

INSTITUTO FEDERAL DE SANTA CATARINA

LUCAS MENIN DA SILVA

DIMENSIONAMENTO DE UM SISTEMA DE EXAUSTÃO DE GASES PARA  
ESCAPAMENTOS AUTOMOTIVOS

Xanxerê

2023

LUCAS MENIN DA SILVA

DIMENSIONAMENTO DE UM SISTEMA DE EXAUSTÃO DE GASES PARA  
ESCAPAMENTOS AUTOMOTIVOS

Monografia apresentada ao curso de Engenharia Mecânica do campus Xanxerê do Instituto Federal de Santa Catarina para a obtenção do diploma de Bacharel em Engenharia Mecânica

Orientador: Profa. Me. Vanessa Milhomem Schmitt

Xanxerê

2023

S586d Silva, Lucas Menin da.  
Dimensionamento de um sistema de exaustão de gases para escapamentos  
automotivos / Lucas Menin da Silva. — 2023.  
67 p. : il., color.

Trabalho de conclusão de curso (graduação). Instituto Federal de Educação,  
Ciência e Tecnologia de Santa Catarina - Câmpus Xanxerê.  
Orientação: Profª. Me. Vanessa Milhomem Schmitt.  
Inclui referências.

1. Ventilação industrial. 2. Oficina mecânica. 3. Exaustão de gases tóxicos. I.  
Schmitt, Vanessa Milhomem, Profª. Me. II. Instituto Federal de Educação, Ciência  
e Tecnologia de Santa Catarina - Câmpus Xanxerê. III. Título.

LUCAS MENIN DA SILVA

DIMENSIONAMENTO DE UM SISTEMA DE EXAUSTÃO DE GASES PARA  
ESCAPAMENTOS AUTOMOTIVOS

Este trabalho foi julgado adequado para obtenção do título de Engenheiro Mecânico,  
pelo Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Santa Catarina, e  
aprovado na sua forma final pela comissão avaliadora  
abaixo indicada.

Xanxerê, 23 de novembro de 2023.

Documento assinado digitalmente  
 VANESSA MILHOMEM SCHMITT  
Data: 08/12/2023 11:45:09-0300  
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Prof. Vanessa Milhomem Schmitt, Me.

Orientadora

Instituto Federal de Santa Catarina

Documento assinado digitalmente  
 JEANCARLOS ARALDI  
Data: 08/12/2023 15:26:59-0300  
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Prof. Jeancarlos Araldi, Dr.

Instituto Federal de Santa Catarina

Documento assinado digitalmente  
 VINÍCIUS GONÇALVES DEON  
Data: 11/12/2023 11:20:46-0300  
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Prof. Vinícius Gonçalves Deon, Me.

Instituto Federal de Santa Catarina

Documento assinado digitalmente  
 ROMULO SILVA KUNZLER  
Data: 08/12/2023 11:50:42-0300  
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Rômulo Silva Kunzler, Tecnólogo em gestão da produção industrial

Instituto Federal de Santa Catarina

Dedico este trabalho aos meus pais,  
reconheço as dificuldades  
e todo o esforço feito  
para hoje ser quem sou.

## **AGRADECIMENTOS**

Primeiramente agradeço a Deus pela vida e por proporcionar oportunidades como esta.

Aos meus queridos pais e avós, meus verdadeiros ídolos. Que sempre me apoiaram, se preocuparam e estiveram ao meu lado durante todo o curso.

A minha namorada que me motivou e deu forças durante todo este período.

Ao meu afilhado Davi, por me trazer mais luz, esperança e alegria.

A minha professora orientadora Profa. Me. Vanessa Milhomem Schmitt. Muito obrigado pela sua dedicação e amizade.

Aos professores do curso de Engenharia Mecânica do Câmpus Xanxerê que se esforçaram para compartilhar o conhecimento e contribuíram para minha trajetória acadêmica.

Aos colaboradores e técnicos do Câmpus Xanxerê que me ajudaram e fizeram parte da minha rotina durante o período de estágio na instituição.

A todos os meus colegas de turma que dividiram matérias comigo no decorrer do curso.

Em memória ao meu grande amigo Gustavo por estar comigo no início desta jornada, nunca esquecerei a sua determinação, motivação e vontade de tornar este mundo um lugar melhor.

E por fim, aos irmãos que a faculdade me revelaram. Hoje vejo que além do conhecimento adquirido na instituição, a maior bagagem que levo junto comigo é a amizade e os momentos construídos neste período. Fernando Ricardo Sasso, Henrique Batista Redin, Henrique Cancelier e Matheus Ribeiro Pelegrini. Muito obrigado por, na série da minha vida fazerem parte desta temporada de aventura.

Levarei para toda a vida este lugar, pessoas e momentos inesquecíveis.

O desenvolvimento progressivo do homem  
depende vitalmente da invenção.  
É o produto mais importante  
do seu cérebro criativo.  
(Nikola Tesla)

## RESUMO

A frota nacional de automóveis ultrapassou a marca de 60 milhões de unidades no ano de referência 2022. Tendo em vista a quantidade expressiva de automóveis em circulação, torna-se fundamental analisar a forma como as oficinas mecânicas atendem às normas de saúde e segurança do trabalhador, particularmente no que diz respeito à qualidade do ar interno. O presente trabalho surge, também, da necessidade de promover um ambiente de trabalho mais seguro nas oficinas mecânicas, contribuindo para a preservação da saúde dos trabalhadores e clientes. Este trabalho trouxe como objetivo o dimensionamento de um sistema de exaustão para escapamento automotivo visando diminuir ou anular a proliferação de gases tóxicos no ambiente provenientes da queima de combustível em motores a combustão interna em oficinas mecânicas. Neste presente estudo, efetuou-se medições *in loco* para plotar e organizar as variáveis de entrada para o dimensionamento, detalhamento e sugestão de layout do sistema de exaustão. Como resultado, foi dimensionado e detalhado um sistema de exaustão composto de um captor enclausurante, duto flexível e ventilador exaustor. Também elencou-se as normas vigentes sobre o tema com seus principais pontos relativos ao estudo, e categorizou-se as mesmas com seus respectivos objetivos normativos.

Palavras-Chave: Ventilação industrial. Oficina mecânica. Exaustão de gases tóxicos.

## **ABSTRACT**

The national fleet of automobiles surpassed the mark of 60 million units in the reference year 2022. In light of the significant number of automobiles in circulation, it becomes essential to analyze how automotive repair shops comply with occupational health and safety standards, particularly concerning indoor air quality. This study also arises from the need to promote a safer working environment in automotive repair shops, contributing to the preservation of the health of workers and customers. The objective of this research is the design of an exhaust system for automotive emissions aimed at reducing or eliminating the proliferation of toxic gases in the environment resulting from the combustion of fuel in internal combustion engines in automotive repair shops. In this study, on-site measurements were conducted to plot and organize input variables for the design, detailing, and layout suggestion of the exhaust system. As a result, an exhaust system composed of an enclosure hood, flexible duct, and exhaust fan was designed and detailed. Furthermore, relevant standards on the subject were outlined, highlighting their key points related to the study, and categorized with their respective normative objectives.

**Keywords:** Industrial ventilation. Automotive repair shop. Exhaust of toxic gases.

## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - Classificação das máquinas térmicas.....	17
Figura 2 - Sistema biela-manivela.....	18
Figura 3 - Os 4 tempos do motor a combustão interna por ignição de centelha.....	19
Figura 4 - Temperaturas máximas nos componentes do escapamento.....	22
Figura 5 - Influência do A/F na emissão de CO.....	24
Figura 6 - Ventilação local exaustora e ventilação geral diluidora.....	29
Figura 7 - Componentes de um sistema de VLE. Captor (a), Dutos (b), Ventilador (c), Coletor (d).....	30
Figura 8 - Tipos de captores.....	30
Figura 9 - Exaustor Luftmáxi®.....	37
Figura 10 - Exaustor Technofan®.....	38
Figura 11 - Fluxograma do trabalho.....	39
Figura 12 - Da esquerda para a direita: Anemômetro e caneta esferográfica para fins de escala.....	41
Figura 13 - Conceito do sistema de exaustão.....	44
Figura 14 - Desenho do captor dimensionado.....	47
Figura 15 - Desenho do duto flexível dimensionado.....	48
Figura 16 - Ventilador EC1 MAR.....	51
Figura 17 - Características técnicas do ventilador determinado.....	52

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Tabela de classificação dos motores.....	18
Tabela 2 - Classificação dos ventiladores.....	31
Tabela 3 – Rugosidade de alguns materiais de construção para dutos.....	35
Tabela 4 - Perdas de carga nos acessórios.....	36
Tabela 5 - Categorização das normas técnicas.....	43
Tabela 6 - Dados da planilha destacando os maiores valores.....	45
Tabela 7 - Medidas do captor.....	47
Tabela 8 - Perda de carga calculada no captor.....	48
Tabela 9 - Perda de carga no duto flexível - linear.....	49
Tabela 10 - Perda de carga no duto flexível - curvas.....	50
Tabela 11 - Somatório das perdas de carga totais do sistema.....	51
Tabela 12 - Pressão e vazão máximas do ventilador dimensionado.....	52

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas

A/F – Mistura ar/combustível (do inglês *Air/Fuel*)

ANEEL – Agência Nacional de Energia Elétrica

ANVISA – Agência Nacional de Vigilância Sanitária

CO – Monóxido de carbono

CO<sub>2</sub> – Dióxido de carbono

CONAMA – Conselho Nacional do Meio Ambiente

GNV – Gás Natural Veicular

H<sub>2</sub> – Hidrogênio

H<sub>2</sub>O – Água

HC – Hidrocarbonetos não queimados

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística

IFSC – Instituto Federal de Santa Catarina

ISO – *International Organization for Standardization*

LCO – Óleo Leve de Reciclo

N<sub>2</sub> – Nitrogênio

NBR – Norma Brasileira

NR - Norma Regulamentadora

O<sub>2</sub> – Oxigênio

NO<sub>2</sub> – Dióxido de nitrogênio

NO<sub>x</sub> – Óxido de nitrogênio

OMS – Organização Mundial da Saúde

PM – Partículas sólidas

PWM – *Pulse width modulation*

RE – Resolução

VGD – Ventilação local diluidora

VLE – Ventilação local exaustora

## LISTA DE SÍMBOLOS

$Q$  – Vazão volumétrica

$v$  – Velocidade

$A$  – Área

$d$  – Diâmetro

$m$  – Metro

$s$  – Segundo

$\Delta P$  – Perda de carga

Pa – Pascal

$K$  – Coeficiente de perda de carga

$P_v$  – Pressão de velocidade

$\rho$  – Massa específica

$f$  – Fator de atrito

$Re$  – Número de Reynolds

$\varepsilon$  – Rugosidade do material

$\mu$  – Viscosidade absoluta do ar

$P$  – Pressão absoluta

$R$  – Constante específica do gás

$T$  – Temperatura

°C – Graus Célsius

cc – Cilindrada cúbica

L – Litro

$g$  – grama

$J$  – Joule

## SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO.....</b>	<b>14</b>
1.1 Objetivos.....	15
1.1.1 Objetivo geral.....	15
1.1.2 Objetivos específicos.....	15
<b>2 DESENVOLVIMENTO.....</b>	<b>16</b>
2.1 Oficina mecânica.....	16
2.1.1 Processo de testes em automóveis.....	16
2.2 Princípios de funcionamento dos motores a combustão interna.....	17
2.2.1 Tipos de motores a combustão interna.....	18
2.2.2 Ciclo de quatro tempos.....	19
2.2.3 Combustíveis usados em motores a combustão interna.....	19
2.2.3.1 Gasolina.....	20
2.2.3.2 Etanol.....	20
2.2.3.3 Diesel.....	21
2.2.3.4 Gás Natural Veicular.....	22
2.2.4 Temperatura do escapamento em motores a combustão interna.....	22
2.2.5 Emissões de poluentes em motores a combustão interna.....	23
2.2.6 Falha no funcionamento dos motores a combustão interna.....	23
2.3 Normas e regulamentações ambientais referentes a gases tóxicos.....	24
2.3.1 Resolução CONAMA nº491 de 19 de Novembro de 2018.....	25
2.3.2 Resolução da ANVISA nº 09, de 16 de Janeiro de 2003 (RE-09).....	25
2.3.3 NBR 16.401 (2008).....	26
2.3.4 Norma Regulamentadora nº 15 (1978).....	27
2.3.5 Norma ABNT ISO 8178.....	27
2.4 Ventilação industrial.....	28
2.4.1 Sistema de ventilação local exaustora.....	28
2.4.2 Captor.....	30
2.4.3 Dutos.....	31
2.4.5 Ventilador.....	32
2.4.6 Perdas de carga.....	33
2.4.6.1 Perdas de carga localizadas.....	37
2.5 Sistemas de exaustão veiculares no mercado.....	37
<b>3 METODOLOGIA.....</b>	<b>39</b>
3.1 Fluxograma do trabalho.....	39
3.2 Coleta de dados de entrada.....	40
3.2.1 Planilha para os dados de entrada.....	40
3.2.2 Temperatura do gás de escape.....	40
3.2.3 Coleta das velocidade do gás de escape.....	40
3.2.4 Obtenção do diâmetro do escapamento.....	41

3.2.5 Cálculo da vazão dos gases de escape.....	41
3.2.6 Dimensionamento do captor.....	41
3.2.7 Dimensionamento dos dutos do exaustor.....	42
3.2.8 Dimensionamento do ventilador do exaustor.....	42
<b>4 ANÁLISE E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS.....</b>	<b>43</b>
4.1 Empresa estudada neste trabalho.....	43
4.1.1 Sistema de exaustão atual da empresa.....	43
4.2 Categorização das normas técnicas sobre o tema.....	43
4.3 Dimensionamento do sistema de exaustão.....	44
4.3.1 Conceito do sistema de exaustão.....	44
4.3.2 Planilha para os dados de entrada.....	44
4.3.3 Temperatura do gás de escape.....	45
4.3.4 Velocidades do gás de escape coletadas.....	46
4.3.5 Diâmetros de escapamentos obtidos.....	46
4.3.6 Cálculo da vazão dos gases de escape.....	46
4.3.7 Dimensionamento do captor.....	47
4.3.8 Dimensionamento dos dutos.....	48
4.3.8.1 Perda de carga no duto linear.....	49
4.3.8.2 Perda de carga no duto curvado.....	50
4.3.9 Perdas de carga totais.....	50
4.3.10 Dimensionamento do ventilador.....	51
4.4 Layout do sistema de exaustão dimensionado e detalhamento de peças.....	52
<b>5 CONCLUSÃO.....</b>	<b>54</b>
5.1 Considerações para trabalhos futuros.....	55
<b>REFERÊNCIAS.....</b>	<b>56</b>
<b>APÊNDICE A - Detalhamento das peças do exaustor.....</b>	<b>58</b>

## 1 INTRODUÇÃO

Segundo dados divulgados pelo Brasil (2022) a frota nacional de automóveis ultrapassou a marca de 60 milhões de unidades. Santa Catarina contribuiu com este índice com aproximadamente 3,5 milhões de automóveis.

Todo automóvel necessita de manutenção, seja ela preventiva ou corretiva. Tendo em vista a grande quantidade de automóveis em nosso estado, evidencia-se a importância das oficinas mecânicas e a forma como atendem às normas de saúde e segurança do trabalhador, pois a preocupação com a qualidade do ar em ambientes internos tem sido cada vez mais relevante, especialmente em locais onde ocorrem atividades que geram gases tóxicos.

O gás carbônico proveniente da queima do combustível veicular, como destaca Martins (2013), “é um gás venenoso responsável por mortes ocorridas em garagens ou em lugares pouco ventilados onde se produzem combustões com falta de renovação de ar (salas com lareiras, etc.).”

Nesse contexto, é evidente a propensão do ambiente de uma oficina mecânica à concentração de gases, provenientes da queima de combustível em motores a combustão interna, prejudiciais à saúde. E destaca-se a necessidade de um sistema eficiente de exaustão de gases tóxicos, a fim de minimizar danos à saúde dos trabalhadores e clientes destes estabelecimentos.

Segundo a Organização Mundial da Saúde (OMS, 2015) a precariedade na qualidade do ar e poluição causam 3,7 milhões de mortes por ano em ambientes internos. Corroborando com o autor supracitado, (AGUIAR, 2015) nos mostra que “diversos estudos relacionam as emissões poluentes por fontes móveis, com a crescente incidência de doenças respiratórias, cardiovasculares e alérgicas, principalmente em grupos da população mais sensíveis, como crianças e idosos”.

O problema abordado nesta pesquisa é: a falta de um estudo de dimensionamento para um sistema de exaustão em oficinas mecânicas.

Dada a importância e relevância do assunto, o presente trabalho abordará o dimensionamento de um sistema de exaustão acoplado diretamente no escapamento, evitando assim, que os gases tóxicos se dissolvam no ambiente de uma oficina mecânica da região. Conforme as diretrizes do Instituto Federal de Santa Catarina (IFSC) que têm como objetivo utilizar o conhecimento científico e tecnológico para promover o progresso socioeconômico regional.

## **1.1 Objetivos**

### 1.1.1 Objetivo geral

Dimensionar um sistema de exaustão para escapamento automotivo visando diminuir ou anular a proliferação de gases tóxicos no ambiente provenientes da queima de combustível em motores a combustão interna em uma oficina mecânica.

### 1.1.2 Objetivos específicos

- Categorizar normas técnicas sobre o tema;
- Atender a maioria das amostras de veículos abordadas;
- Projetar um sistema de exaustão.

## 2 DESENVOLVIMENTO

Este capítulo tem como objetivo explorar os conceitos ligados à formação dos gases provenientes da combustão, bem como as suas propriedades. Também abordará os tipos de sistema de exaustão e as normas regulamentadoras sobre o tema, de modo a embasar o estudo.

### 2.1 Oficina mecânica

Uma oficina mecânica é um local especializado em prestar serviços de manutenção, reparação e diagnóstico de veículos automotores. O ramo de reparação automotiva corre sérios riscos de segurança e saúde no trabalho. De acordo com Carvalho (2017), isso inclui a exposição a substâncias tóxicas, como o benzeno, soluções de bateria e gases de petróleo.

Tendo em vista a finalidade de uma oficina mecânica, podemos deduzir que os veículos que adentram o estabelecimento não estão em pleno funcionamento regular. Estes veículos podem possuir tanto falhas mecânicas quanto falhas eletrônicas, que podem comprometer o gerenciamento da queima de combustível do motor.

Por ser um ambiente fechado, há uma preocupação com os gases tóxicos liberados durante o funcionamento dos automóveis que evidencia-se durante a fase de testes de um veículo que apresenta falha, como por exemplo a falha de detonação (*misfire*) que “além de prejudicar o funcionamento do carro esse tipo de falha causa degradação do motor e aumenta a emissão de gases nocivos.” (RODRIGUES, 2018).

#### 2.1.1 Processo de testes em automóveis

Uma das principais fases da manutenção automotiva é a fase do teste inicial, onde através das informações repassadas pelo cliente, o reparador busca analisar os parâmetros da injeção do veículo com o objetivo de obter o melhor diagnóstico possível. Nesta fase, o processo de combustão do combustível no motor está em falha, comprometendo a mistura ar/combustível (A/F do inglês *Air/Fuel*).

O A/F “é a relação entre a massa, ou vazão em massa de combustível, e a

massa de ar, ou a vazão em massa de ar, que formam a mistura” (BRUNETTI, 2018). Quando esta mistura não estiver de acordo com a requerida, a queima do combustível não será feita corretamente, e conseqüentemente gerará mais emissões de poluentes do que outrora em funcionamento normal. Expelindo através do escapamento gases nocivos para a saúde dos trabalhadores.

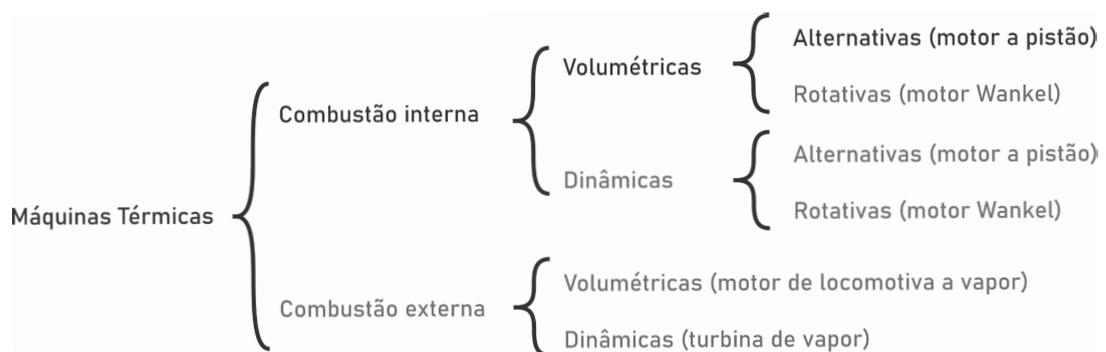
## 2.2 Princípios de funcionamento dos motores a combustão interna

Os motores de combustão interna são uma das tecnologias mais importantes e populares da indústria automobilística e são responsáveis por impulsionar a maioria dos veículos em todo o mundo.

Estes motores, são denominados como uma máquina térmica que “aproveita o aumento de pressão resultante da combustão da mistura ar-combustível para imprimir um movimento de rotação ao veio do motor” (MARTINS, 2013).

Os motores térmicos, conforme Martins (2013) explica, também podem ser de combustão externa. Neste formato, o fluido do motor não participa da combustão. Em oposição aos motores de combustão interna em que a combustão ocorre dentro do próprio motor. A Figura 1 exibe o modo de classificação das máquinas térmicas.

Figura 1 - Classificação das máquinas térmicas



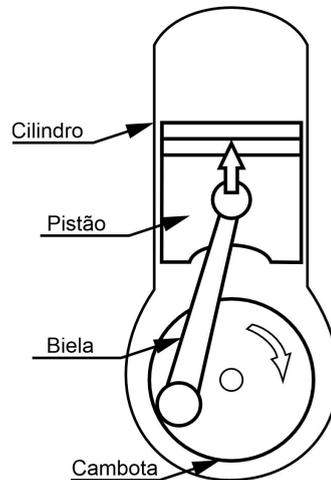
Fonte: Adaptado de Martins (2013).

Conforme a Figura acima, o presente trabalho abordará um sistema de exaustão para máquinas térmicas de combustão interna volumétricas alternativas (motores a pistão).

Os motores de combustão interna são constituídos basicamente por cilindros, que possuem a função de fornecer um espaço fechado para que haja a combustão do combustível e a transformação da energia térmica em cinética, além de abrigar

um pistão deslizando que por sua vez estará ligado a um sistema biela-manivela. A Figura 2 mostra um sistema biela-manivela.

Figura 2 - Sistema biela-manivela



Fonte: Adaptado Martins (2013).

### 2.2.1 Tipos de motores a combustão interna

Além da classificação apresentada anteriormente, é possível classificar os motores levando em consideração outros fatores, como: número de cilindros, a forma como o combustível é injetado, a tecnologia de ignição, a configuração dos pistões e dos cilindros, entre outros.

Martins (2013) nos mostra uma gama de classificações quanto ao formato, dimensionamento e disposições das peças que compõem os motores de combustão interna. A Tabela 1 exemplifica como são classificados os motores de combustão de acordo com: ciclo de operação; combustível; carga; mistura e cilindros.

Tabela 1 - Tabela de classificação dos motores

Ciclo de operação	Combustível	Carga	Método de Mistura	Disposição dos cilindros
4 tempos	Gasolina	Aspirado	Carburador	Monocilindro
2 tempos	Etanol	Sobrealimentado	Injeção direta	Em linha
	GNV		Injeção Indireta	Opostos
	Misto (flex)			Pistões opostos
				Em V, W, H, etc.

Fonte: Adaptado Martins (2013).

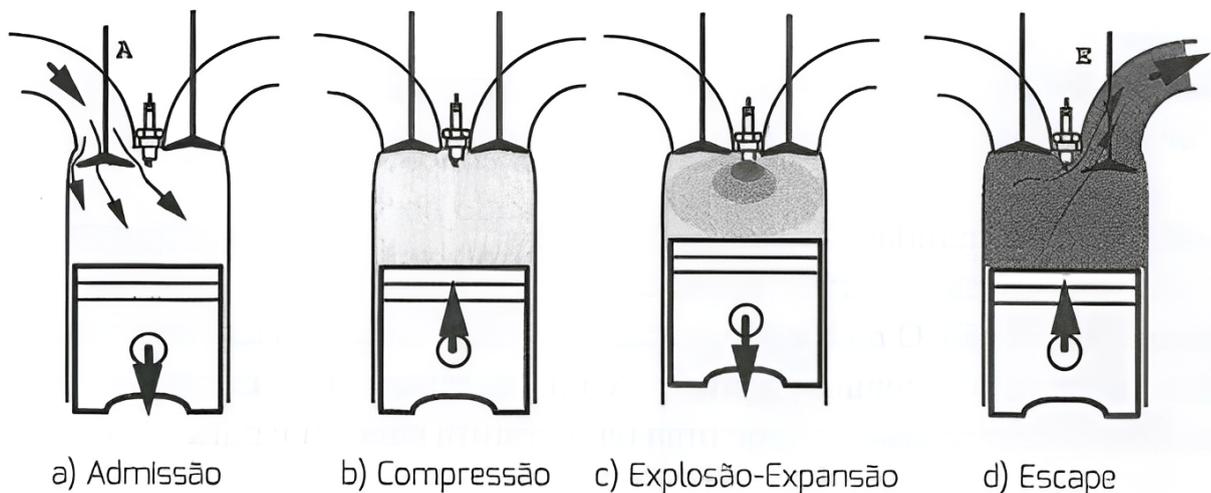
### 2.2.2 Ciclo de quatro tempos

Os motores de 4 tempos são uma das tecnologias de motores de combustão interna mais comuns e amplamente utilizados em veículos automotivos, motocicletas, barcos e em muitas outras aplicações industriais.

Neste tipo de motor, Brunetti (2018) nos diz que “o pistão percorre quatro cursos, correspondendo a duas voltas da manivela do motor, para que seja completado um ciclo”. Esses quatro cursos (ciclos) compreendem: a admissão de ar e combustível, ou somente ar; a compressão; a combustão; e a exaustão dos gases resultantes da combustão. Este processo é controlado por um sistema de válvulas (admissão e escape) que regulam a entrada e saída de ar e combustível no cilindro do motor.

A Figura 3 ilustra os quatro tempos de um motor de combustão interna por ignição de centelha.

Figura 3 - Os 4 tempos do motor a combustão interna por ignição de centelha



Fonte: Martins (2013).

### 2.2.3 Combustíveis usados em motores a combustão interna

Segundo Martins (2013), “Os motores de ignição comandada (ciclo tipo Otto) geralmente queimam combustível produzido a partir do petróleo bruto, a gasolina.” Porém, mesmo sendo o combustível mais tradicional e utilizado, nos automóveis brasileiros ainda temos o etanol, diesel e gás natural veicular (GNV).

### 2.2.3.1 Gasolina

Segundo Brunetti (2018), a gasolina é o resultado de uma combinação de várias frações de nafta derivadas do refinamento do petróleo. E para assegurar seu desempenho eficaz em diversas situações de operação de motores, é dada uma cuidadosa atenção à harmonização das propriedades dessa mistura. Ela é composta principalmente por hidrocarbonetos com diferentes números de carbono, variando de quatro a doze, mas a maioria desses componentes situa-se na faixa de cinco a nove átomos de carbono.

Um dos fatores mais importantes da gasolina é a octanagem, que indica sua resistência à detonação (*misfire*). Ainda segundo Brunetti (2018), a detonação é a grandeza que representa a resistência da mistura do combustível com ar à autoignição, responsável pela detonação.

A gasolina de alta octanagem é mais resistente a este tipo de falha e é geralmente usada em motores de alta compressão ou de alto desempenho. Por outro lado, a gasolina de menor octanagem é usada em motores de baixa compressão.

### 2.2.3.2 Etanol

O etanol é um biocombustível produzido a partir de matérias-primas renováveis, “Álcoois como o etanol podem ser produzidos por fermentação de diferentes matérias-primas biológicas” (OLANREWAJU et al. 2021) como cana-de-açúcar, milho, beterraba e outras culturas.

Além de ser um combustível renovável, o etanol é considerado uma alternativa mais limpa e renovável aos combustíveis fósseis, uma vez que sua queima emite menos gases do efeito estufa e outros poluentes.

De acordo com (THOMAS, 2004, apud AGUIAR et al. 2015), houve uma medida global muito importante e oportuna para diminuir as emissões dos veículos que consistiu em adicionar álcool etílico à gasolina. Isso ajudou a reduzir as emissões de chumbo, que era um elemento adicionado anteriormente para melhorar o desempenho dos motores, aumentando sua potência e reduzindo o consumo de combustível. No entanto, o chumbo era altamente tóxico e foi definitivamente

proibido na década de 90.

O etanol por sua vez, pode ser usado puro como combustível ou misturado com gasolina em diferentes proporções, dependendo das regulamentações e especificações vigentes.

A produção de etanol é um setor da indústria importante em muitos países, e principalmente no Brasil, pois fornece uma fonte de energia renovável e ajuda a diversificar a matriz energética nacional.

Além destas vantagens ambientais, o “poder calorífico inferior do etanol permite que ele tenha uma taxa de compressão mais alta em comparação com a gasolina.” (OLANREWAJU et al. 2021), o que permite extrair mais potência nos motores por ter características antidetonantes que permitem que o motor trabalhe com taxas de compressão maiores. Isso também evidencia-se com a busca por preparadores automotivos pela conversão de motores a gasolina para etanol.

#### 2.2.3.3 Diesel

Sobre a composição do óleo diesel, Brunetti (2018) nos mostra que ela incorpora correntes convencionais provenientes da destilação atmosférica, como a nafta pesada, querosene, diesel leve e diesel pesado. Além disso, inclui correntes hidrotratadas, como o óleo leve de reciclo (LCO) derivado do processo de craqueamento catalítico, juntamente com a nafta pesada de coque e os gasóleos de coque resultantes do processo de coqueamento retardado.

Uma das principais características do diesel segundo Brunetti (2018) é o seu alto poder calorífico, ou seja, a quantidade de energia liberada quando é queimado. Esse poder calorífico mais elevado em comparação com outros combustíveis, como a gasolina, é uma das razões pelas quais os motores a diesel têm maior eficiência térmica.

Sobre a sua utilização, Brunetti (2018) ainda nos descreve que os motores a diesel são conhecidos por sua eficiência econômica a longo prazo e durabilidade, porém requerem um investimento inicial maior e tendem a apresentar uma operação menos suave. São comumente encontrados em veículos de grande porte, como: caminhões; ônibus; embarcações marítimas; locomotivas; maquinário agrícola e de construção; instalações estacionárias; e, em certos casos, em automóveis.

### 2.2.3.4 Gás Natural Veicular

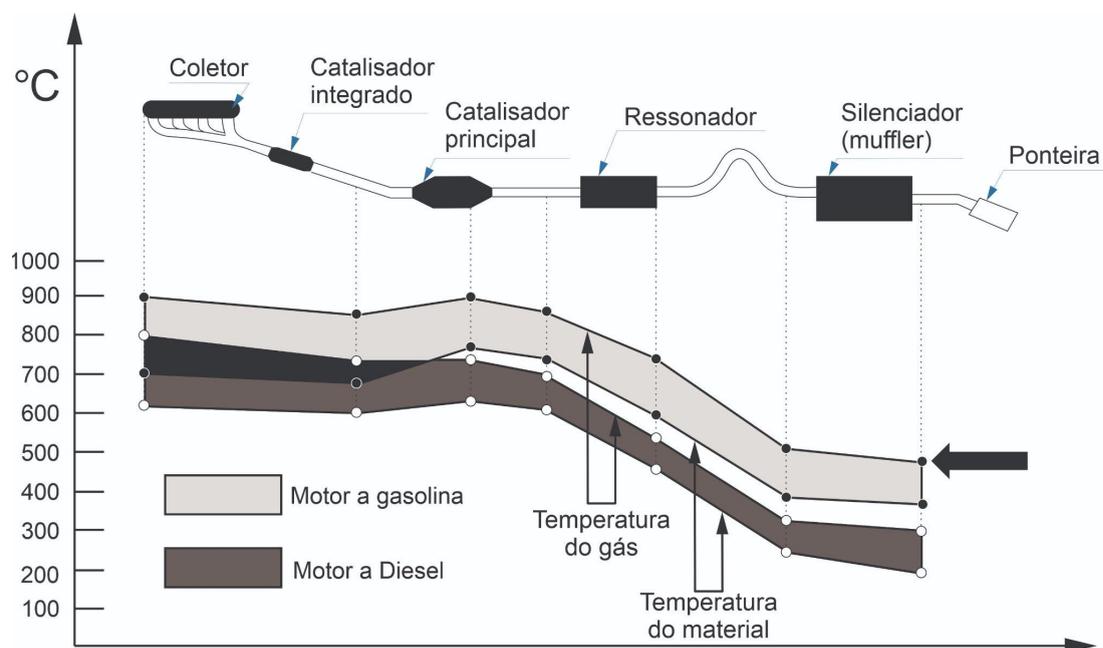
O Gás Natural Veicular (GNV) é um combustível alternativo usado em veículos automotores. É obtido principalmente a partir de depósitos subterrâneos de gás natural. Ele passa por um processo de purificação e compressão para ser utilizado como combustível veicular.

O GNV, embora seja um combustível não renovável, encontra aplicação em diversas áreas, como na produção de eletricidade, em motores de combustão, e na geração de calor e vapor. Em comparação com outros combustíveis derivados do petróleo e do carvão, o GNV é consideravelmente mais amigável ao meio ambiente durante a sua utilização, uma vez que possui baixos níveis de poluentes, como compostos à base de enxofre, e seu processamento é relativamente simples. (ANEEL, 2008).

### 2.2.4 Temperatura do escapamento em motores a combustão interna

Rajadurai et al. (2014) nos mostra um exemplo típico de um sistema de escape e o seu histograma térmico em temperaturas máximas do material e do gás em veículos de ciclo Diesel e Otto (gasolina) ilustrado na Figura 4.

Figura 4 - Temperaturas máximas nos componentes do escapamento



Fonte: Rajadurai et al. (2014)

### 2.2.5 Emissões de poluentes em motores a combustão interna

De acordo com Martins (2013), os gases de escape produzidos por um motor a gasolina possuem uma composição característica, composta por diferentes componentes com distintas propriedades. Entre eles, podemos identificar elementos com caráter redutor, como o hidrogênio ( $H_2$ ), monóxido de carbono (CO) e hidrocarbonetos não queimados (HC). Também estão presentes componentes com caráter oxidante, como oxigênio ( $O_2$ ), óxidos de nitrogênio ( $NO_x$ ) e dióxido de nitrogênio ( $NO_2$ ), além de gases inertes, como dióxido de carbono ( $CO_2$ ), água ( $H_2O$ ) e nitrogênio ( $N_2$ ). Além disso, é comum que sejam geradas partículas sólidas (PM) durante o processo de combustão.

Dentre esses constituintes, são considerados poluentes o monóxido de carbono (CO), os óxidos de nitrogênio ( $NO_x$ ), os hidrocarbonetos não queimados (HC) e as partículas sólidas (PM).

Martins (2013) também destaca que a quantidade de poluentes emitidos pelo motor está diretamente relacionada com a riqueza da mistura utilizada. Em geral, quanto mais pobre a mistura, menor será a emissão de poluentes, exceto no caso dos hidrocarbonetos não queimados (HC). Isso ocorre porque, a partir de um determinado valor de pobreza da mistura, ocorrem ciclos sem combustão, o que resulta em um aumento na emissão de HC.

Nessa situação, a maior parte da mistura é expulsa pelo escape, o que eleva de forma significativa a emissão desses poluentes. Por isso, é importante considerar não só a riqueza da mistura, mas também outros fatores que possam influenciar na combustão adequada e na minimização da emissão de poluentes pelos gases de escape do motor.

O CO, como destaca Martins (2013), “é um gás venenoso responsável por mortes ocorridas em garagens ou em lugares pouco ventilados onde se produzem combustões com falta de renovação de ar (salas com lareiras, etc.)” Como no caso das oficinas mecânicas.

### 2.2.6 Falha no funcionamento dos motores a combustão interna

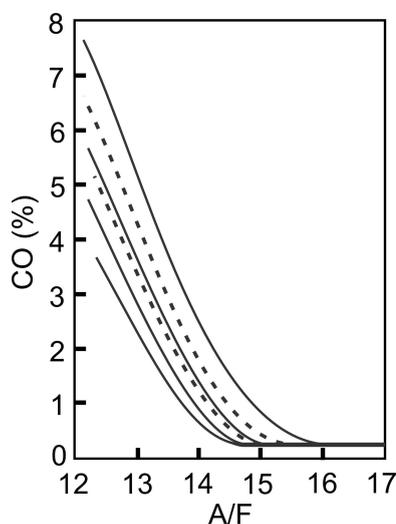
Um dos principais fatores que podem influenciar na combustão adequada, como mostrado no item anterior, é a riqueza da mistura utilizada. Esta mistura está

totalmente atrelada ao bom funcionamento dos sensores e atuadores responsáveis pelo gerenciamento do motor.

Sobre os sistemas de injeção, Martins (2013) nos diz que um sistema de injeção deve ser capaz de avaliar a quantidade de ar que está sendo aspirada e, em proporção a isso, injetar a quantidade adequada de combustível. Para medir a massa de ar, por exemplo, é utilizado um sensor específico. Com base nesses dados gerados pelos sensores, são gerados sinais que determinam a pressão de alimentação dos injetores de forma contínua ou em impulsos de fluxo com duração variável em caso de injeção intermitente (sinais PWM).

Portanto, quando os sensores e atuadores do motor funcionam corretamente, é possível obter uma combustão mais eficiente e reduzir a emissão de poluentes pelos gases de escape. Por outro lado, se esses componentes apresentarem falhas ou estiverem desregulados, o desempenho do motor será comprometido e a emissão de poluentes será maior, como observado na Figura 5, a influência da mistura A/F com a emissão de CO.

Figura 5 - Influência do A/F na emissão de CO



Fonte: Adaptado de Martins (2013).

### 2.3 Normas e regulamentações ambientais referentes a gases tóxicos

Este capítulo tem como objetivo agrupar normas e regulamentações pertinentes sobre o tema abordado no presente trabalho com o intuito de embasar o estudo.

### 2.3.1 Resolução CONAMA nº491 de 19 de Novembro de 2018

O Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA) através da Resolução nº 491, de 19 de novembro de 2018 que dispõe sobre padrões de qualidade do ar, em seu artigo 2º nos diz

“**Art. 2º** Para efeito desta resolução são adotadas as seguintes definições:

I - poluente atmosférico: qualquer forma de matéria em quantidade, concentração, tempo ou outras características, que tornem ou possam tornar o ar impróprio ou nocivo à saúde, inconveniente ao bem-estar público, danoso aos materiais, à fauna e flora ou prejudicial à segurança, ao uso e gozo da propriedade ou às atividades normais da comunidade;”

Além disso, “Adota-se como unidade de medida de concentração dos poluentes atmosféricos o micrograma por metro cúbico ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ) com exceção do Monóxido de Carbono que será reportado como partes por milhão (ppm).” (BRASIL, 2018).

### 2.3.2 Resolução da ANVISA nº 09, de 16 de Janeiro de 2003 (RE-09)

A Agência Nacional de Vigilância Sanitária (ANVISA) através da resolução (RE) nº 09, de 16 de Janeiro de 2003 que dispõe sobre os padrões referenciais de qualidade do ar Interior em ambientes climatizados artificialmente de uso público e coletivo, descreve definições importantes sobre o tema:

**a) Aerodispersóides:** sistema disperso, em um meio gasoso, composto de partículas sólidas e/ou líquidas. O mesmo que aerosol ou aerossol.

**b) Ambiente aceitável:** ambientes livres de contaminantes em concentrações potencialmente perigosas à saúde dos ocupantes ou que apresentem um mínimo de 80% dos ocupantes destes ambientes sem queixas ou sintomatologia de desconforto<sup>2</sup>.

**c) Ambientes climatizados:** são os espaços fisicamente determinados e caracterizados por dimensões e instalações próprias, submetidos ao processo de climatização, através de equipamentos.

**d) Ambiente de uso público e coletivo:** espaço fisicamente determinado e aberto a utilização de muitas pessoas.

**e) Ar condicionado:** é o processo de tratamento do ar, destinado a manter os requerimentos de Qualidade do Ar Interior do espaço condicionado, controlando variáveis como a temperatura, umidade, velocidade, material particulado, partículas biológicas e teor de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>).

**f) Padrão Referencial de Qualidade do Ar Interior:** marcador qualitativo e quantitativo de qualidade do ar ambiental interior, utilizado como sentinela para determinar a necessidade da busca das fontes poluentes ou das intervenções ambientais

**g) Qualidade do Ar Ambiental Interior:** Condição do ar ambiental de interior, resultante do processo de ocupação de um ambiente fechado com

ou sem climatização artificial.

**h) Valor Máximo Recomendável:** Valor limite recomendável que separa as condições de ausência e de presença do risco de agressão à saúde humana.”

A ANVISA, em seus padrões referenciais presentes na RE-09, recomenda como valor máximo para o conforto e bem estar 1000 ppm de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>). Para aerodispersóides, o indicador de grau de pureza do ar e limpeza do ambiente climatizado não deve ultrapassar 80 µg/m<sup>3</sup> (BRASIL, 2003).

Ainda, segundo o autor supracitado, as principais medidas de correção em ambientes interiores para agentes químicos provenientes de combustão no que tange o tema do presente trabalho são “manter a captação de ar exterior com baixa concentração de poluentes; restringir as fontes de combustão; manter a exaustão em áreas em que ocorre combustão” (BRASIL, 2003).

É importante ressaltar que todas as normas regulamentadoras, resoluções e leis devem ser fiscalizadas por órgãos competentes. Tendo isso em vista, (BRASIL, 2003) adota orientações técnicas de amostragem e coleta de dados, e

“Recomenda que os órgãos competentes de Vigilância Sanitária com o apoio de outros órgãos governamentais, organismos representativos da comunidade e dos ocupantes dos ambientes climatizados, utilizem esta Orientação Técnica como instrumento técnico referencial, na realização de inspeções e de outras ações pertinentes nos ambientes climatizados de uso público e coletivo.”

### 2.3.3 NBR 16.401 (2008)

A Norma Brasileira (NBR) 16.401 de 2008 tem seu foco dividido em 3 partes: 1) projeto de instalações de ar condicionado; 2) parâmetros de conforto térmico em ambientes condicionados; e, 3) qualidade do ar interior.

Esta norma além dos pontos já mencionados, também é importante para o dimensionamento do projeto por definir características de construção. A NBR 16.401-3 no capítulo 7.4.2 discorre que “A carcaça do ventilador deve promover condições de acesso para permitir a limpeza interna, como, por exemplo, porta de inspeção” (BRASIL, 2008).

E sobre os dutos, BRASIL (2008) na NBR 16.401-1 define que

**“10.3.1.1** Dutos metálicos devem ser construídos de chapa de aço galvanizado grau B, com revestimento de 250 g/m<sup>2</sup> de zinco, conforme ABNT NBR 7008. [...]”

**10.3.1.4** Os dutos de sistemas de exaustão de fumaça e sistemas de exaustão em processos industriais devem atender às Normas específicas.”

E sobre os dutos flexíveis, BRASIL (2008) ainda na NBR 16.401-1 define que

**“10.3.2.2** Os dutos flexíveis devem ser instalados de forma a permitir sua retirada para limpeza e reinstalação com facilidade.

**10.3.2.3** Os dutos flexíveis devem ser instalados, conforme orientação do fabricante, sem excesso de comprimento, sem atravessar instalações ou acessórios de alta temperatura, sem serem expostos às intempéries ou dobrados na saída dos colarinhos, de forma mais retilínea possível.”

#### 2.3.4 Norma Regulamentadora nº 15 (1978)

A Norma Regulamentadora (NR) 15 dispõe sobre a saúde no ambiente de trabalho. Em seu anexo 11, esta norma nos mostra limites de tolerância de agentes químicos no ar para uma condição saudável de trabalho.

Indo ao encontro da RE-09 da ANVISA, BRASIL (1978) em sua NR-15, estabelece que, para uma jornada de trabalho de 48h semanais, o limite máximo de CO<sub>2</sub> é 3900 ppm. Sendo este limite ultrapassado, o grau de insalubridade a ser considerado seria mínimo.

Já para o CO, BRASIL (1978) estabelece que o limite máximo nesta jornada de trabalho semanal seja de 39 ppm. Se ultrapassado, considera-se como grau de insalubridade máximo.

BRASIL (1978) no artigo 15.4.1 da NR-15 estabelece:

**“15.4.1** A eliminação ou neutralização da insalubridade deverá ocorrer:

- a)** com a adoção de medidas de ordem geral que conservem o ambiente de trabalho dentro dos limites de tolerância;
- b)** com a utilização de equipamento de proteção individual.”

Neste sentido, o presente trabalho se encaixa no item “a” do artigo supracitado.

#### 2.3.5 Norma ABNT ISO 8178

Esta norma trata especificamente dos métodos e procedimentos de medição para a determinação de níveis de emissão em motores alternativos de combustão interna, porém, não automotivo.

BRASIL (2012) nos diz que esta seção da ABNT NBR ISO 8178 tem como objetivo servir como um método de medição para determinar os níveis de emissão de gases e partículas de motores alternativos de combustão interna que não se destinam ao uso automotivo. Seu propósito é fornecer um perfil das características de emissões do motor que, por meio do uso de fatores de ponderação apropriados, pode ser utilizado como uma indicação dos níveis de emissão do motor em diversas aplicações. Mostrando que esta é uma norma voltada mais para o ambiente laboratorial.

## **2.4 Ventilação industrial**

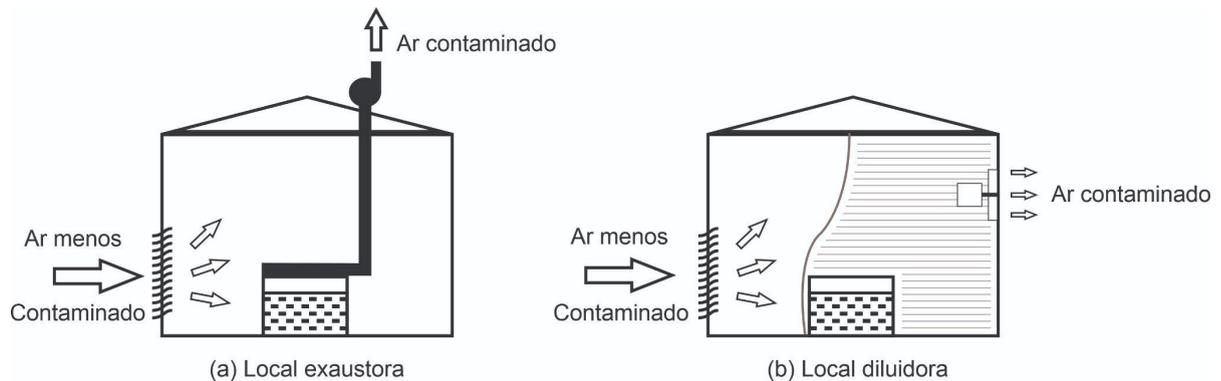
De acordo com Clezar e Nogueira (2009), a ventilação é um campo de conhecimento técnico que é extensamente empregado em processos produtivos industriais e em medidas de proteção ambiental. No que tange a locais destinados à presença de pessoas, a ventilação é um recurso fundamental para lidar com questões relacionadas à segurança e ao conforto.

Segundo o autor supracitado, ventilar é o processo de troca de ar em um ambiente fechado. Se essa troca acontece de forma natural, é chamada de ventilação natural. Por outro lado, se é promovida por meio de equipamentos mecânicos, é conhecida como ventilação mecânica.

### **2.4.1 Sistema de ventilação local exaustora**

Macintyre (1990) nos mostra que a ventilação local exaustora (VLE) é realizada através de um captor de ar junto à fonte poluidora. Deste modo, removendo o ar do ambiente para a atmosfera por meio de um sistema exaustor. A Figura 6 ilustra a ventilação local exaustora em comparação com a ventilação geral diluidora.

Figura 6 - Ventilação local exaustora e ventilação geral diluidora



Fonte: Adaptado de Clezar e Nogueira (2009).

Nesse sentido, a VLE foi considerada ideal para o presente trabalho tendo em vista o conhecimento e localização da fonte poluidora no interior do ambiente.

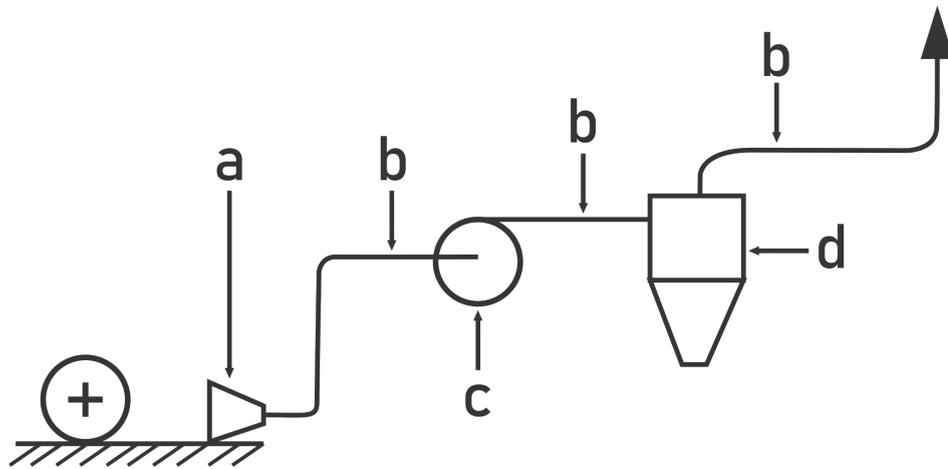
Os elementos que compõem o sistema de ventilação são divididos em quatro partes distintas:

- **Captor:** é a parte do sistema que atrai os contaminantes para dentro do equipamento. A eficiência do sistema de ventilação é fortemente influenciada pela qualidade do captor, que pode variar de acordo com a complexidade do equipamento em que está instalado.
- **Dutos:** são responsáveis por direcionar o ar contaminado da fonte para o reservatório coletor.
- **Ventilador:** é responsável por fornecer a energia necessária para movimentar o ar contaminado pelo sistema.
- **Coletor:** é o equipamento que remove e armazena os contaminantes do fluxo de ar, evitando a poluição atmosférica.

(CLEZAR, NOGUEIRA, 2009 apud KUNZLER, 2022)

Para um melhor entendimento no sistema, estes componentes são mostrados na Figura 7.

Figura 7 - Componentes de um sistema de VLE. Captor (a), Dutos (b), Ventilador (c), Coletor (d).



Fonte: Adaptado de Clezar e Nogueira (2009).

#### 2.4.2 Captor

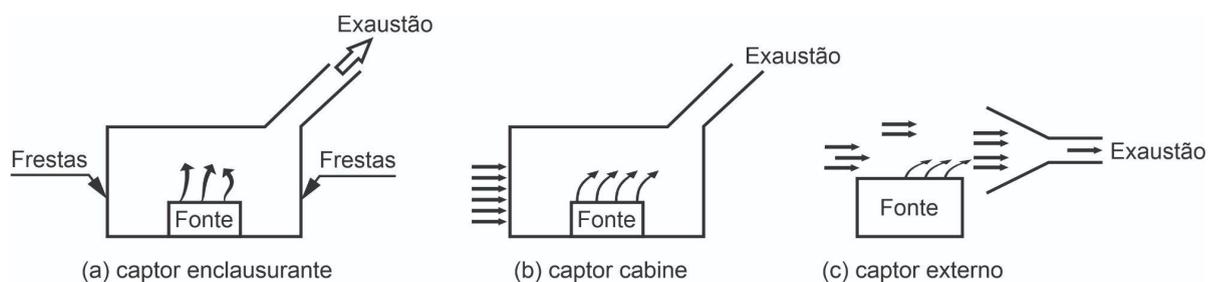
De acordo com Macintyre (1990), o captor é um dispositivo que através da diferença de pressão entre o ar ambiente e o existente no captor, forma-se uma corrente para o interior do mesmo. Corrente esta, que prossegue pelos dutos até o ventilador.

Clezar e Nogueira (2009) nos trazem 3 classificações para os captores:

- Captor enclausurante;
- Captor cabine;
- Captor externo.

Os três modelos de captores podem ser observados na Figura 8.

Figura 8 - Tipos de captores.



Fonte: Adaptado de Clezar e Nogueira (2009).

A velocidade de captura recomendada para cada tipo de operação é apresentada na Tabela 2.

Tabela 2 - Classificação dos ventiladores

Condição de dispersante do contaminante	Velocidade de captura (m/s)
Sem velocidade inicial no ar parado	0,25 a 0,5
Geração no interior de cabines	0,5 a 1,0
Geração com velocidade inicial baixa	0,5 a 1,0
Geração ativa	1,0 a 2,5
Geração com grande força	2,5 a 10

Fonte: Adaptado de Clezar e Nogueira (2009).

### 2.4.3 Dutos

Segundo Macintyre (1990) apud Kunzler (2022), a configuração dos dutos de um sistema de ventilação deve visar o direcionamento do ar e das substâncias poluentes, tanto em circunstâncias de alta como de baixa pressão, levando em conta a suposição de que o fluido é incompressível.

O projeto é baseado no princípio da conservação de energia para os fluidos em movimento e na equação da continuidade, que são expressos através da equação de Bernoulli.

Também, é importante levar em consideração as normas vigentes sobre o assunto, como por exemplo a NBR 16.401 de 2008.

Para o cálculo da vazão, utiliza-se a equação (1) em que:  $Q$  = vazão ( $m^3/s$ ),  $v$  = velocidade ( $m/s$ ),  $A$  = área ( $m^2$ ).

$$Q = vA \quad (1)$$

Para o cálculo da área transversal do tubo circular, utiliza-se a equação (2) em que:  $A$  = área ( $m^2$ ),  $d$  = diâmetro ( $m$ ).

$$A = \frac{\pi d^2}{4} \quad (2)$$

Para o cálculo do dimensionamento dos dutos do sistema de exaustão, emprega-se a equação (2), que envolve a aplicação da fórmula da área para determinar o diâmetro. Para isso, isolou-se o valor do diâmetro em metros, resultando na equação (3).

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

Onde:

$Q$ : vazão (m<sup>3</sup>/s);

$V$ : velocidade (m/s);

$A$ : área (m<sup>2</sup>);

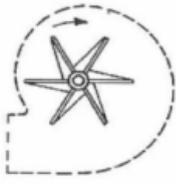
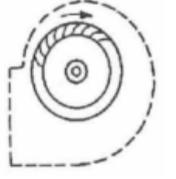
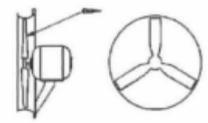
$D$ : diâmetro (m).

#### 2.4.5 Ventilador

Os ventiladores são dispositivos mecânicos projetados para gerar o movimento e o deslocamento dos gases. Eles são responsáveis por fornecer energia ao fluxo de ar, utilizando energia mecânica proveniente de um motor elétrico. Essa energia é convertida em energia cinética e energia potencial de pressão, resultando na movimentação e no transporte dos gases. Em resumo, os ventiladores são máquinas que impulsionam e direcionam o ar, promovendo a ventilação e a circulação adequadas em ambientes ou sistemas específicos.

De acordo com Clezar e Nogueira (2009) apud Kunzler (2022), existem duas categorias de ventiladores: os centrífugos e os axiais. No caso dos ventiladores centrífugos, o fluxo de ar ocorre principalmente em direção radial, enquanto nos ventiladores axiais, o fluxo é predominantemente paralelo ao eixo. O Quadro 1 apresenta os diversos tipos de ventiladores presentes em cada uma dessas duas categorias, juntamente com suas características distintas.

Quadro 1 - Classificação dos ventiladores

<b>Ventiladores centrífugos</b>		<b>Ventilador centrífugo de pás radiais</b>	Ventilador robusto, indicado para movimentar ar com grande carga de particulado. Possui baixa eficiência.
		<b>Ventilador centrífugo de pás inclinadas para frente</b>	Apesar de ter uma eficiência mais elevada que o de pás retas, não é adequado para trabalhar com ar contendo material particulado. Ocupa pouco espaço para sua instalação. Utilizado com frequência na VGD e na ventilação para conforto.
		<b>Ventilador centrífugo de pás inclinadas para trás</b>	Ventilador com mais altas rotações dentre os apresentados. Apresenta a eficiência mais elevada. Indicado para movimentar grandes vazões de ar com pequenos diferenciais de pressão.
<b>Ventiladores axiais</b>		<b>Ventilador axial propulsor</b>	Indicado para movimentar grandes vazões de ar com pequenos diferenciais de pressão. Apresenta grande simplicidade construtiva e baixo custo. Sua instalação é feita, normalmente, sem duto. É bastante utilizado na VGD.
		<b>Ventilador de tubo axial</b>	Trabalha com diferenciais de pressão maiores do que o axial propulsor. Apresenta grande rendimento.

Fonte: Adaptado de Clezar e Nogueira (2009)

#### 2.4.6 Perdas de carga

O atrito com as paredes internas de um duto resulta na perda de velocidade de todo o fluxo. Esse fenômeno ocorre quando as partículas localizadas nas áreas próximas às bordas entram em contato com as superfícies internas do duto, o que desacelera o movimento do fluido. À medida que essas partículas já mais lentas interagem com as demais partículas do fluido, surgem efeitos de viscosidade e turbulência que reduzem a energia do escoamento de maneira geral. (ZANINI, 2016 apud KUNZLER, 2022).

As perdas de carga podem ser descritas pelas seguintes equações:

$$\Delta P = K \cdot P_v \quad (4)$$

$$P_v = 12Q \cdot V^2 \quad (5)$$

Onde:

$\Delta P$ : Perda de carga, Pa;

K: coeficiente de perda de carga no captor;

V: velocidade de captura, m/s;

$P_V$ : Pressão de velocidade, Pa;

$\rho$  : massa específica do ar, kg/m<sup>3</sup>

Para determinação da perda de carga distribuída nos trechos lineares dos dutos, utiliza-se a seguinte equação:

$$\Delta P = f \left( \frac{l}{D} \right) \left( \frac{\rho V^2}{2} \right) \quad (6)$$

Onde:

V : a velocidade do escoamento, m/s;

L : o comprimento linear, m;

D : diâmetro do duto, m;

f: fator de atrito;

$\rho$  : massa específica do ar, Kg/m<sup>3</sup>.

Para determinar o fator de atrito  $f$  presente na equação (6), utiliza-se as equações:

$$f = a + b \cdot Re^{-c} \quad (7)$$

$$a = 0,53 \cdot \left( \frac{\varepsilon}{D} \right) \quad (8)$$

$$b = 88 \cdot \left( \frac{\varepsilon}{D} \right)^{0,44} \quad (9)$$

$$c = 1,62 \cdot \left( \frac{\varepsilon}{D} \right)^{0,134} \quad (10)$$

$$Re = \frac{\rho \cdot V \cdot D}{\mu} \quad (11)$$

Onde:

$\varepsilon$  : rugosidade do material (Tabela 3);

D : diâmetro do duto, m;

$V$  : velocidade do escoamento, m/s;

$\rho$  : massa específica do ar, kg/m<sup>3</sup>;

$\mu$  : viscosidade absoluta do ar.

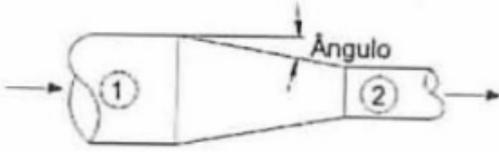
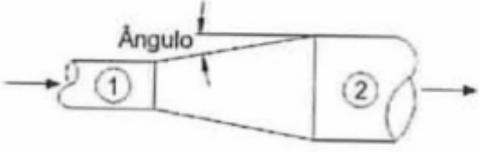
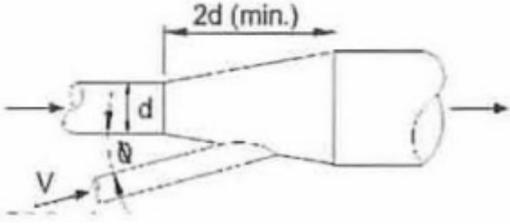
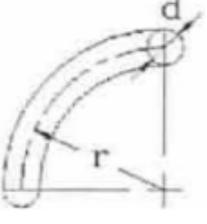
Tabela 3 – Rugosidade de alguns materiais de construção para dutos

<b>Material do Duto</b>	<b>Rugosidade absoluta (mm)</b>
Aço carbono sem revestimento e limpo	0,003 a 0,05
PVC	0,01 a 0,05
Alumínio	0,04 a 0,06
Aço galvanizado, com costura longitudinal e espaçamento de juntas de 1,2 m	0,05 a 0,10
Aço galvanizado, construído por rolamento, com costura espiral e juntas a 3 m	0,06 a 0,12
Aço galvanizado, com costura em espiral, com 1, 2 ou 3 nervuras	0,09 a 0,12
Aço galvanizado, com costura longitudinal, e junta a 760 mm	0,15
Duto rígido de fibra de vidro	0,9
Duto revestido internamente com fibra de vidro	1,5
Duto metálico flexível totalmente estendido	1,2 a 2,1
Duto flexível de tecido e fio, totalmente estendido	1,0 a 4,6
Concreto	1,3 a 3,0

Fonte: ASHRAE (2001).

Para curvas, a perda de carga pode ser obtida pela razão entre o raio e o diâmetro do duto, de acordo com a Tabela 4.

Tabela 4 - Perdas de carga nos acessórios

Reduções graduais		Expansões graduais	
			
Ângulo em graus	Coefficiente de perda de carga K	Ângulo em graus	Coefficiente de perda de carga K
5	0,05	3,5	0,22
10	0,06	5,0	0,28
15	0,08	10,5	0,44
20	0,10	15,0	0,58
25	0,11	20,0	0,72
30	0,13	25,0	0,87
45	0,20	30,0	1,00
60	0,30	Mais de 30	1,00
Entrada de ramal secundário		Curvas	
			
Ângulo em graus	Coefficiente de perda de carga K	r/d	Coefficiente de perda de carga K
10	0,06	2,75	0,25
15	0,09	2,50	0,22
20	0,12	2,25	0,26
25	0,15	2,00	0,27
30	0,18	1,75	0,32
35	0,21	1,50	0,39
40	0,25	1,25	0,55

Fonte: Adaptado de Clezar e Nogueira (2009).

#### 2.4.6.1 Perdas de carga localizadas

De acordo com Macintyre (1990), ao longo dos dutos de um sistema de ventilação/exaustão, encontram-se certas formas e componentes que contribuem para o aumento da resistência do fluxo no sistema. Esses elementos podem incluir aberturas de entrada ou saída, grelhas de insuflamento, curvas, cotovelos, alargamentos e reduções, bem como filtros.

### 2.5 Sistemas de exaustão veiculares no mercado

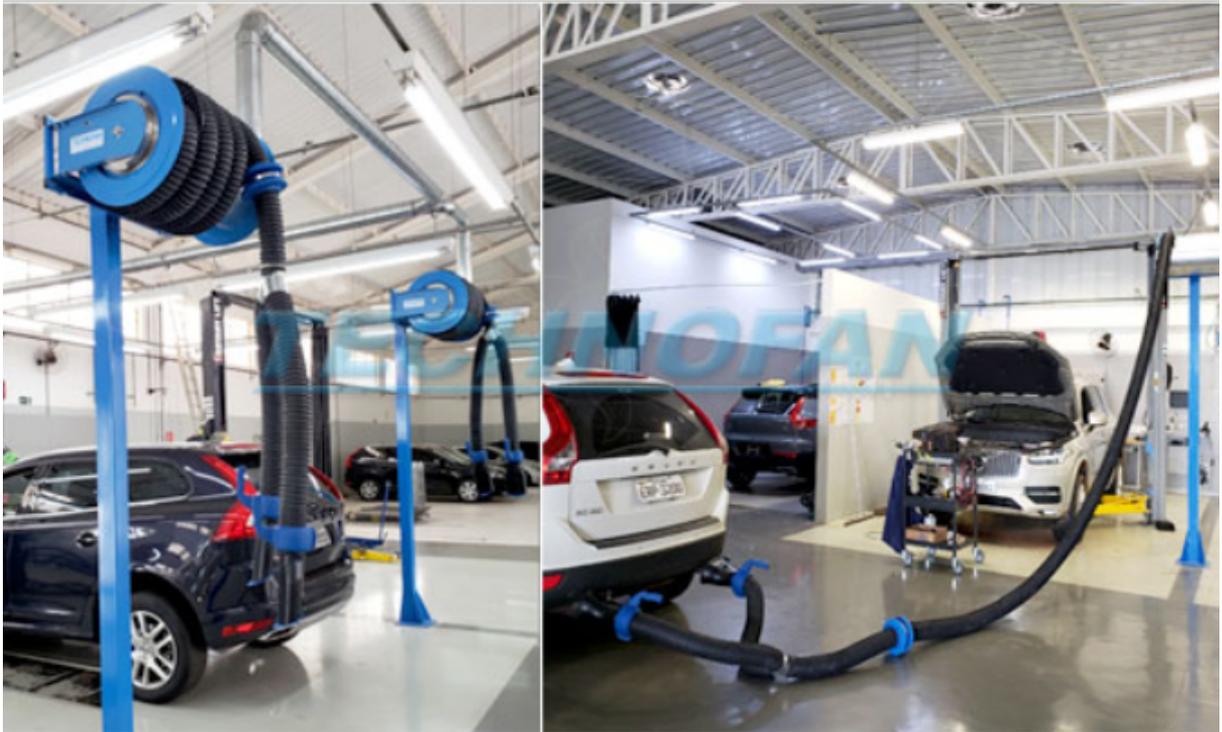
Hoje, há no mercado uma variedade de opções para o problema abordado neste trabalho. Como por exemplo, uma solução da empresa LUFTMÁXI® mostrado na Figura 9. E da TECHNOFAN®, mostrado na Figura 10.

Figura 9 - Exaustor Luftmáxi®



Fonte: Luftmáxi®

Figura 10 - Exaustor Technofan®



Fonte: Technofan®

Porém, são utilizados em concessionárias. Enquanto o foco deste trabalho é o uso de exaustores em oficinas mecânicas independentes.

### 3 METODOLOGIA

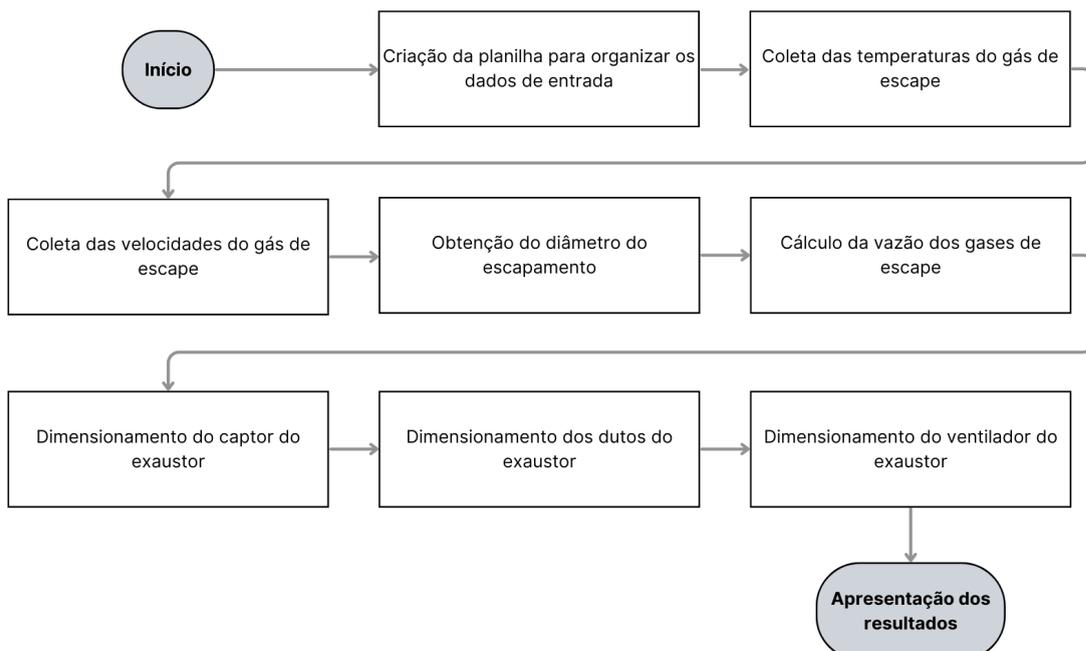
De acordo com Sampieri et al. (2013), uma pesquisa de natureza quantitativa emprega a obtenção de informações como meio de verificar suposições, fundamentando-se em medidas numéricas e análises estatísticas para identificar padrões e validar teorias.

Deste modo, a presente pesquisa toma forma como quantitativa por sua natureza aplicada. Os valores de entrada foram obtidos por meio de dispositivos de medição em amostras, que serão abordados no item 3.2 deste capítulo.

#### 3.1 Fluxograma do trabalho

Criou-se um fluxograma para representar de forma visual e organizada as etapas do presente trabalho. Ele descreve a criação de uma planilha até a coleta de dados, e apresentação dos resultados. O fluxograma permitiu uma melhor compreensão do fluxo de trabalho, auxiliando na gestão do tempo e recursos, bem como na identificação de possíveis problemas ou lacunas durante o processo. O fluxograma é mostrado na Figura 11.

Figura 11 - Fluxograma do trabalho



Fonte: Elaborado pelo autor (2023).

## 3.2 Coleta de dados de entrada

Para o dimensionamento de um sistema de exaustão, é necessário ter em mãos os seguintes dados de entrada: velocidade, temperatura e vazão do gás. Como previamente visto no referencial teórico.

A coleta de dados realizou-se da seguinte forma: testou-se 10 veículos (amostra) que estavam presentes na oficina no mesmo dia, mantendo assim, uma constância em relação à parâmetros externos que poderiam de alguma forma influenciar nos resultados; os veículos permaneceram parados com o motor em funcionamento em temperatura de trabalho; mediu-se as variáveis com o motor em sua rotação máxima recomendada pelas montadoras.

### 3.2.1 Planilha para os dados de entrada

Para facilitar a organização dos dados de entrada e seus cálculos criou-se uma planilha. Nesta ferramenta, estão catalogados os veículos da amostra com seus respectivos resultados obtidos nas coletas descritas nos próximos itens.

### 3.2.2 Temperatura do gás de escape

Utilizou-se a temperatura do gás de escape máxima na ponteira do escapamento, destacada na Figura 4, levando em consideração o motor a gasolina, por ter a temperatura mais elevada.

### 3.2.3 Coleta das velocidade do gás de escape

Obteve-se a velocidade do ar no interior do tubo de escapamento com o auxílio de um anemômetro YQ-Yi, mostrado na figura 12. Este aparelho é capaz de registrar a velocidade do fluxo de ar e, portanto, fornece dados sobre a velocidade do gás de escape. O anemômetro foi posicionado a aproximadamente 5cm do término do escapamento, conforme indicação de experimentos prévios, para não obstruir o fluxo do gás, garantindo a precisão da medição. Após a medição, inseriu-se a velocidade obtida na planilha.

Figura 12 - Da esquerda para a direita: Anemômetro e caneta esferográfica para fins de escala



Fonte: Elaborado pelo autor (2023).

### 3.2.4 Obtenção do diâmetro do escapamento

A determinação do diâmetro tem a sua importância tanto pelo cálculo da área transversal do tubo para a obtenção da vazão, quanto para o dimensionamento do captor do sistema de exaustão.

Neste trabalho, obteve-se o diâmetro com o auxílio de um paquímetro digital.

### 3.2.5 Cálculo da vazão dos gases de escape

Calculou-se a vazão utilizando o método de velocidade constante, aplicando o princípio de continuidade da equação de Bernoulli, conforme explicado no item 2.4.3. Utilizando a equação (1); a velocidade; e, a área obtida com o diâmetro dos tubos.

### 3.2.6 Dimensionamento do captor

Para o dimensionamento do captor do sistema de exaustão, é imprescindível ter o conhecimento da geometria dos tubos de escape utilizados no mercado nacional. É importante frisar que este trabalho não pretende atingir um nível de

universalidade quanto aos diversos modelos de automóveis presentes no nosso país. Levou-se em consideração, porém, a importância e objetivo de atender a maioria presente na amostra.

Dimensionou-se o captor utilizando a bibliografia presente no item 2.4.6 do presente trabalho, utilizando as equações de (4) e (5).

### 3.2.7 Dimensionamento dos dutos do exaustor

Para esta etapa, levou-se em consideração o livro Ventilação Industrial de Clezar e Nogueira (2009) como base bibliográfica, presentes nos itens: 2.4.3; 2.4.4 e, 2.4.6 do presente trabalho, utilizando as equações de (4) a (11).

### 3.2.8 Dimensionamento do ventilador do exaustor

O ventilador foi selecionado observando os critérios recomendados pela bibliografia básica, bem como a utilização de catálogos comerciais de fabricantes de ventiladores industriais.

## 4 ANÁLISE E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

### 4.1 Empresa estudada neste trabalho

A oficina mecânica objeto de estudo deste trabalho está localizada no município de Ipumirim, no estado de Santa Catarina. A empresa atua há mais de 15 anos no mercado e seu foco é em veículos leves, em sua grande maioria movidos à gasolina ou flex.

#### 4.1.1 Sistema de exaustão atual da empresa

A empresa estudada não possui nenhum tipo de sistema de exaustão de gases. Tendo inclusive, casos relatados de intoxicação leve. Sendo o mais recente causado por fumaça proveniente de testes em um automóvel durante uma manutenção corretiva.

Neste caso relatado, o proprietário e mecânico responsável por esta manutenção precisou se afastar da empresa por três dias, relatando tontura, náusea e dor na cabeça.

### 4.2 Categorização das normas técnicas sobre o tema

Conforme o item 2.3, pode-se caracterizar as normas técnicas de acordo com a Tabela 5.

Tabela 5 - Categorização das normas técnicas

<b>Norma/Resolução</b>	<b>Disposição</b>
Resolução CONAMA nº491/2018	Padrões de qualidade do ar
Resolução ANVISA nº 09/2003 (RE-09)	Padrões referenciais de qualidade do ar Interior em ambientes climatizados artificialmente de uso público e coletivo
NBR 16.401 (2008) Partes 1,2 e 3	1) projeto de instalações de ar condicionado; 2) parâmetros de conforto térmico em ambientes condicionados e; 3) qualidade do ar interior.

NR 15 (1978)	Saúde no ambiente de trabalho.
ABNT ISO 8178	Métodos e procedimentos de medição para a determinação de níveis de emissão em motores alternativos de combustão interna (não automotivo)

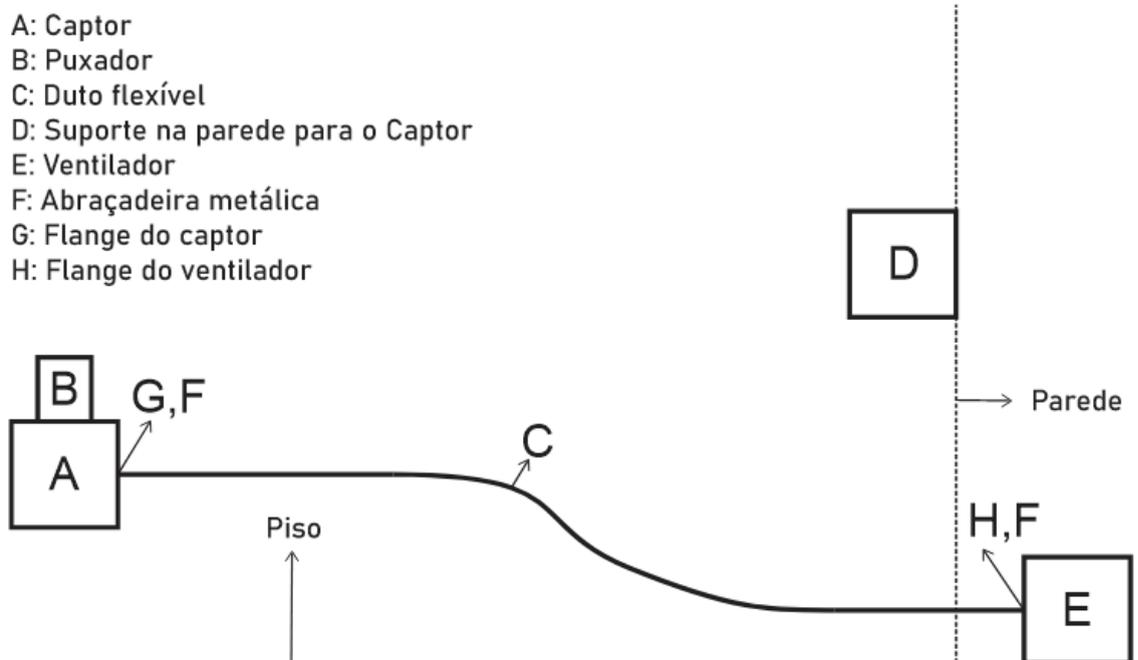
Fonte: Elaborado pelo Autor (2023).

### 4.3 Dimensionamento do sistema de exaustão

#### 4.3.1 Conceito do sistema de exaustão

O esboço inicial do sistema de exaustão é ilustrado na Figura 13. O Captor é encaixado no escapamento do automóvel e um ventilador realiza a diferença de pressão, concretizando na sucção do gás que tem o seu caminho na seguinte ordem: captor; duto flexível; pelo próprio ventilador; e, atmosfera.

Figura 13 - Conceito do sistema de exaustão



Fonte: Elaborado pelo Autor (2023).

#### 4.3.2 Planilha para os dados de entrada

A Tabela 6 foi plotada com os dados organizados da planilha descrita no item 3.2.1. Categorizando: o modelo do veículo; ano; quantidade de cilindros; cilindradas cúbicas (cc) em litros; combustível utilizado durante a obtenção dos dados; diâmetro interno do escapamento ( $D$ ); área transversal do escapamento ( $A$ ) obtida pelo diâmetro, através da equação (2); velocidade ( $v$ ) obtida conforme o item 3.2.3; e, a vazão do gás ( $Q$ ).

Tabela 6 - Dados da planilha destacando os maiores valores

Modelo	Ano	Cilindros	cc (L)	Combustível	$D$ (m)	$A$ (m <sup>2</sup> )	$v$ (m/s)	$Q$ (m <sup>3</sup> /s)
Montana	2005	4	1.8	Gasolina	0,0435	0,001486	17,3	0,0257
Gol	2001	4	1.0	Gasolina	0,0425	0,001419	10,3	0,0108
Pajero TR4	2010	4	2.0	Gasolina	0,058	0,002642	10,1	0,0267
Outlander	2015	6	3.0	Gasolina	0,0762	0,004560	14	0,0638
Focus	2009	4	2.0	Gasolina	0,058	0,002642	12,2	0,0322
Voyage	2015	4	1.0	Gasolina	0,0425	0,001419	10,1	0,0106

Fonte: Elaborado pelo Autor (2023).

#### 4.3.3 Temperatura do gás de escape

A temperatura utilizada para o dimensionamento provém da Figura (4), onde utilizou-se a temperatura máxima da ponteira, de aproximadamente 490°C. Onde o captor será acoplado.

Optou-se pela temperatura do motor a gasolina pois a mesma é maior em consideração ao motor diesel.

Para encontrar a densidade do ar nesta temperatura, empregou-se a equação (12).

$$\rho = \frac{P}{R \cdot T} \quad (12)$$

Onde:

$\rho$ : densidade do ar (kg/m<sup>3</sup>);

P: pressão absoluta ( $\text{kg/m}^2$ );

R: constante específica do gás ( $287,058 \text{ J/kg}\cdot\text{K}$ );

T: temperatura do gás (K).

Para uma pressão absoluta de 1 atm ( $101325 \text{ kg/m}^2$ ) e uma temperatura de  $490^\circ\text{C}$ , obteve-se uma densidade do ar de aproximadamente  $0,465 \text{ kg/m}^3$ . A qual utilizou-se para o dimensionamento do sistema de exaustão.

#### 4.3.4 Velocidades do gás de escape coletadas

As velocidades obtidas através do emprego do anemômetro estão plotados na Tabela 6. Para o dimensionamento do sistema de exaustão, utilizou-se a maior velocidade ( $17,3 \text{ m/s}$ ). Isso se deve ao fato de que o sistema de exaustão deve ser capaz de proporcionar uma sucção maior ou igual à maior velocidade do gás na saída do escapamento.

Para ter uma margem considerável, optou-se por utilizar no dimensionamento do sistema de exaustão uma velocidade de captura de  $25 \text{ m/s}$ . Um aumento de aproximadamente 45%.

#### 4.3.5 Diâmetros de escapamentos obtidos

Assim como as velocidades, os diâmetros medidos estão presentes na Tabela 6. Utilizou-se o maior diâmetro para o dimensionamento do captor. Evitando que o captor seja menor que a ponteira, comprometendo a sua função de enclausurar a fonte poluidora. Considerando isso, o diâmetro interno do captor deve ser maior que  $0,0762 \text{ m}$ .

#### 4.3.6 Cálculo da vazão dos gases de escape

Na Tabela 6, multiplicou-se as áreas pelas velocidades com o auxílio da equação (1) para se chegar na vazão resultante.

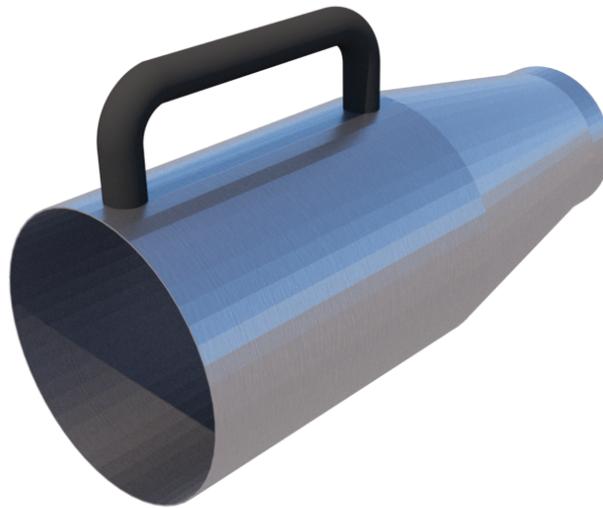
A maior vazão obtida foi de  $0,0638 \text{ m}^3/\text{s}$ .

#### 4.3.7 Dimensionamento do captor

A perda de carga por fator de entrada no captor foi desconsiderada no dimensionamento por ele não captar o gás no ambiente. Considerou-se que o gás já está direcionado para o interior do captor.

Porém, utilizou-se a perda de carga localizada por conta da redução de diâmetro no corpo do captor, como visto na Figura 14.

Figura 14 - Desenho do captor dimensionado



Fonte: Elaborado pelo Autor (2023).

As medidas do captor podem ser observadas na Tabela 7.

Tabela 7 - Medidas do captor

<b>Diâmetro maior</b>	<b>Diâmetro menor</b>	<b>Ângulo de redução</b>
150 mm	100 mm	9,5°

Fonte: Elaborado pelo Autor (2023).

Para a determinação desta perda de carga, levou-se em consideração a Tabela 4. Aproximando o ângulo da redução gradual para 10°, o coeficiente de perda de carga  $K$  corresponde a 0,06. Encontrando o resultado da equação (5) para estes dados e colocando este valor na equação (4), obteve-se a perda de carga total no captor de 8,72 Pa. Como mostrado na Tabela 8.

Tabela 8 - Perda de carga calculada no captor

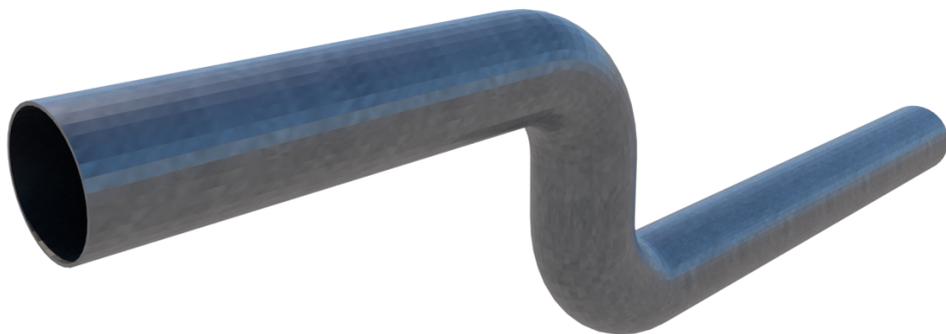
<b>Perda de carga no captor com velocidade de captura de 25 m/s</b>	
Diâmetro maior (m)	0,15
Diâmetro menor (m)	0,1
Coeficiente de perda de carga (K)	0,06
Velocidade de captura (m/s)	25
Massa específica do ar a 490°C (kg/m <sup>3</sup> )	0,465
<b>Resultados</b>	
<b>Equação (5) - Pv (Pa)</b>	145,3125
<b>Equação (4) - Perda de carga (Pa)</b>	<b>8,72</b>

Fonte: Elaborado pelo Autor (2023).

#### 4.3.8 Dimensionamento dos dutos

Por ser um duto flexível, não há como prever as perdas de carga em curvas. Porém, para o manejo técnico do equipamento estão previstas no máximo duas curvas, de acordo com o conceito da Figura 12 e, ilustrado na Figura 15.

Figura 15 - Desenho do duto flexível dimensionado



Fonte: Elaborado pelo Autor (2023).

Para o cálculo das perdas de carga, foi admitido que as duas curvas estarão no pior caso possível: 90°.

A determinação das perdas de carga do duto flexível, realizou-se em duas

partes: duto esticado (linear); e, duto curvo (duas curvas).

O duto flexível dimensionado possui 2,5 metros de comprimento e 0,1 metros de diâmetro.

#### 4.3.8.1 Perda de carga no duto linear

Para determinação da perda de carga distribuída nos trechos lineares dos dutos, utilizou-se as equações (7), (8), (9), (10) e (11) para obter o fator de atrito, e então aplicou-se na equação (6). Resultado em um fator de atrito igual a 0,01119017899 e uma perda de carga no valor de 40,65 Pa. Conforme visto na Tabela 9.

Tabela 9 - Perda de carga no duto flexível - linear

Rugosidade do material ( $\varepsilon$ ) (Tabela 3 - Duto metálico flexível totalmente estendido)	0,0021
Diâmetro (m)	0,1
Comprimento do duto (m)	2,5
Velocidade de captura (m/s)	25
Massa específica do ar a 490°C (kg/m <sup>3</sup> )	0,465
Viscosidade absoluta do ar ( $\mu$ )	0,000002779
<b>Resultados</b>	
a (equação 8)	0,01113
b (equação 9)	16,07900469
c (equação 10)	0,9653668915
Re (equação 11)	418315,941
<b>Fator de atrito (equação 7)</b>	<b>0,01119017899</b>
<b>Perda de carga (equação 6) (Pa)</b>	<b>40,65</b>

Fonte: Elaborado pelo Autor (2023).

#### 4.3.8.2 Perda de carga no duto curvado

Com base na hipótese já mencionada de duas curvas de 90°, podemos chegar através da Tabela 4 calculando a razão entre o raio de curvatura e o diâmetro do duto.

Considerando isso, utilizou-se como raio de curvatura ( $r$ ): 100 mm = 0,1 m; e, diâmetro do duto ( $d$ ): 100 mm = 0,1 m. Logo, a razão  $r/d$  é igual a 1. A Tabela 4 traz coeficientes de perda de carga até a razão  $r/d = 1,25$ . Tendo isso em vista, por razões de projeto, optou-se por utilizar  $K = 0,6$ .

Definido o valor de  $K$ , utilizou-se novamente as equações (4) e (5) para a determinação da perda de carga no duto curvo, resultando em 174,37 Pa. Como mostrado na Tabela 10.

Tabela 10 - Perda de carga no duto flexível - curvas

Diâmetro (m)	0,1
Velocidade de captura (m/s)	25
Massa específica do ar a 490 °C (kg/m <sup>3</sup> )	0,465
Coeficiente de perda de carga (K)	0,6
Quantidade de curvas	2
K total (K x quantidade de curvas)	1,2
<b>Resultados</b>	
<b>Equação (5) - Pv (Pa)</b>	<b>145,31</b>
<b>Equação (4) - Perda de carga (Pa)</b>	<b>174,37</b>

Fonte: Elaborado pelo Autor (2023).

#### 4.3.9 Perdas de carga totais

A Tabela 11 mostra o somatório das perdas de carga do sistema de exaustão.

Tabela 11 - Somatório das perdas de carga totais do sistema

Captor (Pa)	8,72
Duto flexível linear (Pa)	40,65
Duto flexível curvado (Pa)	174,37
<b>Total (Pa)</b>	<b>223,74</b>

Fonte: Elaborado pelo Autor (2023).

Deste modo, observa-se que o sistema possui uma perda de carga total de aproximadamente 225 Pa. Valor este, que será utilizado para o dimensionamento do ventilador.

#### 4.3.10 Dimensionamento do ventilador

De acordo com a metodologia abordada no item 3.2.8, o ventilador determinado para este sistema de exaustão foi o modelo “exaustor Monofásico EC1 MAR” da fabricante Ventisilva. Mostrado na Figura 16.

Figura 16 - Ventilador EC1 MAR



Fonte: Ventisilva

Segundo o fabricante, para as variáveis de pressão e vazão, este ventilador possui as características presentes na Tabela 12. As demais características técnicas são mostradas na Figura 17.

Tabela 12 - Pressão e vazão máximas do ventilador dimensionado.

Pressão (Pa)	1176
Vazão (m <sup>3</sup> /s)	0,36

Fonte: Adaptado de Ventisilva (2023).

Figura 17 - Características técnicas do ventilador determinado

### Características Técnicas

Modelo: Ec1 MAR	Pressão: 120mmca
Carcaça: Chapa de aço	Ruído: 86dBA
Tensão: 127/220V	Frequência: 60Hz
Corrente: 16,8/7,00A	Peso Líquido: 28,5kg
Potência: 1HP	Acabamento: Pintura
Rotação: 3500RPM	Eletrostática
Vazão: 22m <sup>3</sup> /min	Cor: Preta

#### \*Valores para vazão e pressão máximas

Fonte: Adaptado de Ventisilva (2023).

## 4.4 Layout do sistema de exaustão dimensionado e detalhamento de peças

A Figura 18 ilustra o layout final do sistema de exaustão dimensionado. Contendo o captor; duto flexível; ventilador; e, demais componentes.

Figura 18 - Características técnicas do ventilador determinado



Fonte: Adaptado de Ventisilva (2023).

O detalhamento de todos os componentes projetados do sistema de exaustão estão presentes no apêndice deste trabalho.

## 5 CONCLUSÃO

O presente trabalho se concentrou no dimensionamento de um sistema de exaustão para oficinas mecânicas, uma questão crítica para a saúde e segurança dos trabalhadores e para o cumprimento das regulamentações ambientais. Também demonstrou a importância do conhecimento científico e tecnológico para promover e fomentar o progresso e desenvolvimento socioeconômico da sociedade, seguindo um dos principais objetivos da instituição.

Com relação às atividades abordadas e desenvolvidas neste estudo, chega-se às seguintes conclusões:

Conforme o objetivo geral, “Dimensionar um sistema de exaustão para escapamento automotivo visando diminuir ou anular a proliferação de gases tóxicos no ambiente provenientes da queima de combustível em motores a combustão interna em uma oficina mecânica”, o presente trabalho promove uma sugestão de sistema de exaustão para oficinas mecânicas, por meio do uso dos parâmetros e métodos presentes na literatura. Calculou-se: a velocidade de captura do gás; perdas de carga do sistema; dimensões do captor, dimensões dos dutos; e, por meio de catálogo, o ventilador. Dimensionamento este, que possui em suas hipóteses a importância de coletar todo o gás poluidor diretamente na fonte, evitando a proliferação de gases tóxicos no ambiente.

Conforme o objetivo específico, “Categorizar normas técnicas sobre o tema”, no referencial teórico elencou-se as normatizações vigentes, bem como os seus principais pontos relativos ao presente trabalho. No item 5.3 categorizou-se as normas comentadas com seus respectivos objetivos normativos.

Conforme o objetivo específico, “Atender a maioria das amostras de veículos abordadas”, o captor foi dimensionado de forma a conseguir enclausurar o maior diâmetro medido presente na Tabela 7. Levando em consideração também, que este diâmetro raramente é encontrado no mercado automotivo, principalmente no mercado de veículos populares, chega-se à conclusão de que o objetivo específico foi atingido.

O objetivo específico, “Projetar um sistema de exaustão”, caminha junto com o objetivo geral. Desta forma, o presente trabalho em seu apêndice traz o detalhamento completo das peças projetadas para o sistema de exaustão, bem como a lista de materiais e quantidades.

Problemas que aconteceram durante a realização do trabalho:

O anemômetro utilizado para obter a velocidade dos gases possui uma boa precisão. Porém, apresentou baixa durabilidade por conta da alta temperatura. Necessitando ser trocado por um modelo novo de mesma marca e modelo. Não afetando a precisão da medição.

### **5.1 Considerações para trabalhos futuros**

Para a complementação e ramificação deste estudo, em trabalhos futuros sugere-se:

1. Confecção deste projeto e estudos de impacto na qualidade do ar do ambiente antes e após a instalação e funcionamento do sistema de exaustão;
2. Estudo mais detalhado quanto aos gases liberados na combustão dos motores automotivos, bem como maneiras de mitigar seus efeitos em ambientes fechados;
3. Estudo e elaboração de um filtro para a exaustão dos gases na atmosfera, bem como o seu impacto na perda de carga do sistema;
4. Elaboração de um estudo com o objetivo de comparar os resultados obtidos neste trabalho com a simulação computacional.

## REFERÊNCIAS

- AGUIAR, S. O.; ARAUJO, R. S.; CAVALVANTE, F. S. Á.; BERTONCINI, B.V.; LIMA, R. K. C.; OLIVEIRA, M. L. M. 2015. Avaliação Das Emissões De Escapamento Veicular Em condições específicas Do Motor: Partida E Marcha-Lenta, **Transportes** v. 23 n.3, p. 35-43, 23 de Dezembro de 2015.
- American Society of Heating Refrigerating and Air-Conditioning Engineers. 2001 Ashrae Handbook: Fundamentals. S.I. ed. Atlanta GA: ASHRAE; 2001.
- ANEEL - Agência Nacional de Energia Elétrica. Atlas da Energia Elétrica do Brasil, 3ª ed. – Brasília: Aneel, 2008.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR ISO 8178-1**: Motores alternativos de combustão interna - medição da emissão de gases de exaustão - parte 1: medição das emissões de gases e material particulado em banco de ensaio. Rio de Janeiro: ABNT, 2012. 132p.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 16401-1**: Instalações de ar-condicionado - sistemas centrais e unitários - Parte 1: Projetos das instalações. Rio de Janeiro: ABNT, 2008. 60p.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 16401-3**: Instalações de ar-condicionado - sistemas centrais e unitários - Parte 3: Qualidade do ar interior. Rio de Janeiro: ABNT, 2008. 24p.
- BRASIL. Ministério da Saúde. Agência Nacional de Vigilância Sanitária (ANVISA). Resolução – RE nº 09, de 16 de Janeiro de 2003. Dispõe sobre Padrões referenciais de qualidade do ar interior em ambientes climatizados artificialmente de uso público e coletivo. **Diário Oficial da União**, Poder Executivo, Brasília, DF, 20 de Janeiro de 2003.
- BRASIL. Ministério da Infraestrutura. **Frota de veículos, por tipo e com placa, segundo as Grandes Regiões e Unidades da Federação - DEZ/2022**. Brasília, 2022.
- BRASIL. Ministério do Trabalho. Portaria n.º 3214/MTb, de 08 de Junho de 1978. NR 15, Norma Regulamentadora -15 (1978) Atividades e operações insalubres. **Diário Oficial da União**, Poder Executivo, Brasília, DF, 06 de Julho, 1994.
- BRUNETTI, F. **Motores de combustão interna**. Editora Blucher, 2018. E-book. ISBN 9788521212942. Disponível em: <https://app.minhabiblioteca.com.br/#/books/9788521212942/>. Acesso em: 15 de Março de 2023.
- CARVALHO, L. DE; SANTOS, J. D. DOS; SILVEIRA, F. S.; ALMEIDA, D. M. DE; MARTINS, L. A.; GASQUES, A. C. F.; SILVA, T. DA. Avaliação qualiquantitativa dos riscos existentes em uma oficina mecânica localizada em Campo Mourão/PR. **Tecno-Lógica**, v. 21, n. 2, p. 108-115, 4 jul. 2017.

CLEZAR, C. A.; NOGUEIRA, A. C. R. **Ventilação Industrial**. 2. ed. Florianópolis: UFSC, 2009. 240 p.

CONAMA - Conselho Nacional do Meio Ambiente, 2018. **Resolução nº 491, 19 de Novembro de 2018**. Ministério do Meio Ambiente.

KUNZLER, R. S. **Dimensionamento de um sistema de captura e coleta de resíduos de madeira em uma indústria de portas**. Trabalho de conclusão de curso (Bacharelado em Engenharia Mecânica) - Instituto Federal de Santa Catarina, IFSC. Xanxerê, p.64. 2022.

MACINTYRE, A.J. **Ventilação industrial e controle da poluição**. 2.ed. Rio de Janeiro: LTC, 1990.

MARTINS, J. **Motores de combustão interna**. 4. ed. Porto: 2013. Publindústria, 2013.

OLANREWAJU, O. B.; ADEMOLA, D. A.; SAHEED, I. O.; SUHUD, S. A.; JELILI, A. O.; MUSEDIQ, S. A. Investigation of multi-zone models for spark ignition engine fueled with ethanol. **IIUM Engineering Journal**, v. 22, n. 2, p. 339–351, 2021.

Disponível em:

<https://journals.iium.edu.my/ejournal/index.php/iiumej/article/view/1550>. Acesso em: 7 de Junho de 2023.

OMS. Organização Mundial da Saúde. **World Health Assembly**, 68. (2015).

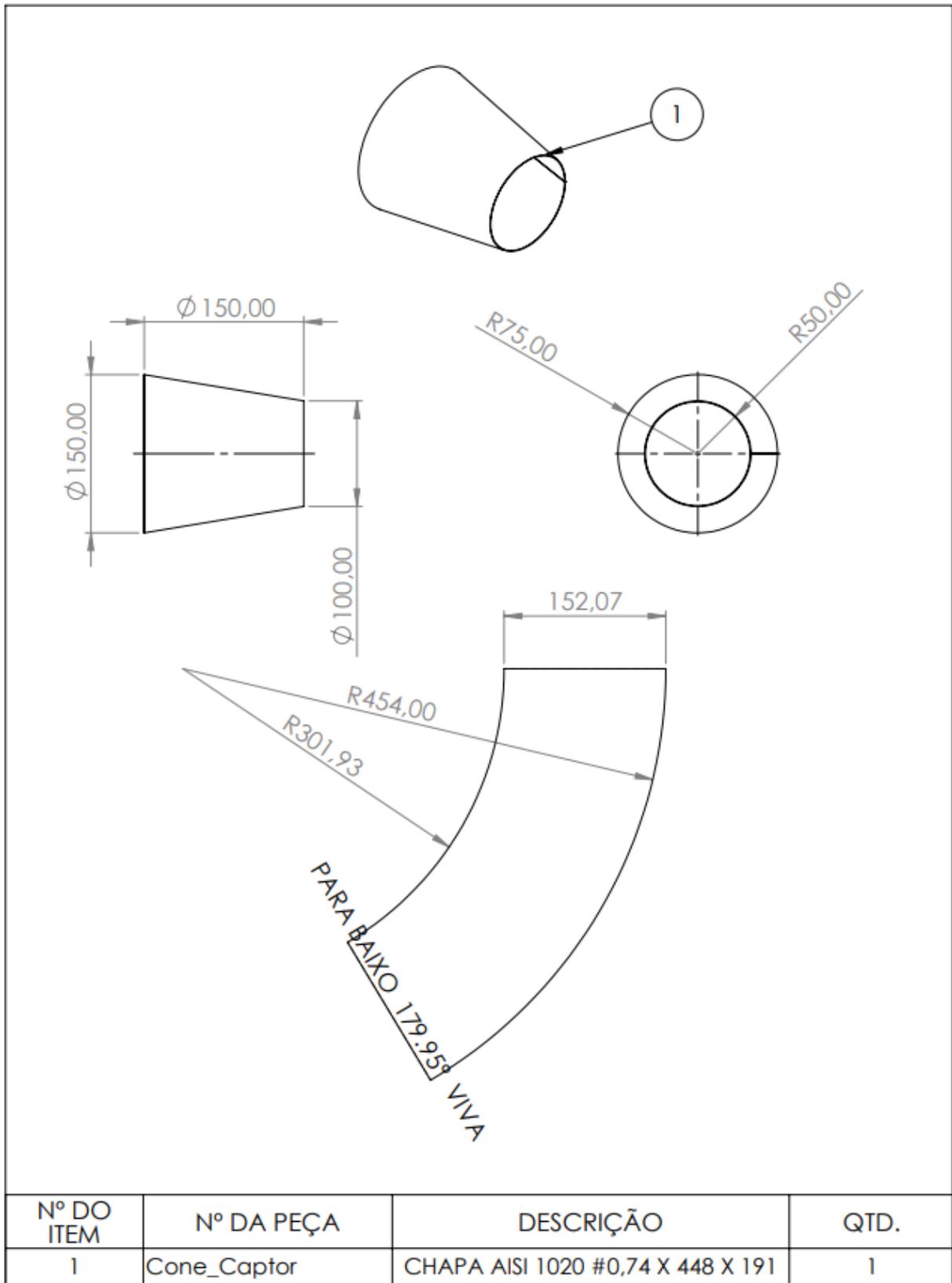
Disponível em: <https://apps.who.int/iris/handle/10665/253237>. Acesso em: 06 de Junho de 2023.

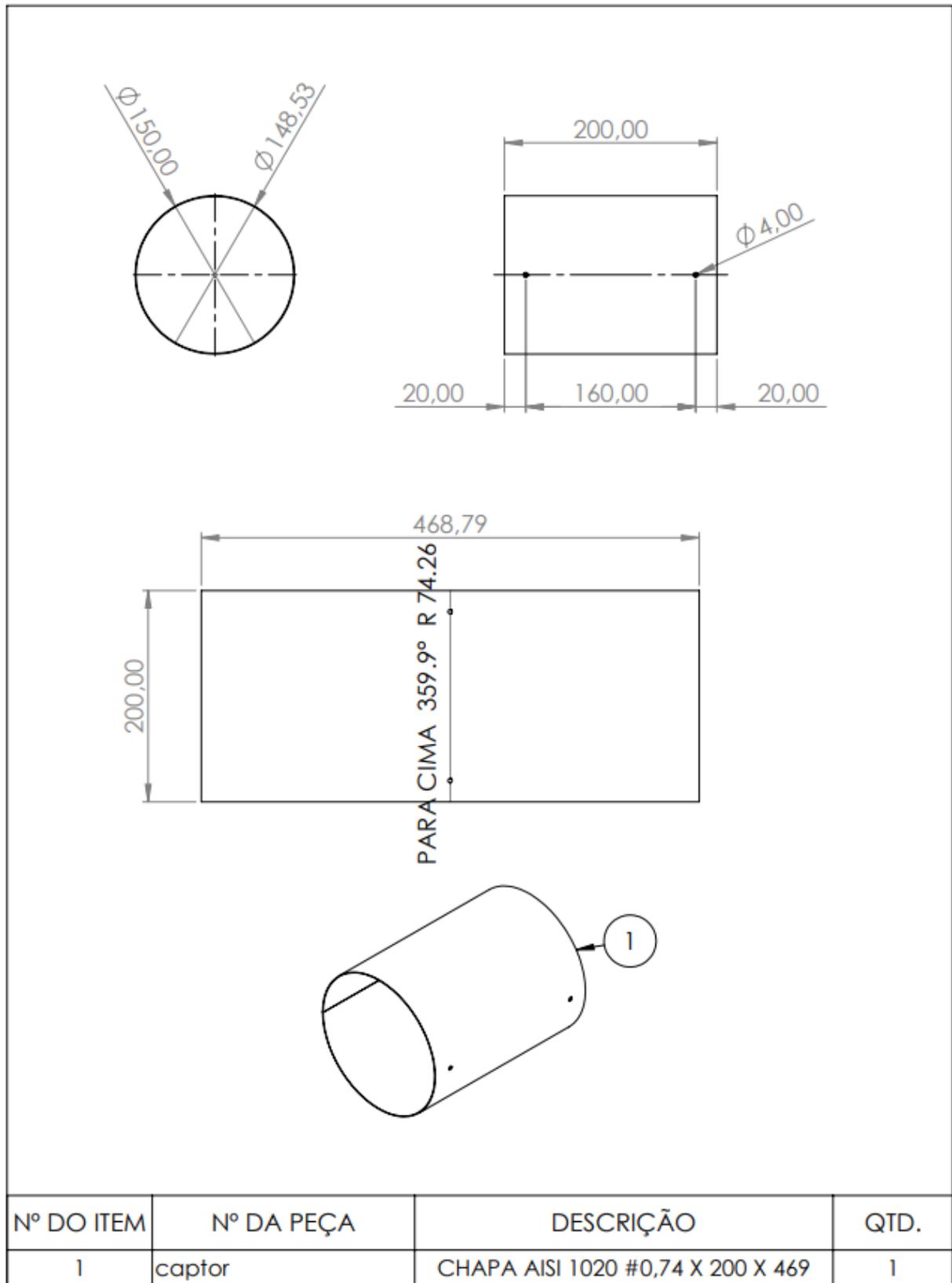
RAJADURAI, S.; AFNAS, M.; ANANTH, S.; SURENDHAR, S. Materials for Automotive Exhaust System. **International Journal of Recent Development in Engineering and Technology**, v.2, n.3, p. 82-89, 2014.

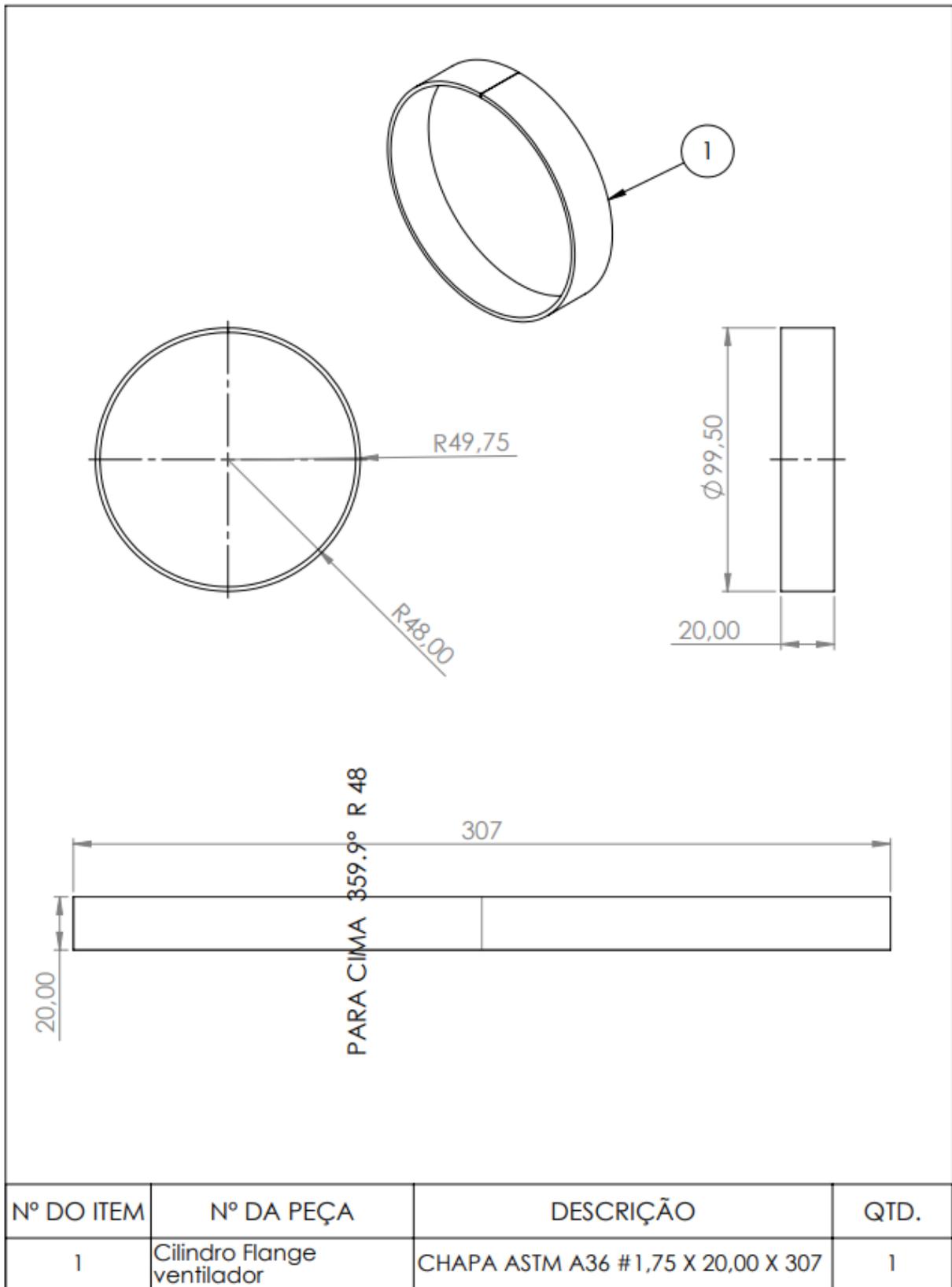
RODRIGUES, N.F. **Diagnóstico de falha de ignição em veículos automotivos através de vibração de smartphone**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) – Universidade Federal da Paraíba. João Pessoa. p.59. 2018.

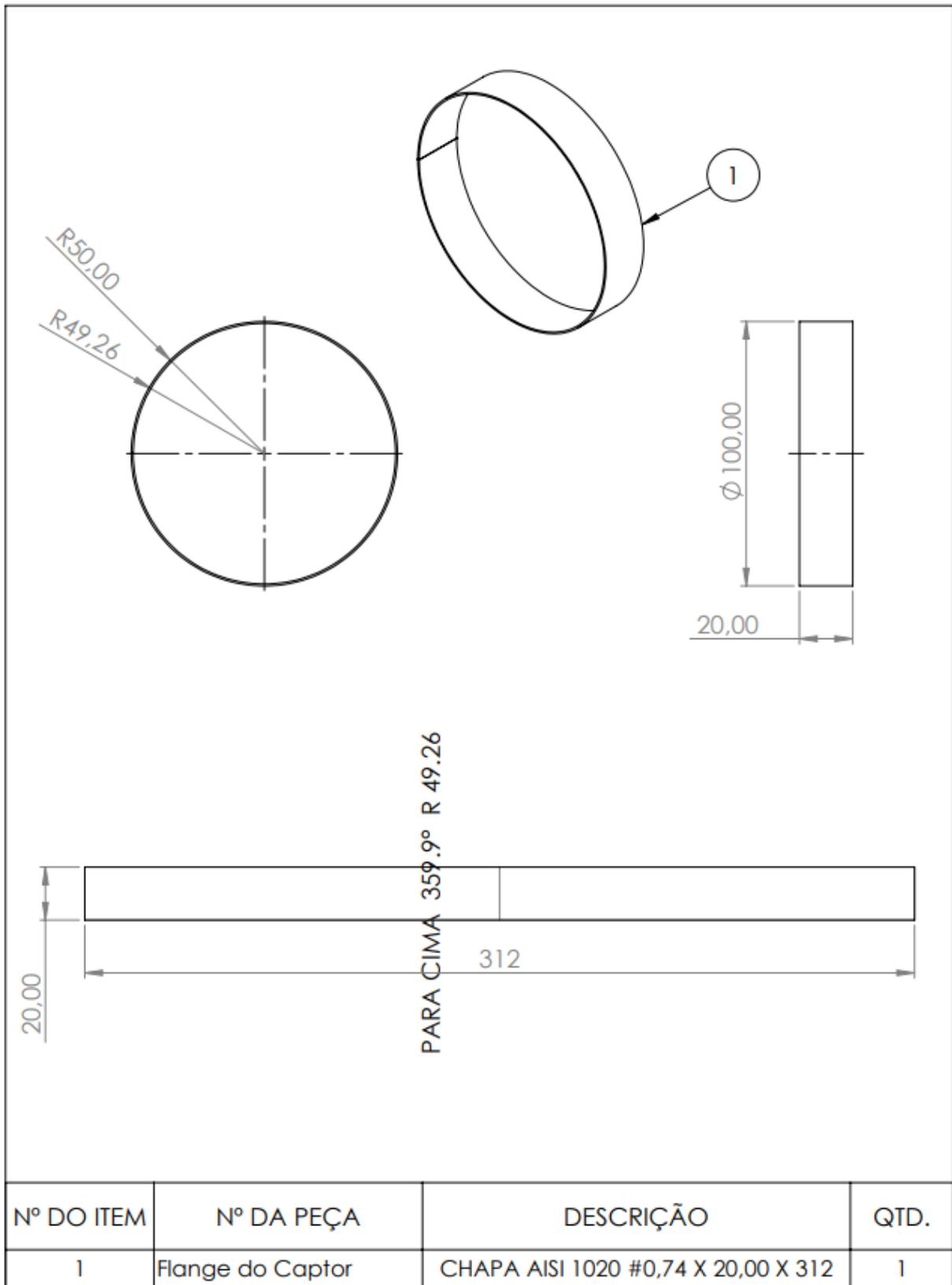
SAMPIERI, Roberto H.; COLLADO, Carlos F.; LUCIO, María D. P B. **Metodologia de pesquisa**. Grupo A, 2013. E-book. ISBN 9788565848367

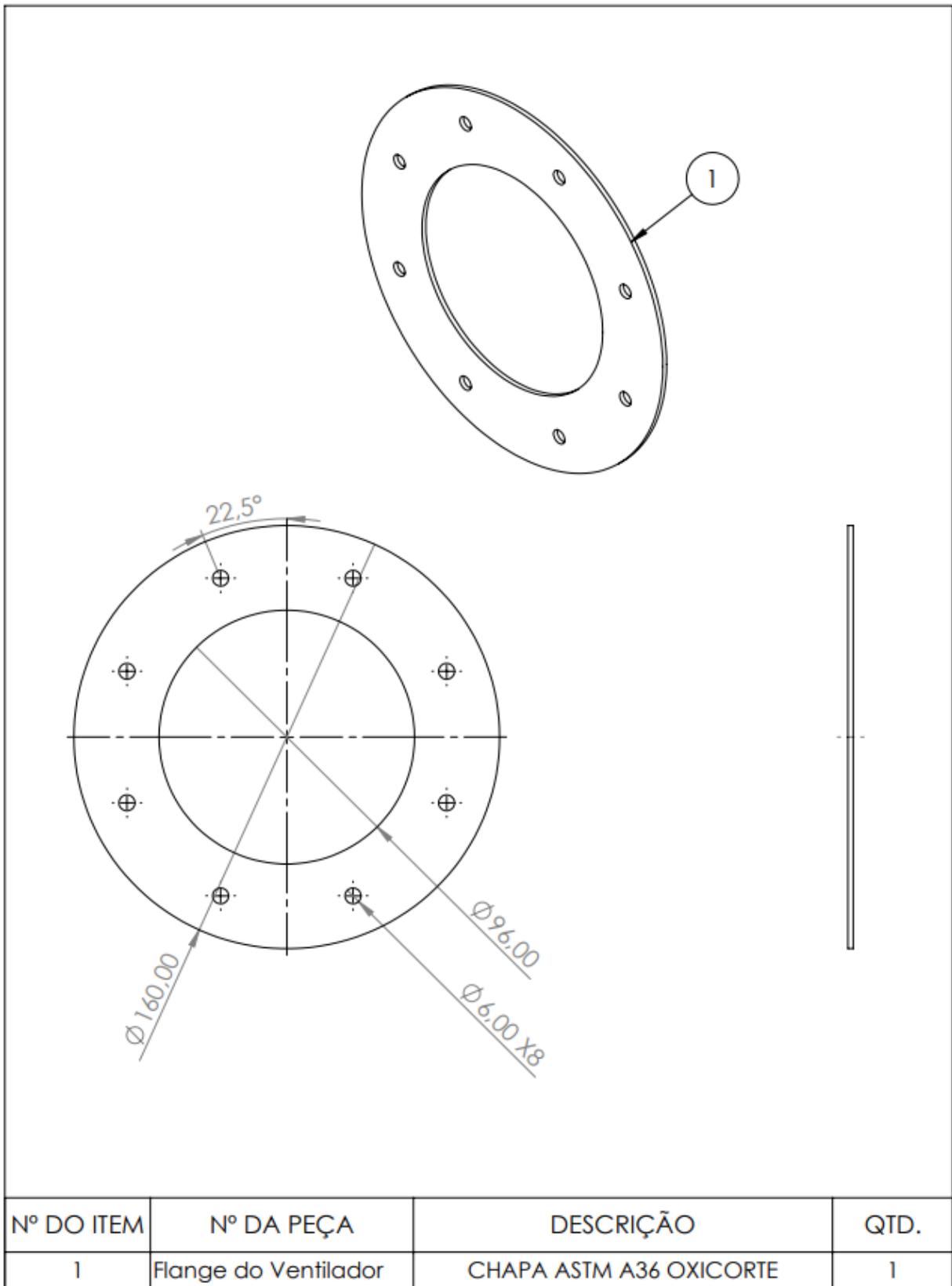
### APÊNDICE A - Detalhamento das peças do exaustor

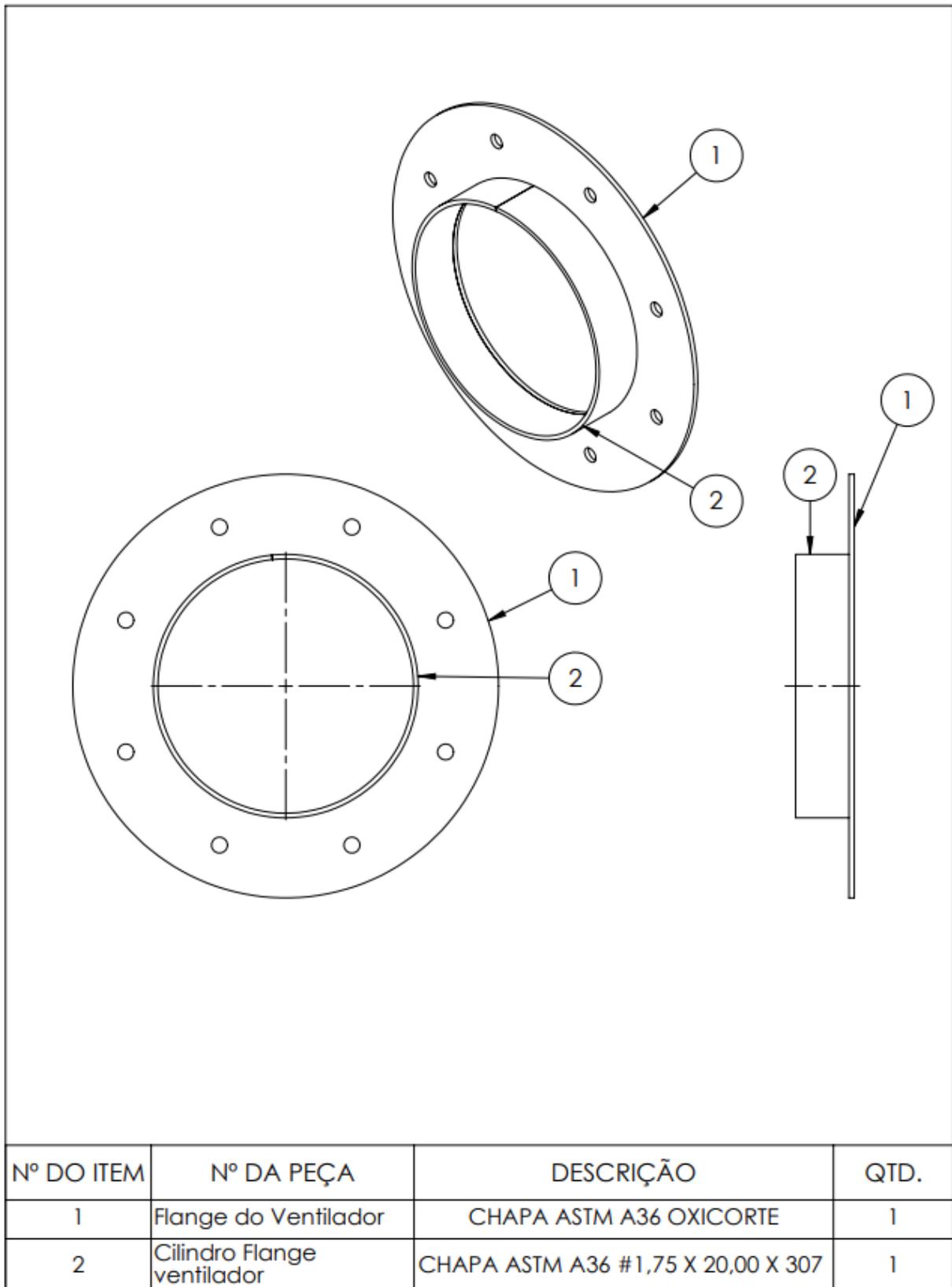


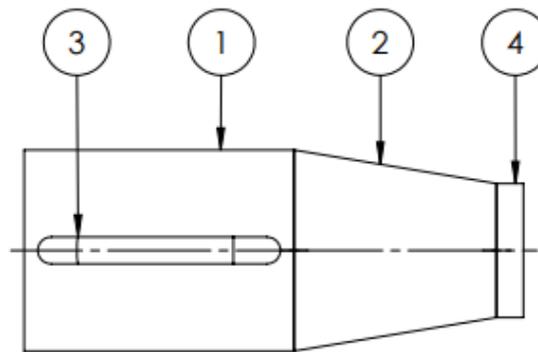
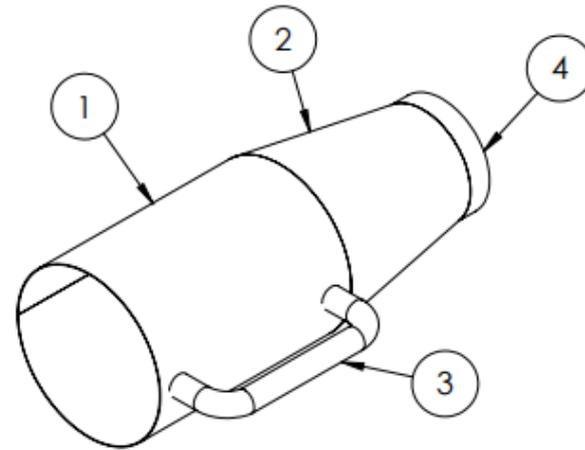




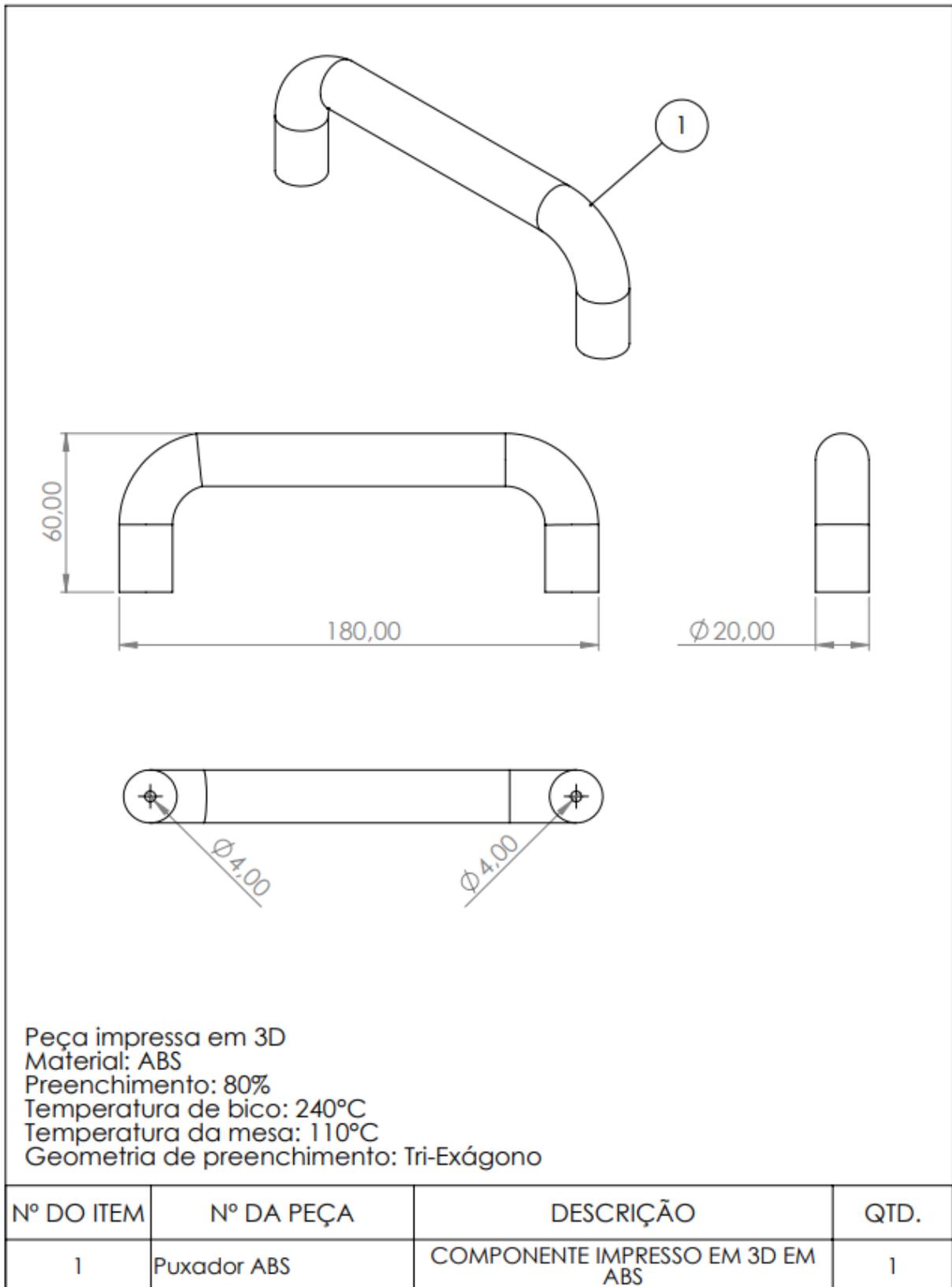


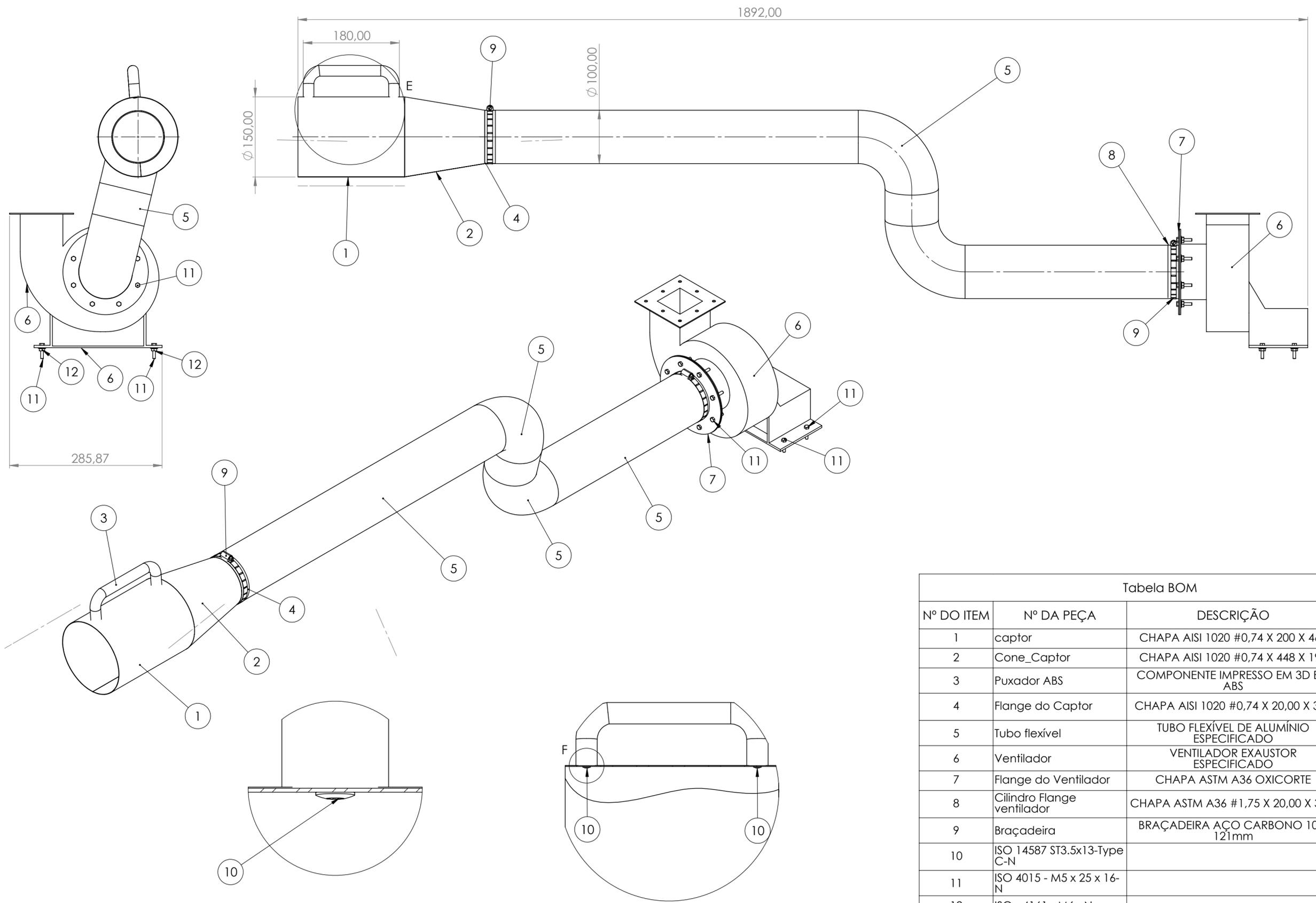






Nº DO ITEM	Nº DA PEÇA	DESCRIÇÃO	QTD.
1	captor	CHAPA AISI 1020 #0,74 X 200 X 469	1
2	Cone_Captor	CHAPA AISI 1020 #0,74 X 448 X 191	1
3	Puxador ABS	COMPONENTE IMPRESSO EM 3D EM ABS	1
4	Flange do Captor	CHAPA AISI 1020 #0,74 X 20,00 X 312	1





DETALHE F  
ESCALA 2 : 1

DETALHE E  
ESCALA 2 : 5

Tabela BOM			
Nº DO ITEM	Nº DA PEÇA	DESCRIÇÃO	QTD.
1	capto	CHAPA AISI 1020 #0,74 X 200 X 469	1
2	Cone_Captor	CHAPA AISI 1020 #0,74 X 448 X 191	1
3	Puxador ABS	COMPONENTE IMPRESSO EM 3D EM ABS	1
4	Flange do Capto	CHAPA AISI 1020 #0,74 X 20,00 X 312	1
5	Tubo flexível	TUBO FLEXÍVEL DE ALUMÍNIO ESPECIFICADO	1
6	Ventilador	VENTILADOR EXAUSTOR ESPECIFICADO	1
7	Flange do Ventilador	CHAPA ASTM A36 OXICORTE	1
8	Cilindro Flange ventilador	CHAPA ASTM A36 #1,75 X 20,00 X 307	1
9	Braçadeira	BRAÇADEIRA AÇO CARBONO 102-121mm	2
10	ISO 14587 ST3.5x13-Type C-N		2
11	ISO 4015 - M5 x 25 x 16-N		12
12	ISO - 4161 - M6 - N		12

	CONJUNTO	DATA	ESCALA
	Sistema de exaustão	Nov/2023	1:3
	PEÇA	DIEDRO	UNIDADE
	Montagem geral	IFSC Câmpus Xanxerê	mm
DESENHISTA	PRANCHA	REVISÃO	
L. Menin	1/1	01	