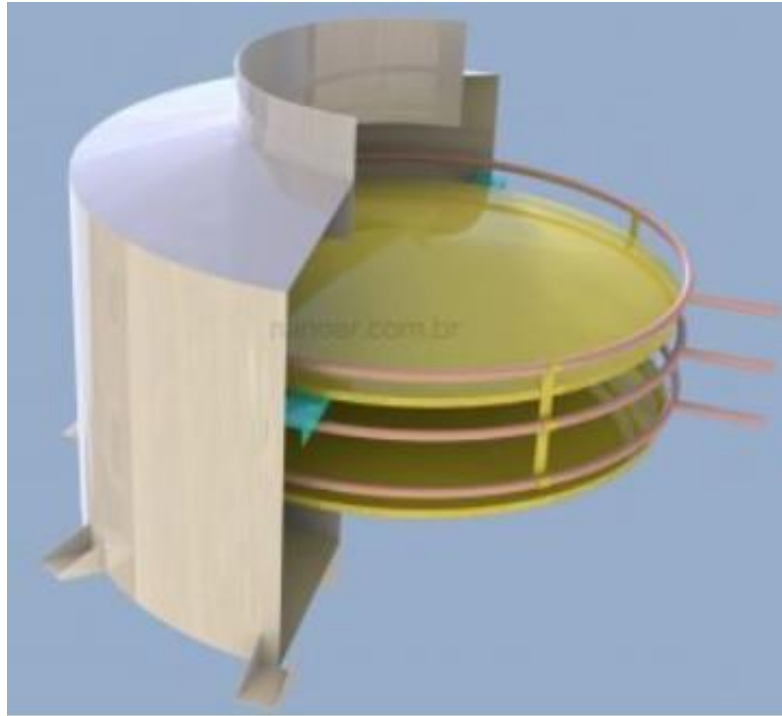


Figura 34 - Lavador de gases LH-1.
Fonte: NANOAR (2021)

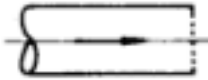
É possível observar na figura 34 os mecanismos internos do lavador de gases. O seu princípio de funcionamento é simples, as placas amarelas restringem a passagem do ar contaminado permitindo que os jatos de água, localizados na estrutura circular de cor bronze, lavem os gases, a gordura fica retida nas placas, enquanto o ar limpo segue seu caminho pela tubulação.

A perda de carga do lavador é fornecida pelo fabricante em seu catálogo como 15 mmca, ou seja, 147 Pa.

4.4.5 Perda de carga na chaminé

A chaminé contará com o mesmo diâmetro da tubulação, ou seja, 0,3 m, ademais a saída contará com uma grelha metálica, com 70% de abertura de área, que atua protegendo a rede de dutos da possível entrada de insetos, pássaros ou qualquer outra coisa que possa danificar o sistema. Desse modo, de acordo com Macintyre (1990) o coeficiente de perda de carga (K) para saídas abruptas com grelhas com orifícios é mostrado na tabela 6.

Tabela 6 - Coeficiente de perda de carga para grelhas com orifícios.



Grelha com orifícios	
Superfície livre	K
70%	3
60%	4
50%	6

Fonte: Macintyre (1990).

A tabela 6, mostra os coeficientes de perda de carga (K) para diferentes níveis de abertura das grelhas na saída da chaminé. Para este projeto será adotado $K = 3$.

Adotando a velocidade da tubulação igual a 10 m/s pode-se obter a perda de carga na chaminé. E utilizando $h_v = 6,12 \text{ mmH}_2\text{O}$:

$$\Delta P = K * h_v = 3 * 6,12 = 18,36 \text{ mm.H}_2\text{O} \text{ ou } 180,06 \text{ Pa}$$

4.4.6 Perda de carga total

A perda de carga total do sistema é a soma das perdas de carga calculadas até o momento. Desse modo é possível observar na tabela 7 todas as perdas.

Tabela 7 - Perdas de carga do sistema

Trecho	Perda de carga (Pa)
Coifa e filtros inerciais	127
Damper corta-fogo	30
Tubulação reta	14,42
Acessórios	90,03
Lavador de gases	147
Chaminé e grelha	180,06
Total	588,51

Fonte: Pesquisa direta (2021)

Por meio da tabela 7 é possível observar que a perda de carga total do sistema é de 588,51 Pa, entretanto é interessante adotar um coeficiente de segurança para sanar possíveis erros durante os cálculos. Dessa maneira, adotando um coeficiente de segurança de 5% a perda de carga total será:

$$\Delta P_{total} = 1,05 * 588,51 = 618 Pa$$

4.5 Seleção do ventilador

A seleção do ventilador para este projeto ocorreu através do *software* Vortex, versão 4.0 da Soler & Palau.

Os dados de entrada são mostrados na figura 35.

Dados operacionais	
Temperatura (°C)	25
Pressão atmosférica (mmHg)	723,3
Altitude em metros	423
Constante R	269,4
ou	
Densidade (kg/m³)	1,2013
Vazão (m³/h)	2520
Pressão estática (mmca)	63,06

Figura 35 - Dados de entrada no programa.
Fonte: Pesquisa direta (2021).

A figura 35 mostra os dados de entrada para a seleção do ventilador. Os dados de pressão atmosférica e altitude foram obtidos em relação à cidade de referência para a instalação do sistema, no caso Ponte Nova, Minas Gerais. A partir da densidade específica do ar adotada no trabalho o *software* realiza o cálculo da constante dos gases (R). A vazão e a pressão estática (perda de carga) foram calculadas no presente trabalho.

Adiante, o programa pede a seleção dos dados do ventilador, como mostra a figura 36.

Figura 36 - Dados do ventilador.
Fonte: Pesquisa direta (2021)

É possível observar na figura 36 os dados de escolha do ventilador seguindo o catálogo de produtos disponíveis da Soler & Palau. Para o sistema deste trabalho foi selecionado um ventilador centrífugo tubular, que possui as características e vantagens do tipo centrífugo com a carcaça próxima a de um ventilador axial, possibilitando assim, uma economia de espaço na hora de sua instalação. O modelo ARF remete à construção do rotor, que no caso é do tipo *airfoil*.

Por fim, o programa retorna informações acerca do produto como é mostrado na tabela 8.

Tabela 8 - Informações acerca dos diferentes diâmetros do ventilador.

DIÂM	RC	ANG	REND. (%)	RPM	POT.ABS. (cv)	VEL.PERIF. (m/s)	VEL.DESC. (m/s)
200		0	55,82%	6.492	1,36	67,98	10,94
224		0	63,76%	4.900	1,15	57,47	8,72
250		0	71,85%	3.800	0,99	49,75	7,00
280		0	79,53%	2.994	0,88	43,90	5,58
315		0	85,12%	2.406	0,82	39,68	4,41
355		0	86,61%	1.989	0,80	36,97	3,47
400		0	83,15%	1.696	0,83	35,51	2,73
450		0	75,44%	1.489	0,91	35,08	2,16

Fonte: Pesquisa direta (2021).

A tabela 8 mostra as informações retornadas pelo programa de acordo com as entradas fornecidas. É possível destacar o rendimento, rotações do ventilador, potência absoluta do motor elétrico, velocidade periférica e velocidade de descarga.

Desse modo, foi escolhido o ventilador centrífugo tubular ARF315, com 315 mm de diâmetro do rotor e 530 mm de diâmetro externo, por atender as especificações do projeto, possuir um tamanho ideal, que condiz com a realidade do projeto, além de se obter um

rendimento muito bom em relação aos outros modelos. As especificações do ventilador ARF 315 são mostradas na figura 37.

ARF 315 Classe I			
Temperatura operação	25 °C	Rendimento	85,12 %
Pressão barométrica	723,3 mmHg	Rotação	2406 rpm
Densidade do fluido	1,201 kg/m ³	Potência abs.(ST)	0,82 cv
Vazão	2520 m ³ /h	Potência abs.(SE)	0,82 cv
Pr.est.(SE)	63,1 mmca	Velocidade periférica	39,68 m/s
Pr.total (SE)	64,3 mmca	Pr.sonora (1m) C.L.	70 dBA
Pr.total (ST)	64,4 mmca		
Pr.est.(ST)	63,2 mmca		
Velocidade descarga	4,41 m/s		

Figura 37 - Dados do ventilador ARF315.
Fonte: Pesquisa direta (2021).

A figura 37 mostra todos os dados de operação do ventilador selecionado, como rotações por minuto, velocidade de escoamento, potência, pressão sonora e perda de carga.

O ventilador em si, pode ser visto na figura 38.

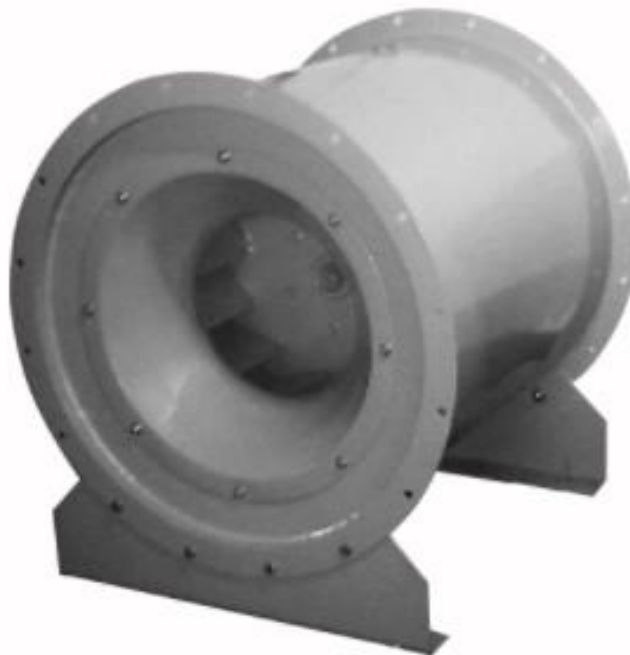


Figura 38 - Ventilador ARF315.
Fonte: Soler & Palau (2021).

Nesse contexto, esse capítulo abordou os cálculos para o dimensionamento do sistema de exaustão e também a seleção dos equipamentos que irão compor o mesmo. Dessa forma, no próximo capítulo apresenta-se a conclusão e as recomendações para futuros trabalhos.

5 CONCLUSÃO

Esse capítulo visa finalizar o trabalho a partir de todos os dados que foram obtidos durante o desenvolvimento e os cálculos. Mostrando os benefícios que o sistema pode agregar à cozinha em questão.

5.1 Conclusões

As cozinhas industriais são ambientes de trabalho com muita pressão e desgaste físico devido as atividades intensas, assim manter os funcionários o mais confortáveis possível é um fator de grande valor para melhor execução do trabalho.

Dessa forma em uma cozinha industrial o sistema de ventilação local exaustora contribui retirando calor do ambiente, ajudando em uma melhoria na qualidade de trabalho dos colaboradores. Além disso, o sistema visa retirar os contaminantes do ar que são fontes de risco para a saúde dos funcionários.

Ademais, o sistema é responsável pela retirada das partículas de gordura do ambiente, que é um fator que auxilia na degradação dos equipamentos da cozinha, por meio de incrustações e entupimentos.

Em via dos fatos apresentados durante o dimensionamento do sistema desse presente trabalho, é notável que sua implementação é mais que necessária e viável. Pode-se afirmar que os fatores citados acima serão muito benéficos para o ambiente e todos os colaboradores envolvidos, trazendo conforto térmico, proteção contra partículas cancerígenas e problemas de incrustação nos equipamentos.

5.2 Recomendações

Para trabalhos futuros é possível buscar mais informações sobre:

- Estimativa de custo de fabricação do sistema;
- Instalação de coifas lavadoras;
- Dimensionamento do sistema de insuflamento de ar.

Assim, é finalizado o último capítulo do presente trabalho com as conclusões acerca do dimensionamento do sistema de exaustão e recomendações para pesquisas futuras.

REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA

ASSOCIACAO BRASILEIRA DE NORMAS TECNICAS (ABNT). NBR 14518: Sistema de ventilação para cozinhas profissionais. Rio de Janeiro, 2020.

AMERICAN SOCIETY OF HEATING, REFRIGERATING AN A-C ENGINEERS (ASHRAE). HVAC Applications. EUA, 1998.

AEROVENT. **Sistemas de exaustão e ventilação para cozinha profissional.** Disponível em: <http://www.aerovent.com.br/sistema-de-exaustao-e-ventilacao-para-cozinha-profissional/>. Acesso em: 15 jun. 2021.

ASSIS, M. C. Metodologia do Trabalho Científico. Disponível em: <http://biblioteca.virtual.ufpb.br/files/pub_1291081139.pdf>. Acesso em: 26 set. 2021.

BAPTISTA, Filipe Maia. **Ventilação de Cozinhas Profissionais.** 1. ed. Coimbra: [s.n.], 2011.

CAPULLI, Domenico. Sistemas de Exaustão de Cozinhas Profissionais. Disponível em: <http://www.capmetal.com.br/novo/_artigos/frio.pdf> Acesso em: 24 set. de 2021.

CHAVES, Eliane Lara. **Ventilação Industrial** : Aplicada a Engenharia de Segurança. 1. ed. [S.l.: s.n.], 2012.

CLEZAR, Carlos A.; NOGUEIRA, A. C. R. **Ventilação Industrial.** 2. ed. [S.l.]: EDUSFC, 2009.

COSTA, E. C. D. **Ventilação.** 1. ed. [S.l.]: Edgar Blucher, 2005.

DEMEC UFPR. **Apostila Máquinas Hidráulicas.** Disponível em: http://ftp.demec.ufpr.br/disciplinas/TM120/APOSTILA_MH/AT087-Aula010.pdf. Acesso em: 23 jul. 2021.

DEMEC UFPR. **Cálculo da perda de carga.** Disponível em: http://ftp.demec.ufpr.br/disciplinas/TM120/APOSTILA_MH/AT087-Aula07_CALCULO%20PERDA. Acesso em: 3 ago. 2021.

DUFRIO. **Porque é importante manter o conforto térmico no ambiente de trabalho.** Disponível em: <https://www.dufrio.com.br/blog/ar-condicionado/comercial/por-que-e-importante-manter-o-conforto-termico-no-ambiente-de-trabalho/>. Acesso em: 25 jul. 2021.

FROTA, Anésia Barros; SCHIFFER, Sueli Ramos. **Manual do Conforto Térmico.** 7. ed. [S.l.]: Studio Nobel, 2006.

GIL, Antônio Carlos; **Como elaborar projetos de pesquisa.** 6. Ed. Atlas, 2017.

INDUSTRIAS TOSI. Saiba tudo sobre *damper* corta-fogo. Disponível em: <https://www.industriastosi.com.br/artigo/saiba-tudo-sobre-damper-corta-fogo/>>. Acesso em: out. 2021.

MACINTYRE, Archibald Joseph. **Ventilação Industrial e Controle da Poluição .** 2. ed. [S.l.]: Guanabara, 1990.

MONTEIRO, Victor. **Ventilação na Restauração e Hotelaria.** 2. ed. Lisboa: ETEP, 2016.

RUAS, Álvaro Cesar. **Avaliação de conforto térmico:** Contribuição a aplicação prática das normas internacionais. 1. ed. [S.l.]: Unicamp, 1999.

TCA INDÚSTRIA. **Coifa com filtro inercial.** Disponível em: <http://www.tcaindustria.com.br/coifa-com-filtro-inercial>. Acesso em: 8 ago. 2021.

UNESP. **Apostila de Hidráulica.** Disponível em: <https://www.fcav.unesp.br/Home/departamentos/engenhariarural/joserentozanini/apostila-hidraulica-2016.pdf>. Acesso em: 14 ago. 2021.

.OLIVEIRA, J. M. de. Noções de Ventilação Industrial (apostila). Disponível em:<http://ftp.demec.ufpr.br/disciplinas/TM120/VENTILACAO_INDUSTRIAL.pdf.1>. Acesso em: 11 de ago. de 2021.